

# Miljøvurdering af ventilationssystemer

Miljørigtig udvikling af produktfamilier

Niels Fress  
Institut for Produktudvikling

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.

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>7</b>
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>9</b>
<b>2 FORMÅL</b>	<b>11</b>
<b>3 AFGRÆNSNING</b>	<b>13</b>
3.1 PRODUKTETS FUNKTION OG FUNKTIONELLE ENHED	13
1.2 SYSTEMBESKRIVELSE	16
1.3 DATAGRUNDLAG	18
<b>4 OPGØRELSE</b>	<b>21</b>
4.1 DATAINDSAMLING OG -BEHANDLING	21
4.2 PROCESOVERSIGT	22
4.3 RESULTATBEREGNING	23
<b>5 VURDERING</b>	<b>25</b>
5.1 VURDERINGSMETODE	25
5.2 RESULTATER	26
<b>6 FORTOLKNING</b>	<b>29</b>
6.1 VÆSENTLIGSTE PÅVIRKNINGER	29
6.2 FØLSOMHEDSVURDERING	29
6.3 DISKUSSION	30
<b>7 REPRÆSENTATIVITET FOR PRODUKTFAMILIEN</b>	<b>31</b>
<b>8 FORBEDRINGSANALYSE</b>	<b>35</b>
8.1 DIAGNOSE	35
8.2 FORBEDRINGSPOTENTIALER	39
<b>9 TEKNISK OG FORRETNINGSMÆSSIG VURDERING AF MILJØMÆSSIGE FORBEDRINGSPOENTIALER</b>	<b>43</b>
9.1 AKTØRERNES ROLLE	43
9.1.1 <i>Producenter, underleverandører og entreprenører</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 FORRETNINGSMÆSSIGE MULIGHEDER	45
9.3 TEKNISK FORRETNINGSMÆSSIG VURDERING	46
<b>10 REFERENCER</b>	<b>49</b>

Bilag A. Matrix-LCA  
Bilag B. Beregningsresultater vægtede  
Bilag C. Følsomhedsvurderinger og deres vægtningsresultater

# 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 ventilationsanlæg samt vurdering af forbedringsforslag til produktet. Arbejdet er gennemført i samarbejde mellem IPU (Niels Frees), Semco A/S (Ib Larsen) 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

Baggrund	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 ventilationssystemer.
Produkter	Arbejdet er udført på ventilationsanlæg anvendt indenfor komfort-, industri- og laboratorieventilation. Anlæggene er bygget af Semco A/S. Tre anlægsstørrelser er undersøgt: <ul style="list-style-type: none"><li>- Lille anlæg (2300 m<sup>3</sup>/h).</li><li>- Mellemstort anlæg (6670 m<sup>3</sup>/h).</li><li>- Stort anlæg (14 000 m<sup>3</sup>/h).</li></ul>
Formål og metode	Formålet med miljøvurderingen er at belyse, hvor i et ventilationssystem 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 så vidt muligt retningslinierne i ISO 14040/41/42. Beregningerne er udført i UMIP PC-værktøj version 2.11 beta (Miljøstyrelsen, 1999).
Data	Oplysninger om materiale- og energiforbrug er fremskaffet af Semco A/S. Til miljøvurdering af disse er der primært anvendt data fra ovennævnte værktøjs database, men det har også været nødvendigt at etablere enkelte nye data.
Konklusion	<p>Miljøvurderingen viser, at brugsfasen giver anledning til de absolut største vægtede miljøeffektpotentialer, hvilket skyldes energiforbruget. Drivhuseffekt, forsurening, økotoksicitet, volumenaffald og slagge &amp; aske er dominerende, hvilket kan tilskrives den overvejende kulbaserede elproduktion. Af de øvrige faser bemærkes materialefase, men denne modregnes i høj grad ved undgået produktion af nyt materiale, når materialerne genbruges.</p> <p>Med hensyn til ressourcer dominerer energiressourcerne til brugsfasen. Vedr. materialefase kan råvareressourcerne kobber, zink og nikkel ligeledes dominere, afhængigt af ventilationsanlæggets opbygning, idet kobber findes i el-motorer, zink i galvaniserede kanaler og nikkel i rustfri kanaler. De forbrugte materialer modregnes til en vis grad ved undgået produktion af nyt materiale, når materialerne genbruges.</p> <p>Sammenfattende konkluderes, at fokus skal sættes på energiforbruget under drift, men at alternative materialer til galvaniseret stål og til rustfrit stål kan overvejes, f.eks. plastkanaler, som er fremstillet af ikke knappe ressourcer og som desuden har et muligt mindre strømningstab. Forbedringsanalysen viser, at energiforbruget kan nedsættes mærkbart ved at optimere de enkelte elementer af ventilationsanlægget (f.eks. energisparemotor, ventilator med optimal virkningsgrad, filter med lav modstand, bøjninger med øget radius etc.), og især ved behovsstyring af anlægget (frekvensstyring af motor i forbindelse med reguleringsautomatik), som sikrer at ventilationssystemet på intet tidspunkt yder mere end nødvendigt.</p>





# 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 ventilationssystemer dimensioneret og installeret af Semco A/S, hvor afdelingsingeniør Ib Larsen har leveret data. Som reference er der udført miljøvurdering af et mindre anlæg (2300 m<sup>3</sup>/h) og dette er sammenlignet med to større anlæg, da energiforbruget per 1000 m<sup>3</sup>/h kan variere. Desuden er valgt et beregningseksempel, som skal illustrere størrelsesorden af tab de forskellige steder i anlægget. Ventilationssystemerne kan benyttes som grundenheder til forskellige funktioner indenfor komfort, industri eller laboratorieventilation. Den eksakte funktion tilvejebringes via forskellige komponenter, som udgør en mindre del af anlæggene.

Miljøvurderingen er gennemført af civilingeniør, Ph.D. Niels Frees, Institutet for Produktudvikling, Danmarks Tekniske Universitet. Kritisk internt review er udført af cand. scient., Ph.D. Stig Irving Olsen, Institutet 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 2.11 beta (Miljøstyrelsen, 1999), hvori der ligeledes er opbygget en model af produktet og dets livsforløb.



## 2 Formål

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

I fase 2 gennemføres en miljøvurdering af produktfamilien af ventilationssystemer. Der er herunder opbygget en model i UMIP PC-værktøj, som kan danne grundlag for miljøvurdering af specifikke ventilationssystemer. Miljøvurderingen skal belyse, hvor i et ventilationssystem 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.

I fase 4 gennemføres en teknisk og markedsmæssig vurdering af de løsningsmuligheder, som forbedringsanalysen har peget på.



# 3 Afgrænsning

## 3.1 Produktets funktion og funktionelle enhed

Typer ventilation: Ventilation kan etableres som naturlig ventilation og tvungen (eller mekanisk) ventilation. Tvungen ventilation medfører en eller flere energiforbrugene ventilatorer, og etableres fordi almindelig naturlig ventilation ikke kan løse en ventilationsopgave. Emnet for denne rapport er tvungen ventilation, men løsninger baseret på naturlig ventilation omtales i kapitel 8.

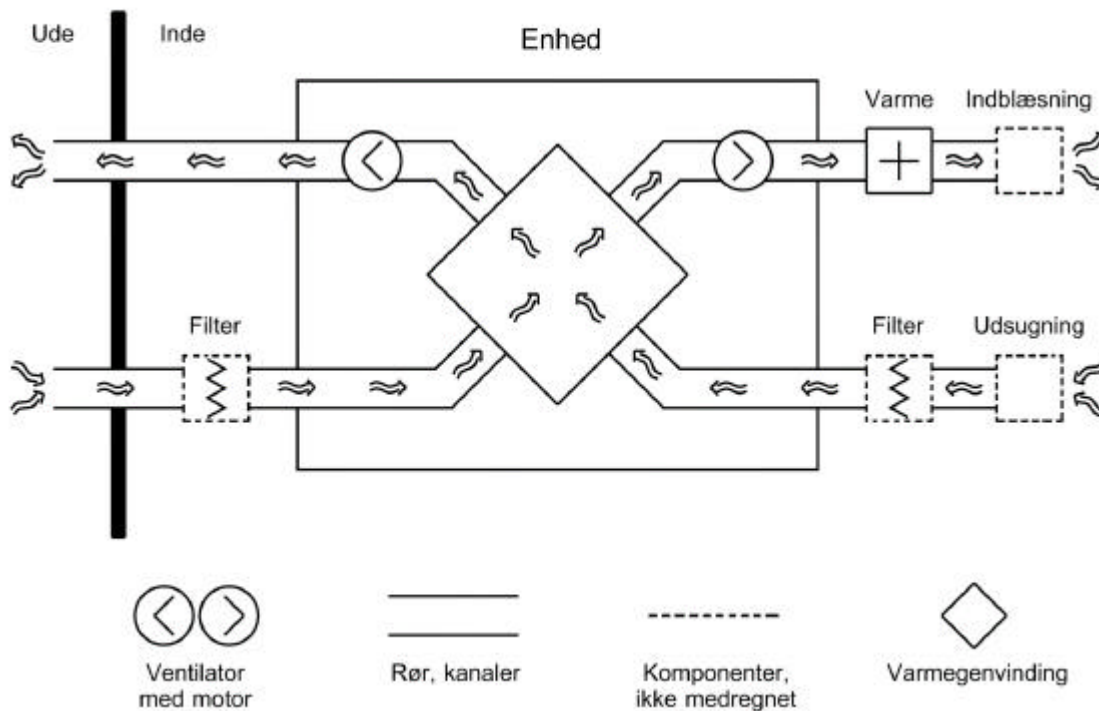
Der er i rapporten skelnet imellem følgende typer af ventilationsanlæg:

- Komfort
- Laboratorie
- Industri
- Renrums

Denne rapport dækker først og fremmest de tre førstnævnte typer, da de fysisk kun adskiller sig ved forskellige tilkoblede komponenter af begrænset omfang i forhold til ventilatorenheden og kanalsystemet. Renrumsventilation forekommer sjældnere og er ofte mere specielt udformet. Hovedkonklusionerne vil dog også gælde renrumsventilation.

Man kan skelne mellem ventilationsprincipperne *balanceret ventilation* og *enkel ventilation*. Balanceret ventilation omfatter tvungen indblæsning og udsugning, dvs. to ventilatorer, og i reglen en varmeveksler mellem ind- og udblæsningsluften. Enkel ventilation omfatter kun indblæsning eller udsugning og således kun én ventilator. Varmeveksler er ikke mulig og returluft strømmer ind eller ud af tilfældige eller etablerede utætheder.

En skitse af et typisk ventilationsanlæg er vist i figur 1.



Figur 1. Principskitse af ventilationsanlæg

- Undersøgte produkter Opgørelsen og vurderingen er baseret på:
- Lille anlæg (2300 m<sup>3</sup>/h) med krydsvarmeveksler.  
Motoreffekt 2 x 1,5 kW
- Repræsentativiteten af dette anlæg er belyst ved miljøvurdering af:
- Mellemstort anlæg (6670 m<sup>3</sup>/h) med krydsvarmeveksler.  
Motoreffekt 2 x 3 kW
  - Stort anlæg (14 000 m<sup>3</sup>/h) med roterende varmeveksler.  
Motoreffekt 2 x 7,5 kW

Som støtte for forbedringsanalysen er der endelig regnet på et anlæg på 2880 m<sup>3</sup>/h med enkel ventilation (indblæsning).

**Funktion** Komfortventilationens funktion er at etablere et tilfredsstillende indeklima ved tilførsel af udeluft. De indeklima parametre som ønskes kontrolleret ved udelufttilførsel kan inddeles i luftkvalitet (røg, afdunstninger, lugt etc.), luftfugtighed og temperatur.

Funktionen af laboratorie-, industri- og renrumsventilation er at begrænse koncentrationen i et lokale af partikler eller kemiske stoffer. Arbejdsmiljømæssigt ønsker man at begrænse koncentrationen mest muligt, f.eks. til max. 1/10 af gældende grænseværdier, men gerne mindre.

**Varmegenvinding** Ventilationsanlæg kan være med eller uden varmegenvinding. Der er følgende typer:

- Væskekoblede batterier. 50 – 55 % genvinding.
- Krydsvarmeveksler. 55 – 60 % genvinding
- Roterende varmeveksler. 70 – 80 % genvinding

**Nøgleenhed** For alle ventilationstyper benyttes nøgleenheden:

**1000 m<sup>3</sup>/h**

De vægtede resultater er beregnet per år af ventilationssystemets levetid. Opgørelsen og matrix-LCA'en er beregnet for hele ventilationssystemets levetid.

#### Funktionel enhed

Som funktionel enhed er benyttet:

”Ventilering af 1000 m<sup>3</sup>/h ved 21 °C indetemperatur og dansk gennemsnits udetemperatur i 24 timers daglig drift gennem 20 år”.

Den funktionelle enhed er i praksis forskellig fra anlæg til anlæg afhængig af den specifikke funktion. Den funktionelle enhed kan f.eks. udtrykke at koncentrationen i et lokale af stof nn ikke må overstige  $x \text{ mg/m}^3$ , men en sådan enhed er uhåndterlig. I stedet kan man tage udgangspunkt i forskellige dimensioneringsgrundlag, som er baseret på erfaringsmæssige tommelfingerregler, idet man spørger om hvilken funktionel ydelse man kan få ud af nøgleenheden 1000 m<sup>3</sup>/h i anlæggets driftsperiode. Eksempler på dette er beskrevet i de følgende underafsnit (Olufsen, 1995) (Larsen, 1999).

#### Komfort

Bygningsreglementet og Ingeniørforeningens norm for ventilationsanlæg (DS 447) har en række krav og anbefalinger til friskluftbehov per person (l/s), antal luftskifter per time (n) og areal relateret luftskifte (ventilationsintensitet SLT, m<sup>3</sup>/sm<sup>2</sup>). Disse krav og anbefalinger kan ikke uden videre generaliseres, da de afhænger af lokalets funktion (kontor, undervisning etc.), ryggerum/ikke ryggerum, anden indeklimabelastning, antal personer per m<sup>2</sup> og lofthøjde. I et lokale med 3 m lofthøjde vil ventilationsbehovet normalt ligge i intervallet 1,5 – 12 n, hvilket repræsenterer spektret fra kontor med ikke-rygning over undervisningslokale (3,5 n) til mødelokale/auditorie med rygning.

Omregning mellem ventilationsintensitet og antal luftskifter sker med formlen:

$$\text{SLT} = H \cdot n / 3,6 \text{ (l/sm}^2\text{)} \text{ eller } \text{SLT} = H \cdot n \text{ (m}^3\text{/hm}^2\text{)}$$

hvor H er lofthøjden i m. Med de ovennævnte eksempler på luftskifter er følgende eksempler på omregning til nøgleenhed beregnet for hvor stort et areal i m<sup>2</sup> af et lokale med lofthøjde 3 m, som nøgleenheden 1000 m<sup>3</sup>/h kan ventilere:

Kontorlokale, ikke-rygning: ca. 220 m<sup>2</sup>

Undervisningslokale: ca. 100 m<sup>2</sup>

Mødelokale, rygning: ca. 30 m<sup>2</sup>

#### Laboratorie, industri og renrum

For laboratorie-, industri- og renrumsventilation er opgaven sædvanligvis at etablere en tilstrækkelig lufthastighed og volumenstrøm til at bortfjerne uønsket emission i form af partikler, aerosoler, gasser eller dampe. Lufthastighed i afsugningsområdet kaldes gribehastigheden. Man skelner mellem afskærmet/indkapslet punktudsugning og uafskærmet punktudsugning.

For afskærmet ventilation f.eks. i forbindelse med ventileret indkapsling og stinkskaab i laboratorium etableres gribehastigheden i selve indsugningsåbningen. Gribehastigheden bør normalt være 0,5 m/s; men hvis der ikke er tværgående luftbevægelse eller personophold i afsugningsområdet kan man ofte gå ned til 0,3 m/s. Ud over mediets eller den omkringliggende lufts egen bevægelse kan luftbevægelse igangsættes af operatørens bevægelse

ved indsugningen. Da indsugningsarealet for afskærmet indsugning er veldefineret kan forskellige lufthastigheder (gribehastigheder) omregnes til nøgleenheden 1000 m<sup>3</sup>/h ved hjælp af formlen:

$$\text{Volumenstrøm (m}^3\text{/h)} = \text{indsugningsareal (m}^2\text{)} \cdot \text{lufthastighed (m/s)} \cdot 3600$$

$$\text{Ved lufthastigheden 0,5 m/s fås: } 1000 \text{ m}^3\text{/h} \sim 0,555 \cdot \text{m}^2$$

$$\text{Ved lufthastigheden 0,3 m/s fås: } 1000 \text{ m}^3\text{/h} \sim 0,833 \cdot \text{m}^2$$

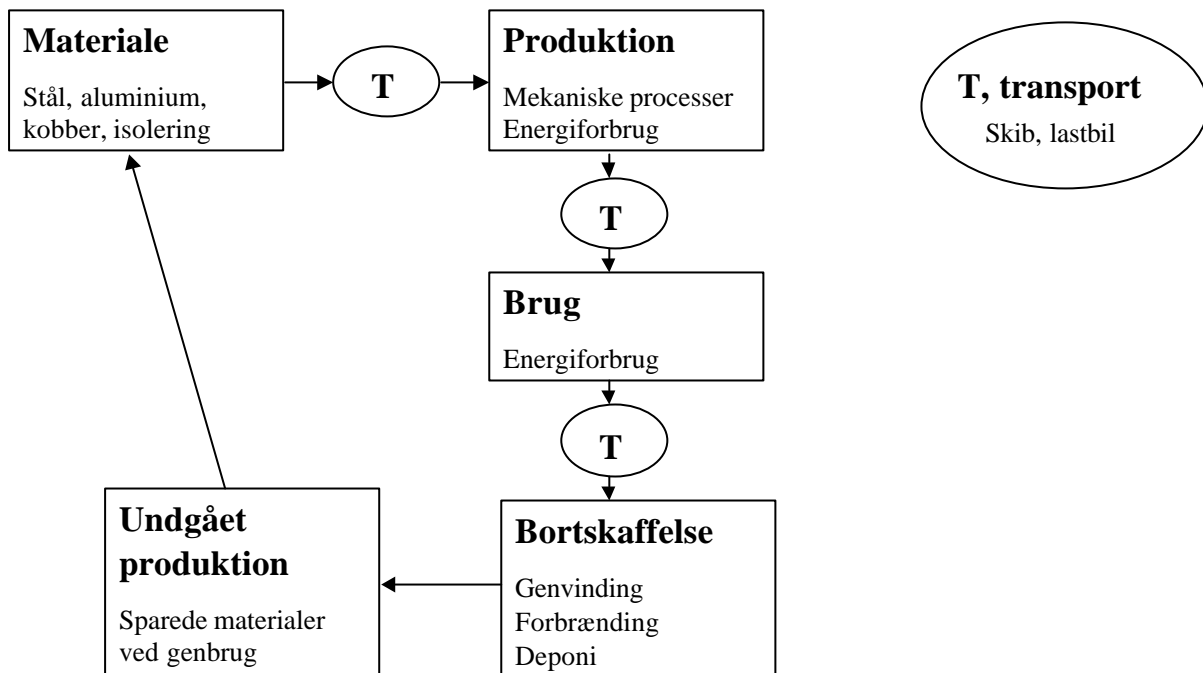
For åben punktudsugning er omregningen væsentlig mere kompliceret, da gribehastigheden etableres et stykke vej fra indsugningsåbningen. Gribehastigheden falder meget hurtigt med afstanden fra indsugningsåbningen og er desuden afhængig af dennes form. Det er ikke ualmindeligt at gribehastigheden er faldet til 5 % i en afstand på 2x diameteren fra åbningen, hvilket betyder at lufthastigheden i indsugningsåbningen skal være 20x højere end den krævede gribehastighed. Lufthastigheden i selve indsugningsåbningen beregnes som ovenfor. I rolig luft kan en gribehastighed på 0,1 m/s være tilstrækkelig, men er der luftbevægelse er 0,3 – 0,4 m/s nødvendigt. Hvis der skal afsuges luftemission eller partikler i bevægelse kan det være nødvendigt med væsentlig højere gribehastighed, f.eks. 0,5 – 1 m/s for sprøjtemaling, fyldeprocesser og svejsning og op til 5 m/s for slibeprocesser og sandblæsning. For en nøjagtig vurdering af nødvendig gribehastighed og dens funktion af afstanden til udsugningsåbningen og dennes udformning er det nødvendigt at søge viden i speciallitteratur eller hos et ventilationsfirma.

Renrumsventilation må understøttes af ”fortyndingsventilation”. Det samme gælder laboratorie- og industriventilation, hvis 1/10 af grænseværdi overskrides, men ofte er det ikke nødvendigt.

### 3.2 Systembeskrivelse

Studiets omfang	Studiet af ventilationssystemer omfatter ressourceudvinding og materialefremstilling, produktion, brug, bortskaffelse og transport. Brugsfasen omfatter energiforbrug til opvarmning af ventilationsluft og til drift af selve ventilatoren. Energi til opvarmning af ventilationsluft beregnes fra den gennemsnitlige udetemperatur i et standard referenceår. Opvarmningen antages at ske ved olie- eller naturgasfyring. Studiet omfatter ikke arbejdsmiljø. Fremstilling af produktionsudstyr er heller ikke taget med. Ventilerede produkter som f.eks. farlige emissioner og filterstøv antages at høre til de ventilerede processer, og er således ikke regnet med til ventilationssystemets livscyklus.
Systemafgrænsning	Systemafgrænsningen fremgår af figur 2 og er ligeledes synlig i modellerne for de valgte ventilationssystemer, som er opbygget i UMIP PC-tool.





Figur 2. Livscyklusmodel for ventilation

#### Forenklinger og udeladelser

En matrix LCA (bilag A) viser, at det akkumulerede energiforbrug til materialefremstilling og til produktion af et ventilationsanlæg udgør en størrelsesorden 1 % af energiforbruget til drift af anlægget. Bortskaffelse og transport udgør endnu mindre. Der er ikke andre miljøeffekter end energirelaterede som er betydende, f.eks kemikalierelaterede. I den egentlige LCA dækkes faserne materialefremstilling, produktion, bortskaffelse og transport derfor kun i hovedtræk.

De grundlæggende dele for de forskellige typer ventilationsanlæg er ret ens. Det der varierer er udformning af udsugning og indblæsning samt filtersystemer og automatik. Disse dele udgør vægtmæssigt kun en meget lille del af et samlet anlæg og er derfor udeladt. I de betragtede anlæg udgør plast en meget lille del (få promiller) og er derfor udeladt eller approximeret med generelle plasttyper.

Der benyttes varmgalvaniseret plade, og varmgalvaniseringen er medtaget under materialefremstillingen. Produktionen af ventilationsanlæggets komponenter finder sted ved traditionelle processer, som ikke giver anledning til væsentlige emissioner. Grundet den lille betydning af produktionen er denne ikke opgjort specifikt for de enkelte processer, men der er anvendt et erfaringsbaseret energiforbrug.

Med hensyn til brugsfasen er der ikke indregnet service og vedligeholdelse, herunder filterskift, da materialeforbruget hertil anses for at være neglignibelt.

Ved en erfaringsbaseret gennemgang af de foretagne forenklinger skønnes det at højst få promille af de potentielt mulige ressourceforbrug og miljøeffekter er udelukket, herunder toksiske effekter, som vil være mest følsomme for de foretagne forenklinger.

Geografisk og tidsmæssig afgrænsning	<p>Ventilationen antages produceret, drevet og bortskaffet i Danmark. Dette har betydning for valg af energiscenarier, bortskaffelsesscenario og for det valgte referenceår med hensyn til udetemperatur. Det danske elscenarie er fra 1992, men der er udført følsomhedsanalyse på et scenarie fra 1996. Der er ligeledes udført følsomhedsanalyse på antagelse af marginal elproduktion. Det teknologisk niveau for ventilationen antages at være status quo 1999-2000. Dette betyder især at energisparemotorer er en mulighed, men ikke almindeligt efterspurgt. Betydningen heraf er omtalt i kapitel 7.</p>
Systemudvidelse og undgået produktion	<p>Ventilationsanlæg genvindes efter bortskaffelse, idet f.eks. metallerne omsmeltes. For de genvundne metaller er der foretaget 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.</p> <p>Særlige forhold gælder for rustfrit stål, da dette overvejende fremstilles ved omsmeltning af almindelig stål- og rustfrit stålskrot. Der er derfor udarbejdet en hypotetisk proces for primær rustfri stålfremstilling af hensyn til systemudvidelsen da ikke genvundet rustfrit stål i sidste ende må erstattes af primært materiale. Med hensyn til genvindingen er der etableret en proces for omsmeltning af ren rustfri stål.</p>
Genvindingsgrad	<p>Ved genvinding er der antaget følgende genvindingsgrader for det metal som sendes til genvinding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jern og stål: 95 %</li> <li>Rustfrit stål: 95 %</li> <li>Aluminium: 75 %</li> <li>Kobber: 50 %</li> </ul> <p>Tab ved genvindingen kan henføres til spild i forbindelse med indsamlingen, shredderprocessen (aluminium og især kobber, Erichsen 1999) og oparbejdningsprocessen.</p>
3.3 Datagrundlag	
Indsamlingsmåde	<p>Semco har leveret oplysninger om materialesammensætning for lille, mellemstort og stort anlæg. I disse indgår stål, støbejern, kobber, aluminium samt galvaniserede eller eventuelt rustfri stålkanaler. Semco har desuden leveret oplysninger om kanaler af plast.</p> <p>Fabrikant af elmotorer er kontaktet for materialeindhold af elmotorer. Fabrikant af galvaniserede kanaler er kontaktet for oplysning om fremstillingsenergi.</p> <p>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). Om nødvendigt er nye processer føjet til, se afsnit 4.1.</p>
Parametre og datakvalitet	<p>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.</p>

## Referencegrundlag for data til miljøvurdering af ventilationsanlæg

Produkt specifikke	Datatype		Datakilde					Kommentarer
	Sted- specifikke	Generelle	1	2	3	4	5	
<b>Materialefasen</b>								
Stål		X			X			UMIP database
Aluminium		X			X			UMIP database
Kobber		X			X			UMIP database
Rustfrit stål		X			X			UMIP database
Støbejern		X			X			UMIP database
Stålplade, forzinket		X			X			Data indsamlet af IPU
Mineraluld		X			X			Data indsamlet af IPU
<b>Produktion hos Semco og leverandører</b>								
Produktion, generelt		X				X		Data indsamlet af IPU
<b>Brugsfasen</b>								
Energiforbrug, el	X			X				Semco
Energiforbrug, termisk	X			X				Semco
Energidata		X			X			UMIP database
Levetid	X						X	Semco
<b>Bortskaffelse</b>								
Bortskaffelses måde		X			X			Data indsamlet af IPU
Genvinding, generelt		X			X			UMIP database
Genvinding, kobber	X				X			Data indsamlet af IPU
Genvinding, rustfrit stål		X			X			Data indsamlet af IPU
<b>Transport</b>								
Afstande og transportmiddel	X		X				X	Data estimeret af IPU
Energiforbrug og emissioner			X		X			UMIP database
<b>Undgået produktion</b>								
Generelt		X			X			UMIP database
Rustfrit stål, primær		X				X		Data beregnet af IPU
<b>Energisystemer</b>								
Termisk energi		X			X			UMIP database
Elenergi		X			X			UMIP database

### Noter

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

Produkt specifikke data: Gælder processer, hvor produktet specifikt indgår

Stedspecifikke data: Gælder data fra aktuelle lokaliteter i produktets livsforløb.

Generelle data: Alle andre

Tabel 1. Referencegrundlag for data til miljøvurdering af SEMCO ventilationsanlæg.



# 4 Opgørelse

## 4.1 Dataindsamling og -behandling

De enhedsprocesser, der indgår i ventilationsanlæggets livscyklusvurdering 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	Ventilationsanlæggets materialesammensætning fremgår af matrix-LCAen, bilag a, og af figur 3. Forzinket stålplade og mineraluld er ikke repræsenteret i UMIP databasen og der er etableret nye data for disse. Forzinkning af stålplade er udført ved varmgalvanisering og procesbeskrivelsen er baseret på oplysninger i (Miljøstyrelsen, 1996) samt oplysninger fra leverandøren af varmgalvaniseret stålplade. For stålpladen er benyttet data fra UMIP-databasen. Data for mineraluld er baseret på (Miljøstyrelsen, 1995).
Produktionsfasen	For produktionen af delene til et ventilationsanlæg er der som nævnt i afsnit 3.2 valgt at benytte et erfaringsbaseret energiforbrug. (Gydesen et. al. 1990) oplyser på baggrund af en række litteratureksempler, at energiforbruget til produktion af sammensatte produkter er af størrelsesorden 25 MJ per kg produkt, målt som primær energi, dvs. udvinding af energiråstoffer og produktion af energi er indregnet. De gennemgæede eksempler i UMIP-projektet (Wenzel et. al., 1996b) er af samme størrelsesorden, men viser også en variation eftersom produktet er komplekst eller simpelt. Da hovedparten af et ventilationsanlæg er simpelt (kanaler, rammer, kasser) er energiforbruget til produktionen vurderet til 10 MJ per kg baseret på eksemplerne i UMIP projektet. Der er regnet med elenergi produceret med en virkningsgrad på 33% svarende til 1 kWh direkte energi per kg produkt.
Brugsfasen	Ventilationsanlæggets 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 elenergi produceret i Danmark i 1992 som findes i UMIP-databasen. Til følsomhedsvurderingen er anvendt et nyere dansk el-scenarie fra 1996, hvor der er foretaget exergi-allokering mellem el og varme. Scenariet er estimeret af IPU ud fra oplysninger i elværkernes årsrapport. Der er desuden anvendt et scenarie baseret på naturgas marginal elproduktion baseret på (Frees & Weidema, 1998). Under brug skal den udsugede luftmængde erstattes med udeluft, som skal opvarmes i store dele af året. Energimængden til opvarmning af erstatningsluft er beregnet af SEMCO ud fra den årlige gennemsnitstemperatur i Danmark (ca. 8 °C) til rumtemperatur (21 °C). Opvarmningen antages i Danmark produceret ved fyring fra 40% naturgas og 60% olie (Eurostat, 1997). Der er antaget en virkningsgrad på 85 % fra indfyret energi (f.eks kg olie eller naturgas) til afgiven energi til opvarmningen. Data for fyring per kg indfyret brændsel er fra UMIP databasen.

Bortskaffelsesfasen	<p>Ventilationsanlæg som de her betragtede er anlæg med store komponenter, og det må antages at disse demonteres og genvindes ved nedtagning af anlægget, f.eks. i forbindelse med nyinstallation eller nedrivning af bygningen, hvori anlægget sidder. Det antages derfor at alt metal i et ventilationsanlæg sendes til genvinding. Mineraluld vil antageligt blive deponeret og plast forbrændt. Plastindholdet i det betragtede anlæg er neglignibelt, men hvis plast anvendes i stor udstrækning må dets bortskaffelsesvej overvejes, se kapitel 8.</p> <p>For motorens vedkommende sendes nogle til kobbersmelteværk for udvinding af kobber og andre sendes til normal metal shreddning. I kobbersmelteværket er der høj genvinding af kobberet, men aluminium og stål går tabt. I shredderen er der høj udsortering af stål, men et vist tab af aluminium og især kobber (Erichsen, 1999). Dette er baggrunden for de antagne genvindingsgraderne vist i afsnit 3.1.</p> <p>Enhedsprocesserne for genvinding af materialer er i UMIP databasen beskrevet i forhold til mængden af genvundet materiale, som grundet procestab er lidt mindre end den mængde som tilgår processen. Der regnes med 5 % tab. Der er etableret data for omsmelting af kobber i kobbersmelteværk.</p>
Transportfasen	<p>Transport af råmaterialer, halvfabrikata og underleverancer samt transport i forbindelse med distribution og bortskaffelse er estimeret af IPU ud fra oplysninger fra SEMCO. Transporten finder sted med skib eller med stor lastbil, hvor der er regnet med landevejskørsel, som afspejler et gennemsnit af kørsel på landevej, motorvej og i by. Transportdata er fra UMIP enhedsprocesdatabasen.</p>
Systemudvidelse og undgået produktion	<p>Da man undgår produktion af nyt materiale trækkes den genvundne mængde fra det oprindelige forbrug af primært materiale. Plast regnes neglignibelt i det betragtede anlæg, men ved genvinding af plast gælder særlige forhold, da plast ved genvinding ikke får helt samme kvalitet som primært materiale, eller kun kan recykles et vist antal gange, hvorved det fortrænger en mindre mængde primært materiale end mængden af genvundet materiale, se eksemplet i kapitel 8.</p>

#### 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 er vist i figur 3.

NF-PS101: Ventilation 2300 m<sup>3</sup>/h; 1000 m<sup>3</sup>/h i 20år

- 1 1000M<sup>3</sup>/H Ventilation 2300 m<sup>3</sup>/h; 1000 m<sup>3</sup>/h i 20år (NF-PS101)
  - 1 stk Materialefase ventilation 2300 per 1000 (NF-MF1.1)
    - 12,7 kg Stålplade (89% primær), TERMINERET (M32205T98)
    - 35,2 kg Al (primær) 1, TERMINERET (M32765T98)
    - 10,6 kg Cu (P), TERMINERET (M32518T98)
    - 229 kg Rustfrit stål, TERMINERET (M32204T98)
    - 13 kg Støbejern, TERMINERET (M32297T98)
    - 485 kg Stålplade (89% primær), forzinket (NF-M2210)
    - 91,3 kg Mineraluld (stenuld) (NF-M2300)
  - 1 stk Produktionsfase ventilation 2300 pr 1000 (NF-PF1.1)
    - 880 kWh Dansk elproduktion, 1992, TERMINERET (L32719T98)
  - 1 stk Brugsfase ventilation 2300 per 1000 (NF-BRF1.1)
    - 2,742E5 kWh Dansk elproduktion, 1992, TERMINERET (L32719T98)
    - 2,848E4 kg Gasolie ved fyring 1-20MW (E32763)
    - 1,686E4 kg Naturgas ved fyring <1->50MW (E32760)
  - 1 stk Bortskaf.fase ventilation 2300 per 1000 (NF-BOF1.1)
    - 26,4 kg Al (genbrug, 100%), TERMINERET (M32198T98)
    - 485,4 kg Stålplade (genbrug, 90,5%) TERMINERET (M32381T98)
    - 218 kg Omsmeltning + valsning, rustfrit stål (NF-B2021)
    - 5,2 kg Omsmeltning af kobber (NF-B2600)
  - 1 stk Transportfase ventilation 2300 per 1000 (NF-TF1.1)
    - 1,75E7 kgkm Bulkcarrier, 2-t, 175000 DWT, TERMINERET (O32711T98)
    - 1,08E6 kgkm Lastbil >16t diesel landev. TERMINERET (O32694T98)
  - 1 stk Undgået produktion ventilation 2300 pr 1000 (NF-SU1.1)
    - 229 kg Rustfrit stål, TERMINERET (M32204T98)
    - 229 kg Rustfrit stål (primær) (NF-M1204)
    - 218 kg Rustfrit stål (primær) (NF-M1204)
    - 3,7 kg Zn (100% primær), TERMINERET (M32621T98)
    - 473,2 kg Stålplade (89% primær), TERMINERET (M32205T98)
    - 26,4 kg Al (primær) 1, TERMINERET (M32765T98)
    - 5,2 kg Cu (P), TERMINERET (M32518T98)
    - 12,2 kg Støbejern, TERMINERET (M32297T98)

Figur 3. Procesoversigt, ventilationsanlæg 2300 m<sup>3</sup>/h

### 4.3 Resultatberegning

Resultaterne af opgørelsen er beregnet i UMIP PC-værktøj. Et resume er vist i tabel 2.

Udveksling	Mængde i kg per 1000 m <sup>3</sup> /h totalt	Bemærkninger
<b>Til luft:</b>		
CO <sub>2</sub>	417.000	
SO <sub>2</sub>	1.480	
NO <sub>x</sub>	1.310	
CO	158	
CH <sub>4</sub>	1080	Mest fra kuludvinding
N <sub>2</sub> O	15	
HC/VOC	184	
NMVOC	14	
Partikler	146	
Hg	0,0045	
Pb	0,026	
<b>Til vand:</b>		
Se PC-model		Fra energifremstilling
<b>Affald:</b>		
Uspec. industriaffald	13	
Uspec. volumenaffald	45.600	Fra kuludvinding
Slagge og aske	7.210	Fra elproduktion
<b>Ressourcer:</b>		
Stenkul, rå	142.000	
Råolie	35.600	
Naturgas	22.000	
Jern	92	
Aluminium	15	
Kobber	5,4	
Nikkel	1,0	
Mangan	3,9	
Zink	22	

Tabel 2. Udvalgte opgørelsesresultater for ventilationssystem 2300 m<sup>3</sup>/h ved 20 års drift.



# 5 Vurdering

## 5.1 Vurderingsmetode

Vurderingen følger UMIP-metoden, der er beskrevet i Wenzel et. al..

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 (CO <sub>2</sub> ); men methan (CH <sub>4</sub> ) bidrager 25 gange så kraftigt og lattergas (N <sub>2</sub> O) 320 gange så kraftigt. Ved at gange methan- og lattergasemissionen med de nævnte faktorer omregnes de til potentielle drivhuseffektbidrag målt i CO <sub>2</sub> -ækvivalenter. Disse oplyses f.eks. i gram (g-ækv.). Der findes potentielle miljøeffekttyper for drivhuseffekt (CO <sub>2</sub> -ækv.), forsurening (SO <sub>2</sub> -ækv.), næringssaltbelastning (NO <sub>3</sub> -ækv.), fotokemisk ozondannelse (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -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 <i>normalisering</i> . Normalisering betyder, at samfundets samlede bidrag til en potentiel miljøeffekt, f.eks. drivhuseffekt, beregnes <u>per indbygger</u> i referenceåret 1990. Enheden er <i>Personækvivalent</i> , <i>PE</i> . 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 <i>vægtningsfaktor</i> . 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 $mPEM_{WDK2000}$ .
Vægtning af ressourcer	Foruden vægtningen af de potentielle miljøeffekter foretages en tilsvarende procedure for vægtning af ressourceforbrug. For de enkelte ressourcer

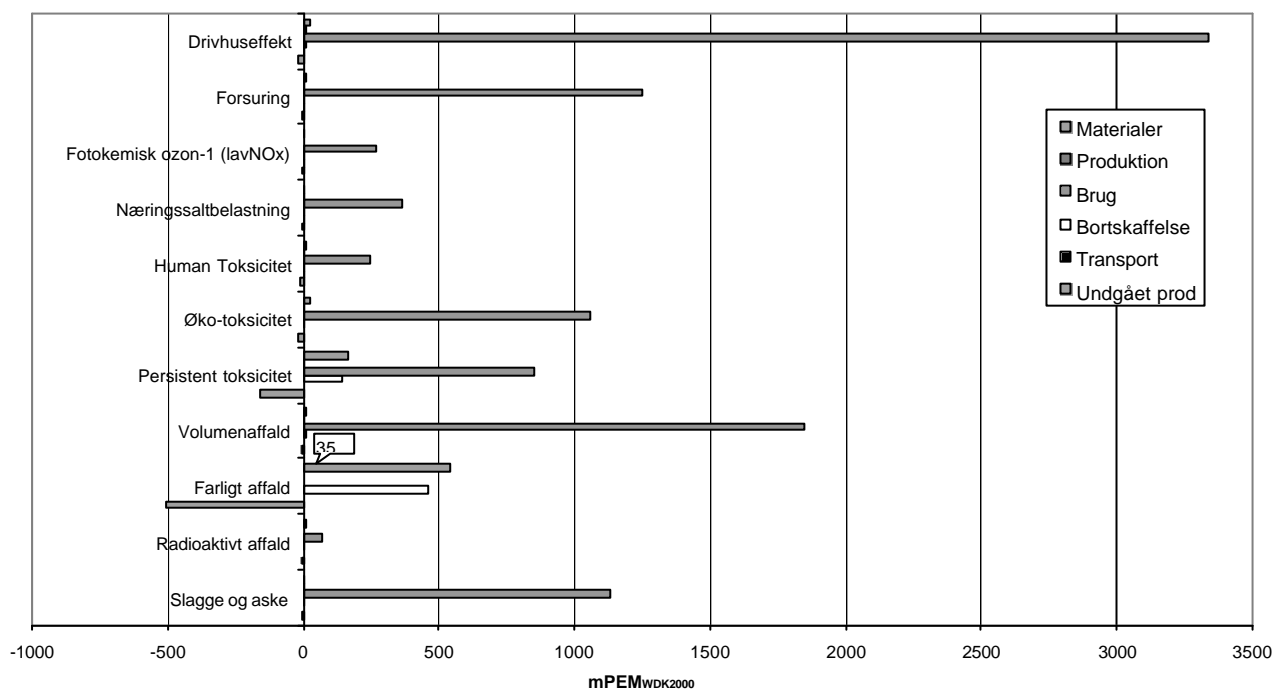
udtrykkes denne vægtning som andelen af personreserven opgjort i 1990, forstået som andelen af de kendte reserver af den pågældende ressource, som hver verdensborger råder over. Enheden er millipersonreserve,  $mPR_{w90}$ .

## 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 ventilationsanlægget, men kun vægtningsresultatet vises her.

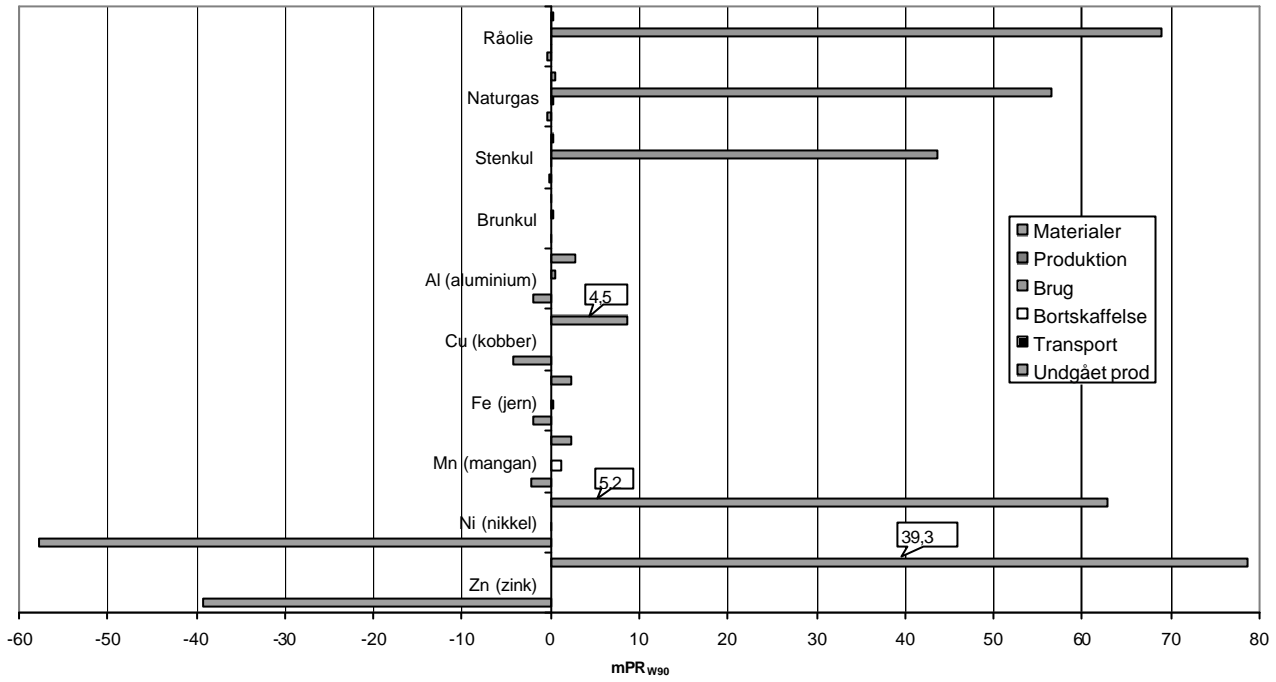
Resultatet af vægtningen af ydre miljøeffekter og af ressourceforbrug fremgår af figurerne 4 og 5. Vægtningen er opdelt på faser. Resultaterne fremgår desuden af bilag B.

Vægtede miljøeffekter, ve2300 A



Figur 4. Vægtede miljøeffektpotentialer per 1000 m<sup>3</sup>/h per år for 2300 m<sup>3</sup>/h ventilation med levetid 20 år.

Vægtede ressourcer, ve2300 A



Figur 5. Vægtede ressourceforbrug per 1000 m<sup>3</sup>/h per år for 2300 m<sup>3</sup>/h ventilation med levetid 20 år



# 6 Fortolkning

## 6.1 Væsentligste påvirkninger

### Ydre miljø

Med hensyn til det ydre miljø stammer de væsentligste påvirkninger fra brugsfasen, og skyldes energiforbruget. Drivhus-effekt, forsurening, økotoxicitet, volumenaffald og slagge & aske er her dominerende med en andel på ca. 99 % i forhold til de øvrige faser. Den særligt høje andel af netop disse effekter kan tilskrives den overvejende kulbaserede elproduktion. Forudsætningerne for elproduktionen er derfor vurderet i følsomhedsvurderingen.

For de øvrige faser bemærkes persistent toksicitet og farligt affald fra materialefasen, men disse modregnes i høj grad ved undgået produktion af nyt materiale, når materialerne genbruges. Der er ligeledes nogen persistent toksicitet og farligt affald fra bortskaffelsesfasen. Det er muligt at der i praksis er en større andel af disse effekter fra brugsfasen, som diskuteret under følsomhedsvurdering.

### Ressourcer

Med hensyn til ressourcer dominerer energiressourcerne til brugsfasen. For materialefasen er nikkel ligeledes dominerende. Nikkel indgår i rustfrit stål, som benyttes til det lille ventilationssystem, men det modregnes i høj grad ved undgået produktion af nyt materiale, når det rustfri stål genanvendes. Kobber og zink i materialefasen bemærkes også, men modregnes til en vis grad ved undgået produktion af nyt materiale, når materialerne genbruges.

## 6.2 Følsomhedsvurdering

Her vurderes, hvor følsomme de opnåede resultater er dels i forhold til usikkerhed på de anvendte data og vurderingsfaktorer og dels på 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). Der er derfor foretaget følsomhedsanalyse dels på et nyere dansk elscenarie (1996) og dels på antagelse af dansk marginal elproduktion (naturgas), se bilag C. Miljøbelastning mindskes ca. 20 % for dansk elscenarie 1996. For naturgas marginal el mindskes CO<sub>2</sub> 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 forskellen mindre. For naturgasmarginal el medfører den hårdere vægning af naturgas, at det samlede vægtede forbrug af fossil energi stiger

med 40 % selvom stenkul næsten falder helt væk. Følsomhedsvurderingen ændrer ikke ved den konklusion, at brugsfasen er altdominerende.

Toksicitetsvurderingerne for 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 tungmetaller.

Mængden af farligt affald fra energiproduktion til brugsfasen er forholdsvis lille, hvilket kan skyldes manglende registrering under den oprindelige dataindsamling. Ventilationsprodukter af kategorien farligt affald er som tidligere nævnt ikke regnet til ventilationssystemet.

#### Øvrige faser

For de øvrige faser er persistent toksicitet og farligt affald de mest fremtrædende og dermed følsomme. Disse effekter stammer fra materialefaserne og bortskaffelsesfasen. Der knytter sig generelt stor usikkerhed til toksicitets og affalds data, for affald kan det f.eks. skyldes, at affald i nogle lande registreres som farligt, i andre ikke. Man skal derfor være varsom med at konkludere ud fra disse data.

Med hensyn til ressourcer, er data for nikkel, kobber og zink følsomme, selvom disse metaller optræder i forholdsvis små mængder. F.eks. anvendes zink som et ca. 10 my tyndt overfladelag på stålkanalerne, men zinken vægtes alligevel højere end jernet. Dette viser at man ikke kan se bort fra disse ressourcer, selvom de optræder i små mængder. Der er ikke anvendt sjældne ressourcer i øvrigt, bortset fra meget små mængder tin og bly i lodninger, som et følsomhedsoverslag viser ingen betydning har. Resultaternes følsomhed med hensyn til anlæggets opbygning er diskuteret i kapitel 7.

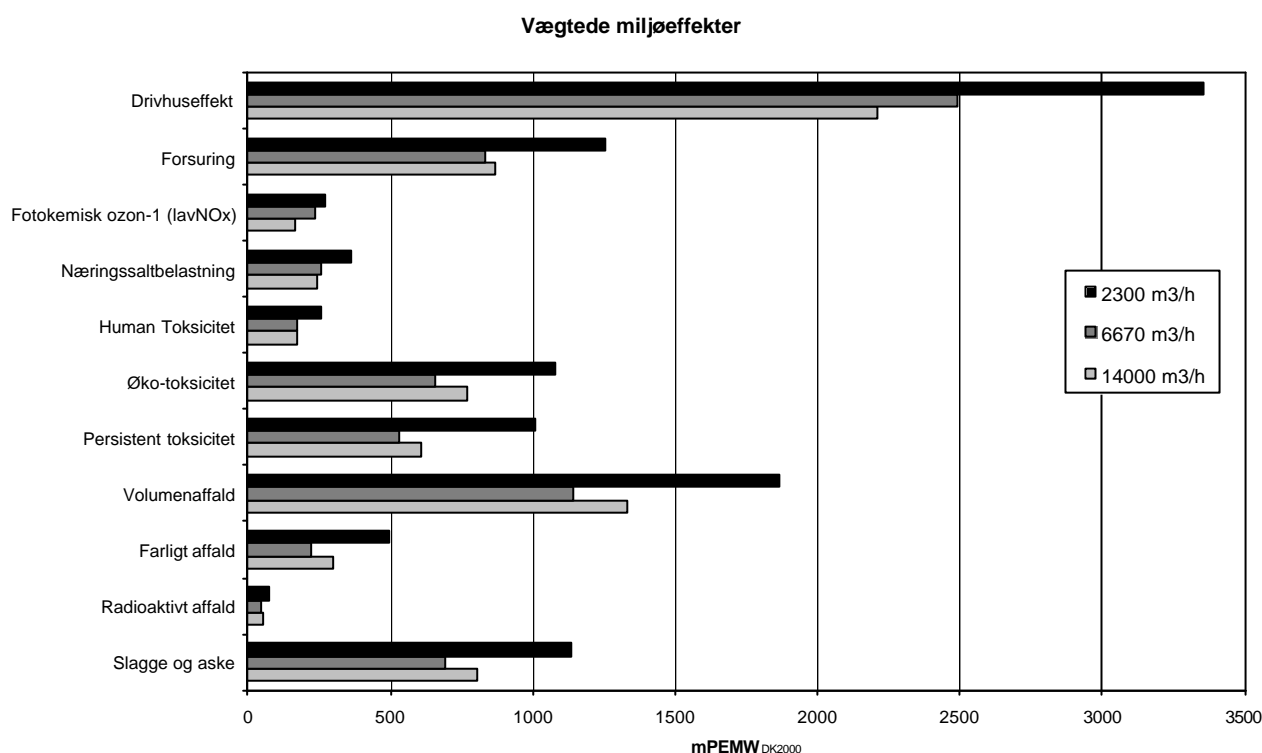
### 6.3 Diskussion

På baggrund af dominans- og følsomhedsvurderingen konkluderes det at de foretagne forenklinger har været rimelige, og at det relative forholdet 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 kan desuden konkluderes, at en indsats for miljøforbedring især skal koncentrere sig om at nedbringe energiforbruget under drift. Sekundært kan man overveje at undersøge alternative materialer til rustfri og galvaniserede stålkanaler, som indebærer et mindre forbrug af sparsomme ressourcer og om muligt mindre persistent toksicitetsbelastning. Det er dog vigtigt at substitution af materialet ikke medfører øget energiforbrug under drift. Plastkanaler synes at være en mulighed som bør undersøges, da disse har et mindre strømningstab end stålkanaler, og fremstilles af ressourcer med lavere vægning. Dette er beskrevet i kapitel 8.

## 7 Repræsentativitet for produktfamilien

Ventilationsanlæg dimensioneres som oftest individuelt til en konkret opgave, og findes derfor i en uendelighed af udførelser. For at undersøge variationsbredden og hvorledes det betragtede 2300 m<sup>3</sup>/h ventilationsanlæg er repræsentativt er der regnet på et par større anlæg (6670 og 14000 m<sup>3</sup>/h), som samtidigt har en anden materialesammensætning. Resultaterne fremgår af matrix-LCA'en bilag a og af figur 6 og 7.

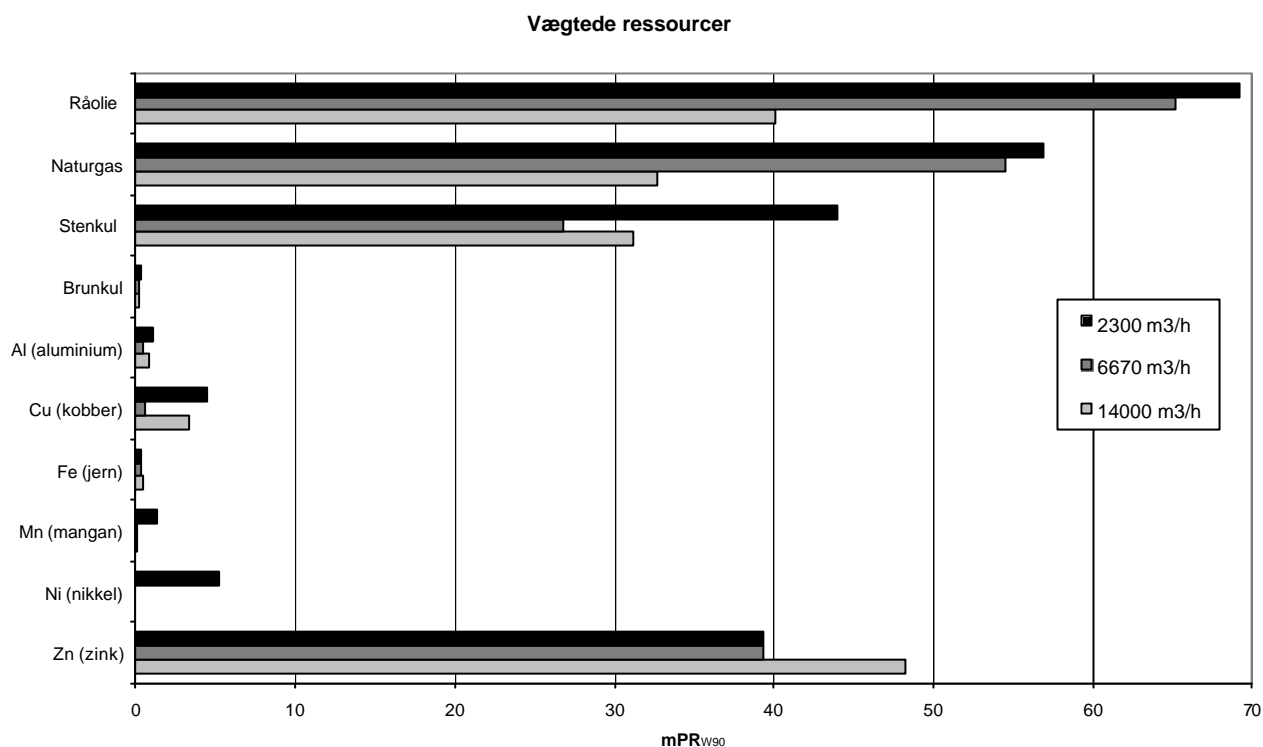


Figur 6. Vægtede miljøeffekter, 3 forskellige anlæg.

### *Energi*

Det lille ventilationsanlægget på 2300 m<sup>3</sup>/h er kendetegnet ved det største energiforbrug per 1000 m<sup>3</sup>/h - ca. 35 % større end det mellemstore anlæg på 6670 m<sup>3</sup>/h og ca. 50 % større end det store anlæg på 14000 m<sup>3</sup>/h. En forklaring er, at ventilationssystemet har forholdsvis små traditionelle (ikke energispare) motorer, som er kendetegnet ved en ret lav virkningsgrad (ca. 70 %), idet virkningsraden for en el-motor falder med størrelsen under ca. 5 kW. Det mellemstore anlæg har en energisparemotor med en virkningsgrad på 85 %, og vil forventeligt bruge ca. 20 % mindre energi. Det store anlæg har en motor med virkningsgrad på 87 %. Når energiforbruget ved det store anlæg er mindre per 1000 m<sup>3</sup>/h end ved det mellemstore skyldes det en mere effektiv varmegenvinding (roterende varmeveksler vs. krydsvarmeveksler). El-energiforbruget for det store anlæg er faktisk lidt større end for det mellemstore, hvilket f.eks. kan skyldes et forholdsvis større kanalsystem. Samme forklaring gør sig gældende for det lille anlæg, som en anden del af

forklaringen end motorens virkningsgrad. Det mindre energiforbrug til opvarmning af erstatningsluft og det lidt større el-energiforbrug for det store anlæg i forhold til det mellemstore forklarer hvorfor f.eks. drivhuseffekten er mindre, selvom f.eks. forsyning og volumenaffald er større, og også hvorfor ressourceforbruget (figur 7) af råolie og naturgas er mindre og stenkul er større.



Figur 7. Vægtede ressourcer, 3 forskellige anlæg.

### Materialer

Materialeressourcerne adskiller sig ved, at det lille ventilationsanlæg benytter rustfrit stål til en del af kanalsystemet, og derfor er der et forbrug af de sparsomme ressourcer nikkel og mangan. Chrom, som også findes i rustfrit stål, regnes ikke for at være sparsom. Rustfrit stål bruges kun hvor der er fare for korrosion, så dette er generelt ikke repræsentativt. Alle anlæg har zinkforbrug fra galvaniserede kanaler og dette må regnes for repræsentativt. Det mellemstore anlæg har et væsentligt mindre kobberforbrug end det store og lille anlæg. I det mellemstore anlæg bruges kun kobber i motorerne og muligvis en mindre del i en varmevlade. I det lille anlæg findes en køleflade med stort forbrug af kobber og en varmevlade med et lille kobberforbrug. I det store anlæg står motorerne for det største kobberforbrug, men der findes også en varmevlade af kobber. Varmevlader er almindelige i ventilationsanlæg, hvorimod køleflader kun benyttes i nogle systemer.

De 3 ventilationsanlæg er balancerede anlæg med både ud- og indblæsning. Alternativet er enkle anlæg med kun en motor/ventilator. El-energiforbruget vil herved være indre, men til gengæld vil der ikke være mulighed for varmeveksler, således at det samlede energiforbrug alligevel vil blive større.

Generelt vil resultaterne variere med anlægstype og konstruktion. Det lille anlæg bruger forholdsvis mere energi end de øvrige anlæg, men kan nok regnes som repræsentativt indenfor et forventeligt variationsområde. På resourcesiden er der benyttet rustfrit stål i det lille anlæg, hvad der ikke er



generelt repræsentativt. Det samme gælder køleflader og dermed et højt kobberforbrug. Energisparemotorer anvendes ikke generelt, men effekten heraf vil ligge indenfor det forventelige variationsområde.



# 8 Forbedringsanalyse

## 8.1 Diagnose

Resultatet af miljøvurderingen viser, at et ventilationsanlægs miljøbelastning altovervejende stammer fra energiforbruget i driftfasen. Ressourceforbruget domineres som følge heraf af energiressourcer til driftfasen, men knappe ressourcer så som zink, nikkel og kobber er også at finde.

Energiforbruget er dels elektricitet til drift af selve ventilatoren, men også termisk energi til opvarmning af erstatningsluft, dvs. den kolde udeluft som erstatter den varme indeluft som fjernes. I Danmark er det kun få tider i døgnet, hvor udeluften er varmere end indeluften.

Både elektricitetsforbruget til drift af ventilatoren og den termiske energi til opvarmning af erstatningsluft lader sig optimere.

### Eksempel

For nærmere at undersøge hvorledes el-energiforbruget til drift af ventilatoren kan nedbringes er der gennemregnet et eksempel på et enkelt ventilationsanlæg. Anlægget er et indblæsningssystem opbygget af ventilator, filter, varmeplade, lydæmper, kanaler og 10 indblæsningsarmaturer (anemostater), se figur 8 og 9. Anlægget har følgende data:

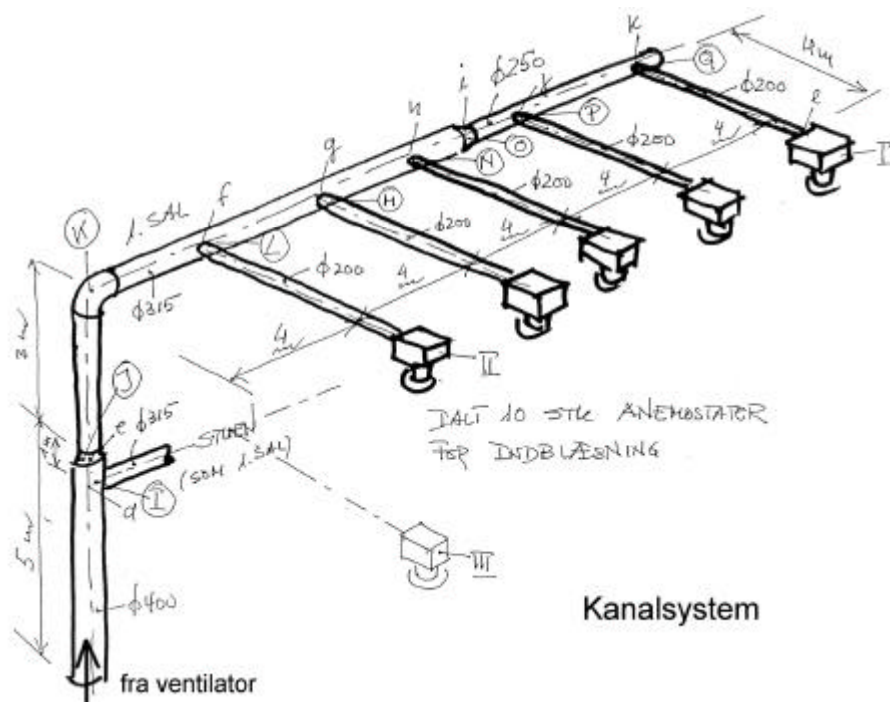
Volumenstrøm: 2880 m<sup>3</sup>/h sv.t. 0,8 m<sup>3</sup>/s

Kanaler: Hovedkanal Ø400 mm, længde 6 m\*

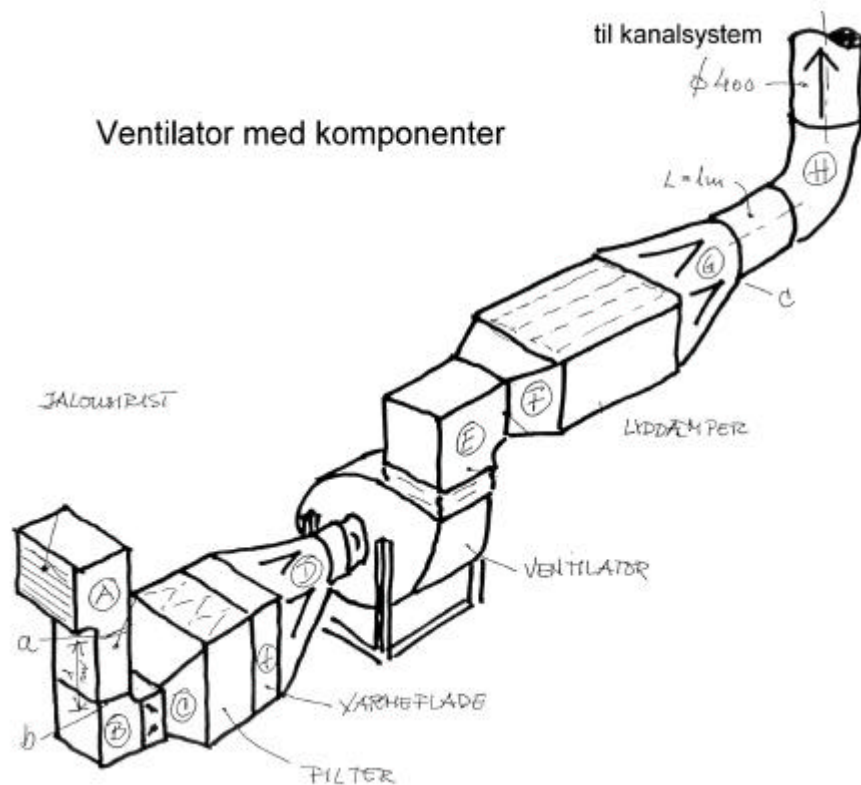
Fordelingskanaler: Ø250-315 mm, samlet længde 43 m\*

Kanaler til armaturer: Ø200 mm, samlet længde 40 m\*

\*lige længde, dvs. uden bøjninger



Figur 8. Ventilationssystem, kanaler og indblæsning



Figur 9. Ventilationssystem, ventilator med tilsluttede komponenter

### Tryktab

Tryktabene i anlægget er vist i tabel 3 og er beregnet på baggrund af leverandøroplysninger om modstande eller tryktab i kanaler, enkeltmodstande og komponenter. Systemtryktabet er beregnet af SEMCO og er et udtryk for det tab, som opstår når luftstrømmen går fra ventilatoren og ind i kanalsystemet, set i forhold til et ideelt system, forstået som en lang lige kanal af samme tværsnit som ventilatorens trykside. I eksemplet er der en bøjning umiddelbart på ventilatorens udblæsning, som giver et systemtab. Luftens dynamiske tryk er et udtryk for dens kinetiske energi og beregnes af formlen  $p_d = \frac{1}{2}\zeta v^2$ , hvor  $\zeta$  er luftens densitet og  $v$  dens hastighed. Enheden er Pa (Pascal).

Trykfald, Pa, i ventilationsanlæg, 2880 m <sup>3</sup> /h, 10 indblæsningssteder.			
kanaler			
Tab	stål	plast	Bemærkninger
Lige kanaler	21	18	
Enkeltmodstande (bøjninger etc.)	79	67	
Komponenter (filtre, ind/udblæsning)	225	225	Filter = 150
Systemtab	84	84	
Dynamisk tryk	60	60	Teoretisk = 24
I alt	469	458	

Tabel 3. Trykfald i ventilationsanlæg, eksempel

### Effektbehov

Den nødvendige afgivne effekt som ventilatoren skal præstere for at drive systemet kan beregnes af:

$$P = \Delta p q_v / (\eta_{\text{ventilator}} \eta_{\text{retræk}})$$

hvor  $P$  er mekaniske effekt,  $\Delta p$  er trykstigning,  $q_v$  volumenstrøm og  $\eta$  er virkningsgrad.

Hvis virkningsgraden var 1 er effektbehovet  $469 \text{ Pa} \times 0,8 \text{ m}^3/\text{s} = 375 \text{ Watt}$ .

For at finde frem til den nødvendige motorstørrelse regnes med:

$$\eta_{\text{ventilator}} 0,65$$
$$\eta_{\text{remtræk}} 0,95$$

*3<sup>die</sup> potens lov*

Ofte vil man indregne en mulighed for at kunne øge anlægsydelsen med f.eks 10 %. Effektbehovet stiger herved med 3<sup>die</sup> potens, gældende for turbulent strømning, dvs. overkapacitetsfaktoren bliver  $1,1 \text{ E}3 = 1,33$

I alt skal effektbehovet ved virkningsgraden 1 ganges med  $1,33/(0,65 \times 0,95) = 2,15$

Effektbehov motor:  $375 \times 2,15 = 810 \text{ Watt}$  (sv. t. en 1,1 kW motor)

Effekt ved normal drift:  $375/(0,65 \times 0,95) = 610 \text{ Watt}$

Der er her tale om motorens *afgivne effekt*, idet motorens *optagne effekt* fremkommer ved at dividere med virkningsgraden, som for en 1,1 kW motor er ca. 75 % eller ca. 80 % for en energisparemotor.

Det ses af tabel 3, at det største tab ligger i komponenterne, hvoraf filteret står for en stor del. Hvis der benyttes stålkanaler har kanalsystemet et tab på 100 Pa (ca. 21 %) fordelt med 20 % til de lige kanaler og 80 % til enkeltmodstande (bøjninger, reduktioner etc.). Ved at benytte plastkanaler nedsættes tryktabet i kanalsystemet med ca. 15 % (14 Pa), sv. t. 3 % af det samlede tab.

*Balancerede anlæg*

Det viste eksempel er et enkelt indblæsningsanlæg, hvor balancerede anlæg er almindelige for anlæg i denne størrelse. Forskellen er, groft sagt, at anlægget fordobles med et udblæsningsanlæg; men dertil kommer en varmeveksler, som også vil have et tryktab, som måske kan være af størrelsesorden som filteret (eksempler i Olufsen, 1995). Det viste anlæg er meget simpelt. Man kan forvente anlæg med flere enkeltmodstande og længere kanalsystemer i virkelige systemer, hvilket betyder at kanalsystemet måske skal tillægges lidt større vægt end i eksemplet. Disse forhold er baggrunden for, at det lille anlæg fra miljøvurderingen har 1,5 kW motorer vs. eksemplets 1,1 kW motor.

*Minimering af tryktab*

Som regel er anlæg opbygget ud fra en række praktiske hensyn som plads og økonomi. Derfor vil det i reglen være muligt at energioptimere anlæg, men anlægget vil næsten uundgåeligt blive dyrere, således at der skal regnes med en hvis tilbagebetalingstid. Dette vil blive behandlet i fase 4 af dette projekt. Anlægget i eksemplet er typisk derved at det er optimeret ud fra pris, idet bygningsreglementets grænse med hensyn til det specifikke el-forbrug skal være overholdt ( $\text{SEL} < 2,5 \text{ kW pr. m}^3/\text{s}$ , for VAV<sup>1</sup> anlæg dog  $3,2 \text{ kW pr. m}^3/\text{s}$ ). Indenfor visse fysiske rammer kan anlægget optimeres ved følgende tiltag:

---

<sup>1</sup> Variabel Air Volume

Tiltag	Besparelse Pa	Bemærkninger
Plastrør frem for stål	14	
Bøjninger med større radius	29	2xD i st.f. 1xD
Filter	75	Større filter
Systemtab	60	Omorganisering af kanaler
Dynamisk tryk	10	Større ventilator
<b>I alt</b>	<b>188</b>	

#### Effektbehov ved mindsket tryktab

Det ses at en besparelse på 188 Pa eller ca. 40 % er indenfor mulighedernes rækkevidde. Når der tages hensyn hertil bliver effektbehovet:  $(469-188) \text{ Pa} \times 0,8 \text{ m}^3/\text{s} = 225 \text{ Watt}$ . Montering af en større ventilator vil, foruden et lidt mindre dynamisk tryk, give en bedre virkningsgrad – måske 75 % i stedet for 65, idet den tilstræbes at arbejde i sit optimalområde (Olufsen, 1995). Virkningsgraden af transmissionen antages at blive en lille smule dårligere når der arbejdes med lavere effekter f.eks. 0,93 vs. 0,95 (Olufsen, 1995).

Faktorer:

Overkapacitet  $1,1 E3 = 1,33$

Virkn.grad ventilator: 0,75

Virkn.grad transmission: 0,93

I alt: 1,87

Effektbehov motor:  $225 \times 1,87 = 420 \text{ Watt}$  (sv. t. en 0,55 kW motor)

Effekt ved normal drift:  $225/(0,75 \times 0,93) = 325 \text{ Watt}$

#### Motorstyring

Foruden selve ventilationsanlægget ligger der væsentlige muligheder i motorens og anlæggets styring. Ved at anvende frekvensstyring af motoren behøver man ikke at tage hensyn til overkapacitetsfaktoren, da motorstyringen kan kompensere for denne, ved f.eks. tilstoppet filter. Motorens effektbehov bliver da  $225/(0,75 \times 0,93) = 325 \text{ Watt}$  (sv.t. en 0,37 kW motor). Der er ingen umiddelbar fordel ved at gå en motorklasse ned, da det for små motorer (< ca. 5 kW) gælder, at en mindre motor har lavere virkningsgrad end en større indenfor motorens normale driftsområde. Hvis motoren udnyttes med mindre end ca. 25 % af sin effekt falder virkningsgraden drastisk. Dette skal man være opmærksom på ved behovsstyring af ventilationsanlægget, hvor man altså ikke bør benytte større motor end nødvendigt.

#### Behovsstyring

Behovsstyring af ventilationsanlægget kan etableres i forbindelse med frekvensstyring, idet man måler og regulerer det aktuelle ventilationsbehov ud fra nærmere antagne parametre, f.eks. CO<sub>2</sub> indhold i lokalet. De steder, hvor der ikke er ventilationsbehov, lukkes automatisk og ventilationsanlæggets samlede volumenstrøm nedreguleres tilsvarende. På denne måde kan der ofte spares 50 % energi eller mere. Besparelsen kan til dels forventes at følge førnævnte 3<sup>de</sup> potens lov, se eksemplificeringen i afsnit 8.2, dvs. at en halvering af luftmængden kan medføre ned til 1/8 af ventilatorens energiforbrug, hvorimod varmetabet ligeledes halveres. Som nævnt må man tage hensyn til valg af motorstørrelse ved behovsstyring af anlægget, og det samme gælder ventilatoren, således at disse kommer til at arbejde mest muligt i deres optimale virkningsgradsområde. Dette kan ske ved en såkaldt samtidighedsdimensionering af anlægget, dvs. anlægget dimensioneres efter hvor mange brugssteder der maksimalt forventes at være i gang samtidig og ikke efter at anlægget skal kunne ventilere alle brugssteder samtidig. På denne måde vil man gå ud fra et forholdsvis mindre anlæg, som bedre bevare sin effektivitet når det reguleres ned.

<i>Varmegenvinding</i>	Balancerede anlæg er som hovedregel forsynet med varmeveksler og her kan varmegenvindingen effektiviseres ved at vælge en varmeveksler som er bedst muligt afpasset anlæggets kapacitet, eller man kan vælge rotationsvarmeveksler frem for krydsvarmeveksler. Rotationsvarmeveksleren medfører dog en hvis risiko for at udsagningsprodukter, f.eks. bakterier, partikler eller kemikalier, overføres til indblæsningsluften.
<i>Varmepumpe</i>	For enkelte ventilationsanlæg kan der etableres varmepumpe. Varmepumpen henter energien fra den varme udsugningsluft og den direkte virkningsgrad bliver derved god, dvs. mellem en tredjedel og en fjerdedel i forhold til moderne olie- eller naturgasfyr. Varmepumpen skal dog forsynes med elektricitet, og når virkningsgraden ved el-produktion indregnes bliver det primære energiforbrug nogenlunde som for balanceret ventilation med varmeveksler, men driftøkonomien for varmepumpen er god.
<i>Naturlig ventilation</i>	<p>I forhold til at optimere og styre et anlæg med tvungen ventilation som ovenfor beskrevet kan man vælge en konceptuelt anden løsning ved at udnytte naturlig ventilation. Når man etablerer tvungen ventilation er det normalt fordi den naturlige ventilation ikke tilfredsstiller ventilationsbehovet, men det er muligt at arbejde med løsninger baseret på naturlig ventilation, idet den såkaldte "skorstenseffekt" udnyttes, dvs. termisk opdrift som følge af temperaturforskel mellem top og bund af en lang opretstående kanal.</p> <p>I varme sommerperioder, hvor ventilationsformålet er køling, kræver naturlig ventilation særlig udformning for at udnytte solens energi, da de normale termiske drivkræfter mellem udetemperatur og indetemperatur ellers er for små. Skorstenseffekten kan her f.eks. etableres ved hjælp af en solvæg.</p> <p>Naturlig ventilation konstrueret som beskrevet kan erstatte eller understøtte tvungen ventilation, men dimensioneringen kræver særlig erfaring (Andersen, 1998). Varmegenvinding udenfor sommerperioden kan etableres ved hjælp af en varmeveksler med særlig lavt gennemstrømningstab, men teknologien er under udvikling (Energistyrelsen, 1999). Det er usikkert om en varmepumpe vil virke for naturlig ventilation, da den medfører en kraftig afkøling af luftafkastet som kan forstyrre de termiske ventilationskræfter. Hvis der ikke etableres varmegenvinding vil varmemforbruget til opvarmning af erstatningsluft med stor sandsynlighed overstige den driftmæssige besparelse af ventilatorens elforbrug.</p>

## 8.2 Forbedringspotentialer

Tabel 4 viser nogle typiske energiforbrug for nogle konceptuelt forskellige typer ventilationsanlæg som beskrevet i afsnit 8.1. Hver af disse typer ventilationsanlæg kan forbedres ifølge mulighederne beskrevet i afsnit 8.1, men for naturlig ventilation er forbedringsmulighederne mest begrænset til behovsregulering.

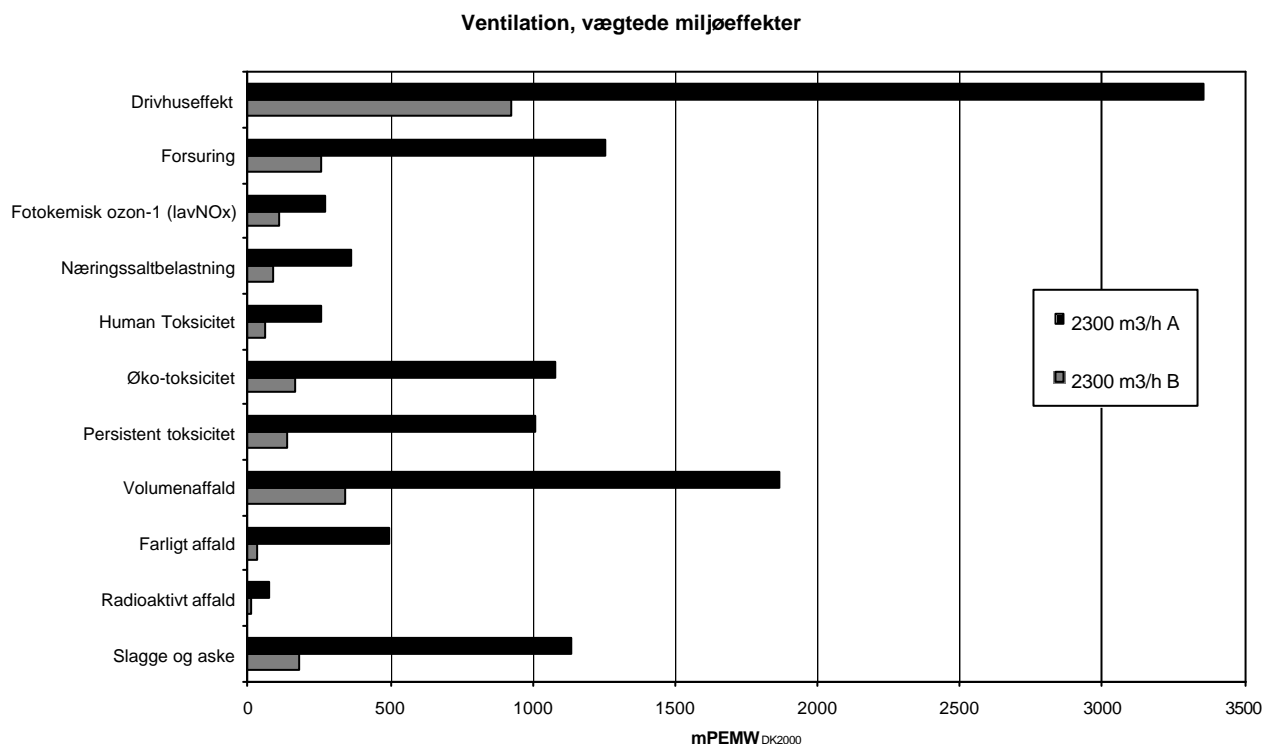
Ventilationssystem	Primær energiforbrug, MJ/år
Balanceret ventilation med varmeveksler	162.000
Enkel ventilation	241.000
Naturlig ventilation (luftopvarmning)	191.000
Naturlig ventilation med varmeveksler	97.000
Enkel ventilation med varmepumpe	162.000

Tabel 4. Typiske energiforbrug for forskellige typer ventilationsanlæg.

Figur 10 og 11 viser de vægtede miljø- og ressourcebelastninger for det lille ventilationsanlæg på 2300 m<sup>3</sup>/h, hvor der er regnet med energibesparelse dels gennem optimering af anlægget som beskrevet i afsnit 8.1 og dels gennem behovsstyring af anlægget, ligeledes beskrevet i afsnit 8.1. Som reference er vist værdierne fra miljøvurderingen, kapitel 5.

Besparselsen gennem optimering af anlægget er opnået ved filter og varmeveksler med mindre strømningsmodstande, ventilator med større virkningsgrad, energisparemotor, bøjninger med større radius, plastkanaler i stedet for stål, samt en vis omlægning af kanaler og komponenter for at begrænse systemtab. Varmeveksleren med mindre strømningsmodstand antages at have uændret virkningsgrad. Ved de nævnte tiltag antages opnået en besparelse for anlæggets eget energiforbrug på 40 %, jfr. afsnit 8.1

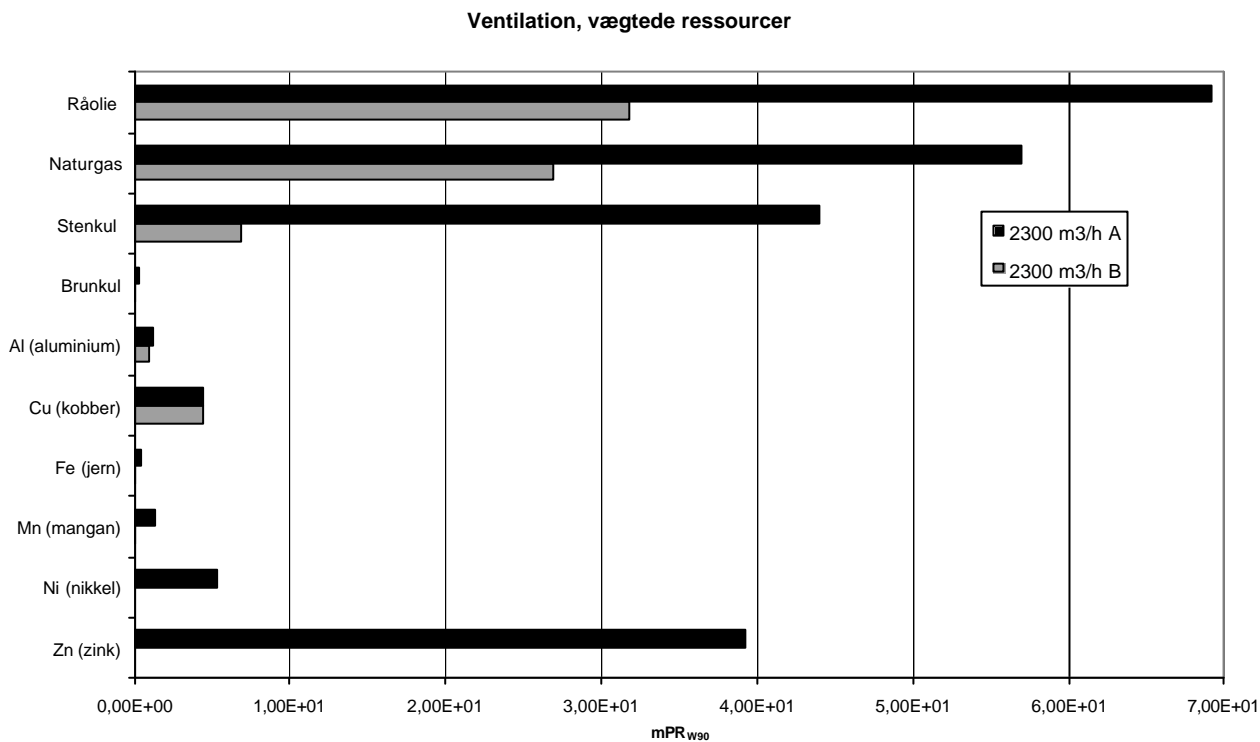
Besparselsen gennem behovsstyring af anlægget er opnået ved at begrænse luftskiftet til de steder og perioder hvor der er behov. Der er regnet med, at luftskiftet er nedbragt 50 %, dvs. en halvering. Energiforbruget til opvarmning af erstatningsluft falder derfor ligeledes med 50 %. Besparelsen i anlæggets eget energiforbrug afhænger af, hvorledes der reguleres. Hvis der er tale om ren tidsregulering, dvs. "tænd/sluk" af hele anlægget er besparelsen 50 %. Hvis der er tale om en begrænsning af volumenstrømmen, og dermed volumen hastigheden, fordelt ligeligt på alle udsugningssteder kan man antage at 3<sup>die</sup> potensloven følges, dvs. besparelsen bliver 87,5 %, idet energiforbruget nedbringes til 1/8. I praksis vil man have en kombination af de nævnte yderpunkter, dvs. nogle sugesteder vil tændes/slukkes og andre nedreguleres ned. Når luftskiftet mindskes væsentligt må anlæggets virkningsgrad yderligere antages at falde noget, som følge af at motor, ventilator og transmission noget af tiden vil arbejde i et dårligere virkningsgradsområde. Som et realistisk eksempel er der derfor regnet med en besparelse på 75%. Sammenholdt med de 40 % besparelse fra optimering af anlægget bruger anlægget 15 % af den oprindelige el-energi.



Figur 10. Miljøeffekter for standard anlæg og miljøoptimeret anlæg



Energibesparelse ved optimering af anlægget er bl.a. opnået ved brug af plast i stedet for stål. Foruden en mindre energibesparelse sparer man zink, som er en begrænset ressource, og eventuelt nickel, hvis rustfrit stål indgår. Brugen af plastkanaler medfører øget brug af mineraluld af hensyn til brandsikring og af samme grund skal plastkanalerne fæstnes til en stålafstivning, som består af 6 mm rundjern. Der er antaget det worst case tilfælde at alle kanaler brandsikres, hvad der i praksis ikke nødvendigvis er tilfældet. 80 % af plasten og stålafstivning antages at blive recirkuleret. De resterende 20 % plast og stålstivere antages deponeret, da en del mineraluldsomvundne kanaler nok bliver deponeret, grundet besværet med at adskille plast, stål og mineraluld. Al mineralulden antages deponeret. For plasten som sendes til genvinding regnes med et lødighedstab på 20 %, dvs. at den genvundne plast vil fortrænge 80 % primær plast. Lødighedstabet er et udtryk for kvalitetstab ved recykling, som følge af at der er tale om plast efter brugsfasen og at meget af den indeholder fyldstoffer (Mølgaard, 1995).



Figur 11. Ressourceforbrug for standard anlæg og miljøoptimeret anlæg

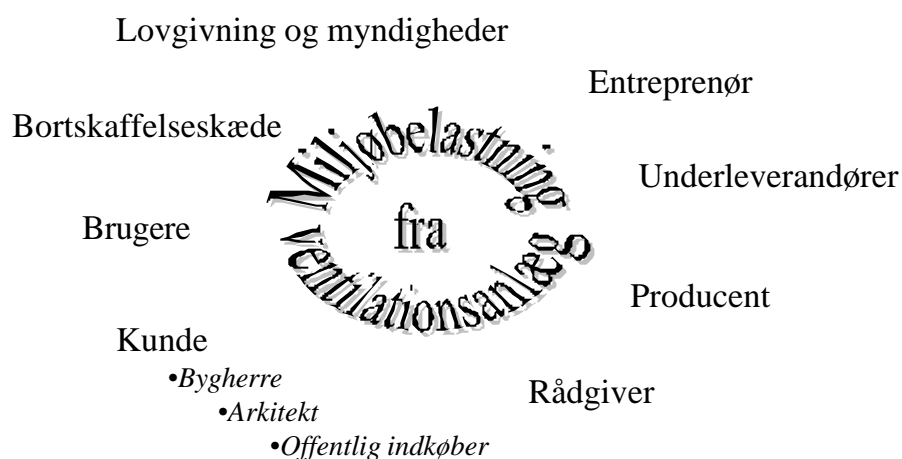


# 9 Teknisk og forretningsmæssig vurdering af miljømæssige forbedringspotentialer

De forbedringspotentialer, som er identificeret i kapitel 8 kan i praksis kun forventes udført, hvis de ikke koster for meget. Der er derfor gennemført en forretningsmæssig vurdering af de væsentligste forbedringspotentialer.

## 9.1 Aktørernes rolle

Der er en række forskellige aktører, som har indflydelse på miljøpåvirkningerne fra ventilationsanlæg. Nedenfor gives et skematisk overblik over disse. En økonomisk vurdering af de skitserede løsninger findes i afsnit 9.3.



### 9.1.1 Producenter, underleverandører og entreprenører

Denne gruppe af aktører omfatter producenter og underleverandører af ventilationsmateriel (delkomponenter) samt entreprenører, dvs. konstruktører og byggere af ventilationsanlæg. Deres muligheder for påvirkning af miljøbelastningen er primært ved udvikling af mere effektive ventilatorer samt ved valg af materialer og komponenter. Eksempelvis er der mulighed for at designe og fremstille materiel med bedre virkningsgrad, lavere energiforbrug og så de er adskillelsesvenlige i forbindelse med bortskaffelse. Indenfor ventilatorer foregår en stadig udvikling mod mere effektive ventilatorer og den generelle tendens går også mod udvikling af elektronisk regulering af ventilation efter behov. Entreprenører indenfor ventilation har indenfor kundens økonomiske rammer mulighed for at vælge energibesparende reguleringsløsninger, vælge de mere effektive motorer og ventilatorer, vælge kanaler (plastkanaler) med mindre tab og som anvender færre sparsomme ressourcer, samt konstruere ventilationsanlægget så tabsfrit som muligt. Anskaffelsesprisen for materiel til disse løsninger er gennemgående højere end for "standardløsninger" og prisen må afvejes mod økonomiske fordele eller

stillede krav fra kunde og myndigheder. Generelt vil entreprenører næppe lægge vægt på miljøforbedrende løsninger medmindre kundekrav eller forventninger om kundekrav berettiger det.

### 9.1.2 Kunder, rådgiver og bruger

Kunderne spiller en væsentlig rolle, da de har mulighed for at efterspørge energibesparende og miljørigtige løsninger. Kunderne er altovervejende professionelle og kan inddeles i offentlige og private kunder. Kundens valg er overordnet et prisspørgsmål og et spørgsmål om tilbagebetalingstid. Som diskuteret i næste afsnit om forretningsmæssige muligheder har de private kunder bedre mulighed end de offentlige for at disponere økonomiske og kan derfor bedre afveje ekstra investeringsomkostninger mod besparelser i driften. Hvis sådanne afvejninger skal foretages af offentlige kunder skal det som regel tænkes ind allerede i licitationsspecifikationen for et ventilationsanlæg. Kunderne kan f.eks. informeres via oplysningskampagner i relevante fagtidsskrifter samt elsparevejledning m.m. Kunderne bør forlange energiberegning så forbruget i driftsfasen bliver defineret i relation til investeringsomkostningerne. Kunderne kan/bør også stille krav til producenterne om f.eks. indholdet af begrænsede ressourcer i komponenter, dvs. efterspørge alternative materialer. Dette gælder især ventilationsanlæggets kanalsystem. Ligeledes bør kunderne efterspørge alternative koncepter, som er dokumenteret mere energibesparende. Naturlig ventilation med varmegenvinding kan f.eks. være en god idé, hvorimod naturlig ventilation uden varmegenvinding faktisk er mere energiforbrugende end balanceret ventilation. Rådgiverne spiller en stor rolle i forbindelse med vejledning af kunderne mht. til projektering af miljørigtige ventilationsanlæg. De har også indirekte en rolle i forbindelse med f.eks. energi-/miljørigtig dimensionering af anlæg, rådgivning af myndigheder mht. love og reguleringer, samt udarbejdelse af eksempelvis rapporter, som lovgivning henholder sig til. Brugernes accept og forståelse af reguleringssystemer indenfor ventilation er desuden meget væsentlig.

### 9.1.3 Bortskaffelseskæde

Ventilationsanlæg er en produkttype som normalt vil blive ophugget med henblik på genvinding efter endt brug. Nogle forhold bør dog have opmærksomhed: Elektronik, dvs. styring og regulering, bør sendes til genvinding hos virksomheder som er specialiseret i elektronikgenvinding. I et forslag til EU-direktiv stilles krav om genvinding af mindst 80% af elektronik generelt inden år 2006. Elektromotorer bør genvindes via virksomheder, som er specialiserede i at udvinde kobber af elmotorer, da tabet af kobber kan være stort ved traditionel genvinding via shredder, idet kobber vindingerne har tendens til at blive viklet ind i jernet. Isoleringmaterialer bør være lette at fjerne fra stål- eller plastkanaler, så materialerne kan genvindes hver for sig. Korrekt håndtering af de påpegede forhold kan f.eks. sikres ved tydelig information på de pågældende komponenter samt ved information, både specifikt for produktet og generelt.

### 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. Ventilationsanlæg er omfattet af bygningsreglementet som stiller krav til at energiforbrug og effektbehov begrænses under

hensyntagen til ventilationsanlæggets udformning og anvendelse, herunder krav til ventilationens kapacitet. Dette kan f.eks. ske ved at følge de metoder og vejledninger, der er angivet i SBI-anvisning 188: Ventilationsanlæg med lavt elforbrug. Der er tale om minimumskrav i Bygningsreglementets, som ret let kan opfyldes ved en rimelig fornuftig dimensionering og simpel styring af anlægget, og de skitserede løsninger i denne håndbog rækker ud over disse minimumskrav. Det anses for usandsynligt, at der fremover stilles specifikke miljøkrav til den enkelte underleverandør, f.eks. af kanaler (zinkoverflade) eller motorer (effektivitet og kobberindhold). Der er tilsyneladende ingen standarder for brandisolering af plastkanaler til ventilationsformål, hvilket gør brandmyndighedernes godkendelse af sådanne kanaler til et usikkerhedsmoment.

## 9.2 Forretningsmæssige muligheder

Da kunderne anses for at være den primære aktør for udbredelse af energi-/miljøvenlige ventilationsanlæg er kundernes holdninger undersøgt ved en spørgeskemaundersøgelse og eventuelt opfølgende telefoninterview. Repræsentanter for kunderne blev udvalgt og opdelt i privat og offentlig virksomhed. Der blev indhentet svar fra 5 private virksomheder og 3 offentlige, hvoraf den ene udtalte sig i generelle vendinger om forholdene på skoler og universiteter. Der var i alle tilfælde tale om store virksomheder. Der var varierende holdninger blandt de adspurgte, men for de private virksomheder tegnede der sig et ret entydigt billede ud af undersøgelsen, hvorimod billedet i de offentlige virksomheder var mere blandet.

Kunderne blev stillet følgende spørgsmål:

- Har det indflydelse på valg af ventilationsanlæg at dette udføres miljørigtigt og er svaret økonomisk og/eller imagemæssigt begrundet
- Er virksomheden villig til at betale ekstra for et miljørigtigt anlæg i forhold til en økonomisk forrentning og hvor lang tilbagebetalingstid kan accepteres.
- Er virksomheden generelt villig til at betale ekstra for et miljørigtigt anlæg og hvor meget mere (%) i forhold til normalprisen.
- Vil virksomheden eventuelt stille mere plads til rådighed for et miljørigtigt anlæg.

De private virksomheder er generelt positive for at vælge et miljørigtigt anlæg. Svaret er mest økonomisk begrundet, men for enkelte virksomheder tillige imagemæssigt. Acceptable tilbagebetalingstider varierer fra 1-2 år og op til 3 år. Tre virksomheder er villige til at betale 5 – 20 % mere for et miljørigtigt anlæg, men to virksomheder vil ikke betale mere. De fleste virksomheder kan stille noget, men ikke meget, ekstra plads til rådighed.

To offentlige virksomheder var positive med besvarelser der ligner det ovenfor beskrevne billede af de positive tilbagemeldinger fra private virksomheder. Begge disse virksomheder ligger indenfor hospitalssektoren, og har muligvis bedre mulighed for at disponere økonomisk end andre offentlige virksomheder, eller man har tænkt på mindre ventilationsanlæg, som kan betales over et samlet drift/anlægsbudget. Den tredje offentlige virksomhed er et universitet (DTU), som påpegede at det i offentligt udbud, hvortil store ventilationsanlæg hører, altid er laveste pris der gælder, og at man derfor ikke

har mulighed for at overveje en merpris for et miljørigtigt ventilationsanlæg, selvom det kan begrundes økonomisk over driften. Miljørigtige løsninger skal tænkes ind i specifikationskravene til licitationsudbudet, men tilbagebetalingstiden vil være meget kort (1-2 år), og i reglen har den slags forslag det med at glide ud til fordel for løsninger som kun overholder myndighedernes minimumskrav, da det offentlige altid mangler penge i deres budgetter, og derfor er tilbøjelige til at tænke i kortsigtede billige løsninger, frem for i langsigtede besparende. Repræsentanten for DTU mener at dette billede er generelt for offentlig virksomhed, i alt fald når der er tale om skoler og universiteter.

### 9.3 Teknisk forretningsmæssig vurdering

På baggrund af kundernes udtalelser om deres villighed til at investere er der foretaget en teknisk forretningsmæssig vurdering af løsningsmulighederne beskrevet i afsnt 8.1 og deres besparingspotentialer.

Der er taget udgangspunkt i, at kunderne er villige til at yde en merinvestering på 15 % i forhold til et "normalanlæg", hvis denne merinvestering kan tilbagebetales over højst 2 år.

Et "normalanlæg" er defineret som et traditionelt fornuftigt dimensioneret ventilationsanlæg, som overholder lovens krav med hensyn til energiforbrug for komfortanlæg. Der er selvfølgelig væsentlige variationer af normalanlæg med hensyn til udførelse af kanalsystem og behov for armaturer, men generelt vil normalanlægget være bestemt ved:

*Et normalanlæg er et balanceret ventilations anlæg (indblæsning og udsugning) med varmegenvinding, temperaturregulering og med manuel start/stop funktion.*

I forhold til oplyste generelle nøgletal (tommelfingerregler) fra Semco med hensyn til investeringspris per m<sup>3</sup>/h for et "normalanlæg" svarer merinvesteringen 15 % til:

- lille anlæg: ca. 35.000 kr
- mellemstort anlæg: ca. 80.000 kr
- stort anlæg: ca. 125.000 kr

Et realistisk besparelsespotentiale ved behovsregulering og nedbringelse af tab er i afsnit 8.2 beregnet til 50 % varme og 87,5 % el. Hvis virksomhedernes energipriser sættes til 1 kr/kWh for el. og 3 – 6 kr/l for olie (afhængig af afgift) kan den årlige energibesparelse beregnes til 34.000 – 40.500 kr for et lille anlæg og 141.000 – 164.000 for et stort, forudsat at anlæggende kører 24 timer i døgnet. I begge tilfælde kan tilbagebetalingen altså nås indenfor 1 år, hvis man opnår det fulde energibesparelsespotentiale. I f.eks. skoler og kontorer er der ikke behov for 24 timers drift, snarere om 8 timer, så her er en tilbagebetalingstid på 2-3 år mere realistisk. Forventning om fremtidige stigende energipriser kan dog begunstige investeringen.

De tidligere beskrevne tekniske løsningsmuligheder er økonomisk vurderet i nedenstående skema. Der regnes med, at der er nogenlunde linearitet i investeringerne i forhold til anlægsstørrelsen. Dvs. at f.eks. behovsregulering

af luftmængden koster ca. dobbelt så meget for et anlæg som har dobbelt så stor kapacitet som et andet.

Teknisk løsning	Økonomisk vurdering
<p>Behovstyring/-regulering Tænd/sluk</p> <p>Regulering af volumenstrøm</p>	<p>Automatisk start/stop eller omkobling af ventilspjæld kan etableres med god økonomisk effekt</p> <p>Standardløsninger af f.eks. CO2 regulering, udbygget temperaturregulering og bevægefølere samt samtidighedsdimensionering af anlæg er mulig med som regel meget god økonomisk effekt</p>
<p>Minimere tab Kanaler, enkeltmodstande og systemtab</p> <p>Motorer og ventilatorer</p>	<p>Muligt indenfor 10-15 % merinvestering, men skal holdes op mod, om bedre resultater kan opnås ved styring eller regulering</p> <p>Energispare motorer og ventilatorer koster ikke ret meget ekstra og indgår derfor ofte i moderne ventilationsanlæg. Er især vigtigt ved mindre anlæg.</p>
<p>Effektivisere varmegenvinding</p>	<p>Roterende varmeveksler koster ikke væsentlig mere end f.eks. krydsvarmeveksler, men der kan være risiko for, at partikler, kemikalier, bakterier o.lign. fra udsugning overføres til indblæsning</p>
<p>Udskifte materialer (begrænsede ressourcer)</p>	<p>Substitution af f.eks. galvaniseret stål med plast kan næppe holdes indenfor 15 % merinvestering hvis man samtidig ønsker energibesparelse og kræver derfor større investeringsvilje.</p>
<p>Andre koncepter Naturlig ventilation med varmegenvinding</p>	<p>Kræver normalt understøtning af mekaniske ventilation eller f.eks. "solvæg" i varme perioder for at sikre et acceptabelt luftskifte og vurderes derfor at føre til en dyrere løsning, som antageligt kræver investeringsvilje ud over de 15 %. Økonomien må dog vurderes i det enkelte tilfælde. Energieffektiviteten kan regnes som et veloptimeret balanceret anlæg.</p>





# 10 Referencer

Andersen, K.T. (1998). Dimensionering af naturlig ventilation ved termisk opdrift. SBI-anvisning 301. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm.

Energistyrelsen (1998). Naturlig ventilation med varmegenvinding og solassistance. Forprojekt, j.nr. 1213/98-0025. Energistyrelsen, København.

Erichsen, H. (1999). Personlig kommunikation. DTU, Lyngby.

Eurostat (1997). Energy Balance Sheets 1994-95, Eurostat, Luxembourg.

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

Frees, N. og Weidema, B.P. (1998). Life Cycle Assessment of Packaging Systems for Beer and Soft Drinks, Energy and Transport Scenarios. Miljøprojekt nr. 406. 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.

Larsen, I. (1999). Personlig kommunikation. SEMCO, Brøndby.

Miljøstyrelsen (1996). Informationssystemet om Renere Teknologi (Rentek). Miljøstyrelsen, København.

Miljøstyrelsen (1996). Brancheanalyse beton – renere teknologi ved betonfremstilling. Arbejdsrapport nr. 42/1995. Miljøstyrelsen, København.

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

Mølgaard, C. (1995). Environmental Analyses of disposal of plastics waste. Ph.D. afhandling. Danmarks Tekniske Universitet, Lyngby.

Olufsen, P. (1995). Ventilationsanlæg med lavt energiforbrug. SBI-anvisning 188. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm.

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

Wenzel, H., redaktør (1996b). Miljøvurdering i produktudvikling – 5 eksempler. UMIP publikation. Miljøstyrelsen, København.

# Bilag A. Matrix-LCA

## Forudsætninger

Matrix LCA'erne vedrører de tre anlæg beskrevet i hovedteksten:

- Lille ventilationsanlæg, 2300 m<sup>3</sup>/h, med krydsvarmeveksler
- Mellemstort ventilationsanlæg, 6670 m<sup>3</sup>/h, med krydsvarmeveksler
- Stort ventilationsanlæg, 14000 m<sup>3</sup>/h, med rotationsvarmeveksler

Resultaterne af matrix-LCA'erne er vist på de følgende sider, både per stk. ventilation og per 1000 m<sup>3</sup>/h.

Det kumulerede og primære energiforbrug er beregnet ud fra følgende forudsætninger:

- Al energi er terminal, dvs. regnet tilbage til ressourcerne.
- Samlet virkningsgrad beregnes ud fra både energiforbrug til udvinding, raffinering og transport af bændsler (precombustion) og virkningsgrad ved selve energikonverteringen.
- For el. energi er regnet med en samlet virkningsgrad på 36%, således at 1 kWh direkte el. energiforbrug svarer til 10 MJ primær energiforbrug.
- Materialernes kumulerede energiforbrug er beregnet fra oplysninger i UMIPs enhedsprocesdatabase (se tabel sidste side i bilag a). For materialer som ikke er i tabellen er antaget:
  - Støbejern: 30 MJ/kg
  - Galvanisering af stålplade: 0,5 kWh/m<sup>2</sup> = 5 MJ/m<sup>2</sup>. 0,8 mm plade sv.t. 6 kg/m<sup>2</sup>
  - Primær rustfrit stål: 83 MJ/kg ("fiktivt" materiale af hensyn til systemudvidelse)
  - Isolering: 12 MJ/kg
- Energiforbruget til produktion antages at være 1 kWh per kg produceret produkt, hvilket er et erfaringstal for simple jern- og metalkonstruktioner. Kun en lille del af anlægget (motorer etc.) kan betegnes som komplekst.
- For energiforbruget under drift er regnet med en effektfaktor på 0,9. Der er regnet med virkningsgraderne 0,75 for 2300 m<sup>3</sup>/h, 0,85 for 6670 m<sup>3</sup>/h og 0,87 for 14000 m<sup>3</sup>/h.
- Ventilationsluft opvarmes med termisk energi. Der er regnet med en samlet virkningsgrad på 72 % således at 1 kWh varmetab svarer til 5 MJ primær energiforbrug.
- Energiforbruget til oparbejdning svarer til det kumulerede energiforbrug for genbrugsmaterialer i tabellen. De benyttede genvindingsgrader er beskrevet i afsnit 3.2.
- Transportenergiforbrug er beregnet fra oplysninger i UMIPs enhedsprocesdatabase.

## **Sammenfatning og konklusion**

Ca. 99 % af energiforbruget ligger i brugsfasen. Der er en tendens til, at materialefase udgør en lidt større del for det lille anlæg i forhold til det mellemstore. Materialefase udgør ligeledes en forholdsvis større andel for det store anlæg, men dette skyldes en mere effektiv varmegenvinding, således at det i virkelighed er brugsfasen som er forholdsvis mindre.

Materialefordelingen mellem aggregat og kanaler er specificeret af Semco. Fordelingen viser, at den tonnagemæssigt største del ligger i kanalsystemet og at denne andel er forholdsvis større for store (ca. 90%) end for små anlæg (ca. 75%).

Af det samlede energiforbrug (eget energiforbrug plus luftopvarmning) udgør anlæggets eget energiforbrug ca. halvdelen for anlæggene med krydsvarmeveksler og ca. 2/3 for anlægget med rotationsvarmeveksler.

Konklusionen er, at optimering af ventilationsanlæg skal fokusere på anlæggets eget energiforbrug og varmegenvinding, samt at denne optimering kan tillades at koste flere materialer.

Det er ikke muligt ved en matrix LCA at afgøre om begrænsede ressourcer, så som kobber, zink på galvaniseret plade og nikkel i rustfrit stål, eventuelt har en synlig vægt.

MatrixLCA, lille ventilator (2300 m3/h).

Enhed: 1000 m3/h. Drift & levetid: 24 h/døgn i 20 år (175200 h). Indetemp. 21 °C

Kilde til miljøproblemer	Råvarefasen	Produktions-fasen	Brugsfasen	Bortskaffelses-fasen	Transport
Materialer kg	Galv. plade: 485 kg Stålplade: 12,7 kg Aluminium: 35,2 kg Støbejern: 13 kg Kobber: 10,6 kg Rustfrit: 229 kg Isolering: 91,3 kg Plast: 0,4 kg			Galv. plade: -461 kg Stålplade: -12,2 kg Aluminium: -26,4 kg Støbejern: -12,2 kg Kobber: -5,2 kg Rustfrit: -218 kg Isolering: 0 kg Plast: 0 kg	
Energi Brændsler (MJ) El , direkte (kWh) El, primær (MJ)  MJ er primær energi	Galv. plade: 16.420 MJ Stålplade: 420 MJ Aluminium: 6.020 MJ Støbejern: 390 MJ Kobber: 960 MJ Rustfrit: 19.000 MJ Isolering: 1.100 MJ Plast: 30 MJ  I alt: 44.340 MJ (1,0 %)	El: Ca. 1kWh x 877 kg = 877 kWh ~ 8.770 MJ	Eget forbrug, el.: 274.230 kWh ~ 2.742.300 MJ  Luftopvarmning: 770.000 kWh ~ 3.850.000 MJ  Varmegenvinding (55%): - 2.117.500 MJ  I alt: 4.474.800 MJ (99,2%)	Galv. plade:(-15.210+8300) MJ = -6.910 MJ Stålplade: (-402+219) MJ = -183 MJ Aluminium: (-4.535+265)MJ = -4.270 MJ Støbejern: (-365+182) MJ = - 183 MJ Kobber: (-470+313) MJ = -160 MJ Rustfrit: (-18.090+9.590) MJ = -8.500 MJ  I alt: -20.210MJ (-0,4%)	Råvarer: (bulk skib) ~1.750kg x 10.000 km å 0,00006 MJ = 1050 MJ  Halvfabrikata: (>16t bil) ~900kg x 1.000 km å 0,001 MJ = 900 MJ  Produkt: (>16t bil) ~900kg x 200 km å 0,001 MJ = 180 MJ  I alt: 2.130 MJ
Kemikalier kg					
Andet					

MatrixLCA, mellemstor ventilator (6670 m<sup>3</sup>/h).

Enhed: 1000 m<sup>3</sup>/h. Drift & levetid: 24 h/døgn i 20 år (175200 h). Indetemp. 21 °C

Kilde til miljøproblemer	Råvarefasen	Produktions-fasen	Brugsfasen	Bortskaffelses-fasen	Transport
<b>Materialer</b> kg	Galv. plade: 546 kg Aluminium: 1.4 kg Kobber: 1.5 kg Isolering: 201 kg Plast o.a.: 1.8 kg			Galv. plade: -519 kg Aluminium: -1 kg Kobber: -0.75 kg Isolering: 0 kg Plast: 0 kg	
<b>Energi</b> Brændsler (MJ) El, direkte (kWh) El, primær (MJ)  MJ er primær energi	Galv. plade: 18.480 MJ Aluminium: 230 MJ Kobber: 135 MJ Isolering: 2.410 MJ Plast: 95 MJ  I alt: 21.350 MJ (0,7%)	El: Ca. 1kWh x 750 kg = 750 kWh ~ 7.500 MJ	Eget forbrug, el.: 166.870 kWh ~ 1.668.700 MJ  Luftopvarmning: 770.000 kWh ~ 3.850.000 MJ  Varmegenvinding (55%): 2.117.500 MJ  I alt: 3.401.200 MJ (99,3%)	Galv. plade: (-17.130+9340) = -7.790 MJ Aluminium: (-171+9)MJ = -162 MJ Kobber: (-68+45) MJ = -23 MJ  I alt: -7.975 MJ (-0,25%)	Råvarer: (bulk skib) ~1.500kg x 10.000 km å 0,00006 MJ = 900 MJ  Halvfabrikata: (>16t bil) ~775kg x 1.000 km å 0,001 MJ = 775 MJ  Produkt: (>16t bil) ~775kg x 200 km å 0,001 MJ = 155 MJ  I alt: 1.830 MJ
<b>Kemikalier</b> kg					
<b>Andet</b>					

MatrixLCA, stor ventilator (14.000 m3/h).

Enhed: 1000 m3/h. Drift & levetid: 24 h/døgn i 20 år (175200 h). Indetemp. 21 °C

Kilde til miljøproblemer	Råvarefasen	Produktions-fasen	Brugsfasen	Bortskaffelses-fasen	Transport
Materialer kg	Galv. plade: 714 kg Stålplade: 2,9 kg Aluminium: 31 kg Støbejern: 5 kg Kobber: 7,9 kg Rustfrit: 0,7 kg Isolering: 257 kg Plast o.a.: 3,8 kg			Galv. plade: -678 kg Stålplade: -2,7 kg Aluminium: -23 kg Støbejern: -4.8 kg Kobber: -3.9 kg Rustfrit: -0.67 kg Isolering: 0 kg Plast: 0 kg	
Energi Brændsler (MJ) El , direkte (kWh) El, primær (MJ) MJ er primær energi	Galv. plade: 24.170 MJ Stålplade: 95 MJ Aluminium: 5.275 MJ Støbejern: 150 MJ Kobber: 710 MJ Rustfrit: 58 MJ Isolering: 3.080 MJ Plast o.a.: 300 MJ  I alt: 33.840 MJ (1,1%)	El: Ca. 1kWh x 1 .022 kg = 1.022 kWh ~ 10.220 MJ	Eget forbrug, el.: 194.190 kWh ~ 1.941.900 MJ  Luftopvarmning: 770.000 kWh ~ 3.850.000 MJ  Varmegenvinding (75%): 2.887.500 MJ  I alt: 2.904.400 MJ (98,9%)	Galv. plade: (-22.390+12.210) = -10.180 MJ Stålplade: (-90+50) MJ = -40 MJ Aluminium: (-3.930+215)MJ = -3.715 MJ Støbejern: (-144+86) MJ = - 58 MJ Kobber: (-350+230) MJ = -120 MJ Rustfrit: (-56+29) MJ = -27 MJ  I alt: -14.130 MJ (-0,5%)	Råvarer: (bulk skib) ~2.000kg x 10.000 km å 0,00006 MJ = 1.200 MJ  Halvfabrikata: (>16t bil) ~1.050kg x 1.000 km å 0,001 MJ = 1.050 MJ  Produkt: (>16t bil) ~1.050kg x 200 km å 0,001 MJ = 210 MJ  I alt: 2.460 MJ
Kemikalier kg					
Andet					

MatrixLCA, lille ventilator (2300 m3/h).

Enhed: 1 stk. Drift & levetid: 24 h/døgn i 20 år (175200 h). Indetemp. 21 °C

Kilde til miljøproblemer	Råvarefasen	Produktions-fasen	Brugsfasen	Bortskaffelses-fasen	Transport
Materialer kg	Galv. plade: 1116 kg Stålplade: 29,2 kg Aluminium: 81,0 kg Støbejern: 29,8 kg Kobber: 24,4 kg Rustfrit: 526 kg Isolering: 210 kg Plast: 1 kg			Galv. plade: -1060 kg Stålplade: -28 kg Aluminium: -61 kg Støbejern: -28 kg Kobber: -12 kg Rustfrit: -500 kg Isolering: 0 kg Plast: 0 kg	
Energi Brændsler (MJ) El , direkte (kWh) El, primær (MJ)  MJ er primær energi	Galv. plade: 37760 MJ Stålplade: 960 MJ Aluminium: 13.850 MJ Støbejern: 900 MJ Kobber: 2.200 MJ Rustfrit: 43.660 MJ Isolering: 2.520 MJ Plast: 80 MJ  I alt: 101.930 MJ	El: Ca. 1kWh x 2017 kg = 2017 kWh ~ 20.170 MJ	Eget forbrug, el.: 630.720 kWh ~ 6.307.200 MJ  Luftopvarmning: 1.771.000 kWh ~ 8.855.000 MJ  Varmegenvinding (55%): 4.870.300 MJ  I alt: 10.291.900 MJ	Galv. plade: (-34.980+19080) MJ = -15.900 MJ Stålplade: (-924+504) MJ = -420 MJ Aluminium: (-10.430+610)MJ = -9.820 MJ Støbejern: (-840+420) MJ = - 420 MJ Kobber: (-1.080+720) MJ = -360 MJ Rustfrit: (-41.500+22.000) MJ = -19.500 MJ  I alt: -46.420 MJ	Råvarer: (bulk skib) ~4.000kg x 10.000 km å 0,00006 MJ = 2400 MJ  Halvfabrikata: (>16t bil) ~2.050kg x 1.000 km å 0,001 MJ = 2050 MJ  Produkt: (>16t bil) ~2.050kg x 200 km å 0,001 MJ = 410 MJ  I alt: 4860 MJ
Kemikalier Kg					
Andet					



MatrixLCA, mellemstor ventilator (6670 m<sup>3</sup>/h).

Enhed: 1 stk. Drift & levetid: 24 h/døgn i 20 år (175200 h). Indetemp. 21 °C

Kilde til miljøproblemer	Råvarefasen	Produktions-fasen	Brugsfasen	Bortskaffelses-fasen	Transport
<b>Materialer</b> kg	Galv. plade: 3644 kg Aluminium: 9 kg Kobber: 10 kg Isolering: 1344 kg Plast o.a.: 12 kg			Galv. plade: -3462 kg Aluminium: -6,8 kg Kobber: -5 kg Isolering: 0 kg Plast: 0 kg	
<b>Energi</b> Brændsler (MJ) El, direkte (kWh) El, primær (MJ)  MJ er primær energi	Galv. plade: 123.290 MJ Aluminium: 1.540 MJ Kobber: 900 MJ Isolering: 16.130 MJ Plast: 640 MJ  I alt: 142.500 MJ	El: Ca. 1kWh x 5015 kg = 5015 kWh ~ 50.150 MJ	Eget forbrug, el.: 1.113.000 kWh ~ 11.130.000 MJ  Luftopvarmning: 5.135.900 kWh ~ 25.679.500 MJ  Varmegenvinding (55%): 14.123.700 MJ  I alt: 22.685.800 MJ	Galv. plade: (-114.250+62320) = -51.930 MJ Aluminium: (-1.160+65)MJ = -1.095 MJ Kobber: (-450+300) MJ = -150 MJ  I alt: -53.175 MJ	Råvarer: (bulk skib) ~10.000kg x 10.000 km å 0,00006 MJ = 6000 MJ  Halvfabrikata: (>16t bil) ~5.100kg x 1.000 km å 0,001 MJ = 5100 MJ  Produkt: (>16t bil) ~5.100kg x 200 km å 0,001 MJ = 1020 MJ  I alt: 12.120 MJ
<b>Kemikalier</b> kg					
<b>Andet</b>					

MatrixLCA, stor ventilator (14.000 m3/h).

Enhed: 1 stk. Drift & levetid: 24 h/døgn i 20 år (175200 h). Indetemp. 21 °C

Kilde til miljøproblemer	Råvarefasen	Produktions-fasen	Brugsfasen	Bortskaffelses-fasen	Transport
Materialer kg	Galv. plade: 10001 kg Stålplade: 40 kg Aluminium: 432 kg Støbejern: 70 kg Kobber: 111 kg Rustfrit: 10 kg Isolering: 3595 kg Plast o.a.: 53 kg			Galv. plade: -9500 kg Stålplade: -38 kg Aluminium: -324 kg Støbejern: -67 kg Kobber: -55 kg Rustfrit: -9,5 kg Isolering: 0 kg Plast: 0 kg	
Energi Brændsler (MJ) El , direkte (kWh) El, primær (MJ) MJ er primær energi	Galv. plade: 338.370 MJ Stålplade: 1.320 MJ Aluminium: 73.870 MJ Støbejern: 2.100 MJ Kobber: 9.990 MJ Rustfrit: 830 MJ Isolering: 43.140 MJ Plast o.a.: 4.240 MJ  I alt: 473.860 MJ	El: Ca. 1kWh x 14.312 kg = 14.312 kWh ~ 143.100 MJ	Eget forbrug, el.: 2.718.600 kWh ~ 27.186.000 MJ  Luftopvarmning: 10.780.000 kWh ~ 53.900.000 MJ  Varmegenvinding (75%): 40.425.000 MJ  I alt: 40.661.000 MJ	Galv. plade: (-313.500+171.000) = -142.500 MJ Stålplade: (-1.254+684) MJ = -570 MJ Aluminium: (-55.400+3.010)MJ = -52.390 MJ Støbejern: (-2.010+1.200) MJ = - 810 MJ Kobber: (-4.950+3.300) MJ = -1.650 MJ Rustfrit: (-790+420) MJ = -350 MJ  I alt: -198.290 MJ	Råvarer: (bulk skib) ~28.000kg x 10.000 km å 0,00006 MJ = 16.800 MJ  Halvfabrikata: (>16t bil) ~14.500kg x 1.000 km å 0,001 MJ = 14.500 MJ  Produkt: (>16t bil) ~14.500kg x 200 km å 0,001 MJ = 2.900 MJ  I alt: 34.200 MJ
Kemikalier kg					
Andet					

**Tabel 1 Energiindhold, råvarer 25. februar 1997, NF**

Materiale	Procesenergi (MJ/kg) (- = til jord)	Brændværdi (MJ/kg)	Kilde
<b>Metaller</b>			
Aluminium (100% primær)	171 -	(31)	1
Aluminium (100% primær)	168 -	(31)	10
Aluminium (100% genbrugs)	9,3 -	(31)	4
Aluminium AlSi12 (100% genbrugs Al, primær Si)	32 -	(31)	4, 9
Kobber (100% primær)	90 -		4
Kobber, støbekvalitet (82% primær)	67 -		4
Messing	70 -		4
Nikkel (100% primær)	167 -		4
Stål (89% primær)	33 -		4, 9
Stålplade (90% genbrugs)	18 -		4, 6
Rustfrit stål (stor del genbrugs)	44 -		4
Zink	62 -		4
<b>Polymer materialer</b>			
ABS	47 -	37	3
PA	127 -	29	3
PC	78 -	29	3
PE, LD	32 -	43	7
PE (100% genbrugs)	13 -	43	4, 9
PETP (PET)	53 -	31	3
UP	47 -	31	3
PP	30 -	44	7
PPE	83 -	27	8
PS, slagfast	56 -	40	7
PVC	40 -	17	7
SAN	45 -	35	3
SB	41 -	40	3
<b>Kemikalier</b>			
Isocyanater (MDI)	81 -	29	3
Polyoler	48 -	29	3
PUR	61 -	29	3
Silicone	78	?	5
<b>Andet</b>			
Bølgepap (100% genbrugs)	23 -	15	4, 9
Glas (100% primær)	10 -		1, 4
Glas (100% genbrugs)	6,8 -		4
Glasfiber	50 -		3
Gummi (syntetisk)	65	?	5
Olie, raffinerede produkter	4,5 -	42,5	7
Naturgas	5,1 -	48,5 (39 pr. Nm <sup>3</sup> )	7
Stenkul	2,9 -	29,5	1

- 1 Oekobilanz von Packstoffen, BUWAL, Bern 1991
- 2 "Aluminium ur energi -och miljösynspunkt", Gränges 1991.
- 3 Energieaufwand zur Herstellung von Werkstoffen, H. Kindler und A. Nikles, Kunststoffe 12 (1980).
- 4 IPU, LCC
- 5 Gydesen et al, Miljøprojekt 138, 1990
- 6 Det Danske stålvalseværk
- 7 APME, Eco-profiles for the European Plastic Industry
- 8 Vurdering v. C. Mølgaard, LCC - udfra sammenhæng mellem pris og energiindhold.
- 9 Anonym producent
- 10 EAA, European Aluminium Association

## Bilag B. Beregningsresultater vægtede.

Vægtningsresultater, lille ventilationsanlæg (2300 m<sup>3</sup>/h), per 1000 m<sup>3</sup>/h opgjort per år.

Drivhuseffekt	3,36E+03	mPEM_wdk2000
Human Toksicitet	2,57E+02	mPEM_wdk2000
Øko-toksicitet	1,08E+03	mPEM_wdk2000
Persistent toksicitet	1,01E+03	mPEM_wdk2000
Volumenaffald	1,87E+03	mPEM_wdk2000
Farligt affald	4,94E+02	mPEM_wdk2000
Radioaktivt affald	7,74E+01	mPEM_wdk2000
Slagge og aske	1,13E+03	mPEM_wdk2000
Forsuring	1,26E+03	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	2,75E+02	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	2,79E+02	mPEM_wdk2000
Nærings saltbelastning	3,66E+02	mPEM_wdk2000
Al (aluminium)	1,15E+00	mPR_w90
Brunkul	2,83E-01	mPR_w90
Cu (kobber)	4,45E+00	mPR_w90
Fe (jern)	3,91E-01	mPR_w90
Mn (mangan)	1,28E+00	mPR_w90
Naturgas	5,69E+01	mPR_w90
Ni (nikkel)	5,28E+00	mPR_w90
Råolie	6,92E+01	mPR_w90
Stenkul	4,40E+01	mPR_w90
Zn (zink)	3,93E+01	mPR_w90

Vægtningsresultater, lille ventilationsanlæg (2300 m<sup>3</sup>/h), per 1000 m<sup>3</sup>/h  
opgjort per år, fasevis.

Navn	Fase	Mængde	Enhed
Drivhuseffekt	MAT+ST.KOM	2,25E+01	mPEM_wdk2000
Drivhuseffekt	TRANS UD	1,13E+00	mPEM_wdk2000
Drivhuseffekt	UNDG. PROD	-1,90E+01	mPEM_wdk2000
Drivhuseffekt	ANDRE PROD	7,06E+00	mPEM_wdk2000
Drivhuseffekt	BORTSKAFF	8,46E+00	mPEM_wdk2000
Drivhuseffekt	BRUG	3,34E+03	mPEM_wdk2000
Human Toksicitet	MAT+ST.KOM	9,52E+00	mPEM_wdk2000
Human Toksicitet	TRANS UD	4,32E-01	mPEM_wdk2000
Human Toksicitet	UNDG. PROD	-8,70E+00	mPEM_wdk2000
Human Toksicitet	ANDRE PROD	6,39E-01	mPEM_wdk2000
Human Toksicitet	BORTSKAFF	4,24E+00	mPEM_wdk2000
Human Toksicitet	BRUG	2,50E+02	mPEM_wdk2000
Øko-toksicitet	MAT+ST.KOM	2,85E+01	mPEM_wdk2000
Øko-toksicitet	TRANS UD	1,03E-05	mPEM_wdk2000
Øko-toksicitet	UNDG. PROD	-2,09E+01	mPEM_wdk2000
Øko-toksicitet	ANDRE PROD	3,41E+00	mPEM_wdk2000
Øko-toksicitet	BORTSKAFF	2,35E+00	mPEM_wdk2000
Øko-toksicitet	BRUG	1,06E+03	mPEM_wdk2000
Persistent toksicitet	MAT+ST.KOM	1,66E+02	mPEM_wdk2000
Persistent toksicitet	TRANS UD	8,99E-05	mPEM_wdk2000
Persistent toksicitet	UNDG. PROD	-1,56E+02	mPEM_wdk2000
Persistent toksicitet	ANDRE PROD	2,68E+00	mPEM_wdk2000
Persistent toksicitet	BORTSKAFF	1,44E+02	mPEM_wdk2000
Persistent toksicitet	BRUG	8,51E+02	mPEM_wdk2000

Volumenaffald	MAT+ST.KOM	9,23E+00	mPEM_wdk2000
Volumenaffald	TRANS UD	1,27E-02	mPEM_wdk2000
Volumenaffald	UNDG. PROD	-7,57E+00	mPEM_wdk2000
Volumenaffald	ANDRE PROD	5,91E+00	mPEM_wdk2000
Volumenaffald	BORTSKAFF	1,14E+01	mPEM_wdk2000
Volumenaffald	BRUG	1,85E+03	mPEM_wdk2000
Farligt affald	MAT+ST.KOM	5,41E+02	mPEM_wdk2000
Farligt affald	TRANS UD	8,04E-10	mPEM_wdk2000
Farligt affald	UNDG. PROD	-5,06E+02	mPEM_wdk2000
Farligt affald	ANDRE PROD	2,07E-04	mPEM_wdk2000
Farligt affald	BORTSKAFF	4,58E+02	mPEM_wdk2000
Farligt affald	BRUG	6,46E-02	mPEM_wdk2000
Radioaktivt affald	MAT+ST.KOM	9,48E+00	mPEM_wdk2000
Radioaktivt affald	TRANS UD	9,05E-07	mPEM_wdk2000
Radioaktivt affald	UNDG. PROD	-8,02E+00	mPEM_wdk2000
Radioaktivt affald	ANDRE PROD	2,34E-01	mPEM_wdk2000
Radioaktivt affald	BORTSKAFF	2,89E+00	mPEM_wdk2000
Radioaktivt affald	BRUG	7,28E+01	mPEM_wdk2000
Slagge og aske	MAT+ST.KOM	5,25E+00	mPEM_wdk2000
Slagge og aske	TRANS UD	1,75E-02	mPEM_wdk2000
Slagge og aske	UNDG. PROD	-4,26E+00	mPEM_wdk2000
Slagge og aske	ANDRE PROD	3,58E+00	mPEM_wdk2000
Slagge og aske	BORTSKAFF	2,32E+00	mPEM_wdk2000
Slagge og aske	BRUG	1,13E+03	mPEM_wdk2000
Forsuring	MAT+ST.KOM	8,64E+00	mPEM_wdk2000
Forsuring	TRANS UD	1,84E+00	mPEM_wdk2000
Forsuring	UNDG. PROD	-6,98E+00	mPEM_wdk2000
Forsuring	ANDRE PROD	3,46E+00	mPEM_wdk2000
Forsuring	BORTSKAFF	3,34E+00	mPEM_wdk2000
Forsuring	BRUG	1,25E+03	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	MAT+ST.KOM	3,21E+00	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	TRANS UD	6,31E-01	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	UNDG. PROD	-2,77E+00	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	ANDRE PROD	2,79E-01	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	BORTSKAFF	3,14E+00	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	BRUG	2,70E+02	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	MAT+ST.KOM	2,98E+00	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	TRANS UD	6,94E-01	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	UNDG. PROD	-2,55E+00	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	ANDRE PROD	2,89E-01	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	BORTSKAFF	3,16E+00	mPEM_wdk2000
Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	BRUG	2,74E+02	mPEM_wdk2000
Næringssaltbelastning	MAT+ST.KOM	2,14E+00	mPEM_wdk2000
Næringssaltbelastning	TRANS UD	8,24E-01	mPEM_wdk2000
Næringssaltbelastning	UNDG. PROD	-1,74E+00	mPEM_wdk2000
Næringssaltbelastning	ANDRE PROD	8,74E-01	mPEM_wdk2000
Næringssaltbelastning	BORTSKAFF	1,04E+00	mPEM_wdk2000
Næringssaltbelastning	BRUG	3,63E+02	mPEM_wdk2000

Al (aluminium)	MAT+ST.KOM	2,66E+00	mPEM_wdk2000
Al (aluminium)	TRANS UD	2,61E-04	mPEM_wdk2000
Al (aluminium)	UNDG. PROD	-2,00E+00	mPEM_wdk2000
Al (aluminium)	ANDRE PROD	1,84E-04	mPEM_wdk2000
Al (aluminium)	BORTSKAFF	1,51E-03	mPEM_wdk2000
Al (aluminium)	BRUG	4,81E-01	mPEM_wdk2000
Brunkul	MAT+ST.KOM	5,32E-02	mPEM_wdk2000
Brunkul	TRANS UD	3,33E-09	mPEM_wdk2000
Brunkul	UNDG. PROD	-4,58E-02	mPEM_wdk2000
Brunkul	ANDRE PROD	8,59E-04	mPEM_wdk2000
Brunkul	BORTSKAFF	7,01E-03	mPEM_wdk2000
Brunkul	BRUG	2,68E-01	mPEM_wdk2000
Cu (kobber)	UNDG. PROD	-4,28E+00	mPEM_wdk2000
Cu (kobber)	MAT+ST.KOM	8,73E+00	mPEM_wdk2000
Fe (jern)	MAT+ST.KOM	2,22E+00	mPEM_wdk2000
Fe (jern)	TRANS UD	1,55E-05	mPEM_wdk2000
Fe (jern)	UNDG. PROD	-2,08E+00	mPEM_wdk2000
Fe (jern)	ANDRE PROD	5,61E-06	mPEM_wdk2000
Fe (jern)	BORTSKAFF	2,33E-01	mPEM_wdk2000
Fe (jern)	BRUG	1,02E-02	mPEM_wdk2000
Mn (mangan)	MAT+ST.KOM	2,31E+00	mPEM_wdk2000
Mn (mangan)	TRANS UD	7,25E-06	mPEM_wdk2000
Mn (mangan)	UNDG. PROD	-2,18E+00	mPEM_wdk2000
Mn (mangan)	ANDRE PROD	2,57E-06	mPEM_wdk2000
Mn (mangan)	BORTSKAFF	1,15E+00	mPEM_wdk2000
Mn (mangan)	BRUG	8,00E-04	mPEM_wdk2000
Natriumchlorid (NaCl)	MAT+ST.KOM	0,00E+00	mPEM_wdk2000
Natriumchlorid (NaCl)	TRANS UD	0,00E+00	mPEM_wdk2000
Natriumchlorid (NaCl)	UNDG. PROD	0,00E+00	mPEM_wdk2000
Natriumchlorid (NaCl)	ANDRE PROD	0,00E+00	mPEM_wdk2000
Natriumchlorid (NaCl)	BORTSKAFF	0,00E+00	mPEM_wdk2000
Natriumchlorid (NaCl)	BRUG	0,00E+00	mPEM_wdk2000
Naturgas	MAT+ST.KOM	4,07E-01	mPEM_wdk2000
Naturgas	TRANS UD	6,93E-03	mPEM_wdk2000
Naturgas	UNDG. PROD	-3,39E-01	mPEM_wdk2000
Naturgas	ANDRE PROD	1,89E-02	mPEM_wdk2000
Naturgas	BORTSKAFF	2,32E-01	mPEM_wdk2000
Naturgas	BRUG	5,66E+01	mPEM_wdk2000
Ni (nikkel)	UNDG. PROD	-5,77E+01	mPEM_wdk2000
Ni (nikkel)	MAT+ST.KOM	6,29E+01	mPEM_wdk2000
Ni (nikkel)	BORTSKAFF	4,61E-02	mPEM_wdk2000
Råolie	MAT+ST.KOM	3,49E-01	mPEM_wdk2000
Råolie	TRANS UD	8,71E-02	mPEM_wdk2000
Råolie	UNDG. PROD	-2,84E-01	mPEM_wdk2000
Råolie	ANDRE PROD	3,17E-02	mPEM_wdk2000
Råolie	BORTSKAFF	1,01E-01	mPEM_wdk2000
Råolie	BRUG	6,89E+01	mPEM_wdk2000
Stenkul	MAT+ST.KOM	2,72E-01	mPEM_wdk2000
Stenkul	TRANS UD	1,09E-04	mPEM_wdk2000
Stenkul	UNDG. PROD	-2,33E-01	mPEM_wdk2000
Stenkul	ANDRE PROD	1,40E-01	mPEM_wdk2000
Stenkul	BORTSKAFF	1,03E-01	mPEM_wdk2000
Stenkul	BRUG	4,37E+01	mPEM_wdk2000
Zn (zink)	UNDG. PROD	-3,93E+01	mPEM_wdk2000
Zn (zink)	MAT+ST.KOM	7,86E+01	mPEM_wdk2000



# Bilag C. Følsomhedsvurdering.

## Følsomhedsvurdering, dansk el 1992 vs. dansk el 1996.

Beregning for NF-PS103			Navn	Dansk el 96	Dansk el 92		Navn	Dansl el 96	Dansk el 92	
0			Slagge og aske	1,12E+03	1,13E+03	mPEM_wdk2000	Zn (zink)	3,93E+01	3,93E+01	mPR_w90
			Radioaktivt affald	1,03E+01	7,74E+01	mPEM_wdk2000	Ni (nikkel)	5,28E+00	5,28E+00	mPR_w90
			Farligt affald	4,94E+02	4,94E+02	mPEM_wdk2000	Mn (mangan)	1,29E+00	1,28E+00	mPR_w90
			Volumenaffald	1,39E+03	1,87E+03	mPEM_wdk2000	Fe (jern)	3,93E-01	3,91E-01	mPR_w90
Ventilation c 2300m3/h			Persistent toksicitet	9,37E+02	1,01E+03	mPEM_wdk2000	Cu (kobber)	4,45E+00	4,45E+00	mPR_w90
1000m3/h i 20år			Øko-toksicitet	8,53E+02	1,08E+03	mPEM_wdk2000	Al (aluminium)	1,17E+00	1,15E+00	mPR_w90
			Human Toksicitet	2,04E+02	2,57E+02	mPEM_wdk2000	Brunkul	3,61E-02	2,83E-01	mPR_w90
			Nærings saltbelastning	2,90E+02	3,66E+02	mPEM_wdk2000	Stenkul	3,36E+01	4,40E+01	mPR_w90
			Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	2,74E+02	2,75E+02	mPEM_wdk2000	Naturgas	5,72E+01	5,69E+01	mPR_w90
			Forsuring	7,66E+02	1,26E+03	mPEM_wdk2000	Råolie	7,82E+01	6,92E+01	mPR_w90
			Drivhuseffekt	2,69E+03	3,36E+03	mPEM_wdk2000				

Per år ved levetiden 20 år.	Navn	Mængde	Enhed
	Drivhuseffekt	2,69E+03	mPEM_wdk2000
	Human Toksicitet	2,04E+02	mPEM_wdk2000
	Øko-toksicitet	8,53E+02	mPEM_wdk2000
	Persistent toksicitet	9,37E+02	mPEM_wdk2000
	Volumenaffald	1,39E+03	mPEM_wdk2000
	Farligt affald	4,94E+02	mPEM_wdk2000
	Radioaktivt affald	1,03E+01	mPEM_wdk2000
	Slagge og aske	1,12E+03	mPEM_wdk2000
	Forsuring	7,66E+02	mPEM_wdk2000
	AM, kræft	1,46E-06	mPEM_wdk2000
	Am, allergi	3,55E-09	mPEM_wdk2000
	Am, nerveskade	1,03E-09	mPEM_wdk2000
	Am, støj	9,41E-09	mPEM_wdk2000
	Am, EGA	3,00E-10	mPEM_wdk2000
	Am, ulykker	2,52E-01	mPEM_wdk2000
	Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	2,74E+02	mPEM_wdk2000
	Primær energi, materiale	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Primær energi, proces	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	2,77E-02	mPEM_wdk2000
	Al (aluminium)	1,17E+00	mPEM_wdk2000
	Brunkul	3,61E-02	mPEM_wdk2000
	Calciumcarbonat (CaCO3)	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Cr (Chrom)	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Cu (kobber)	4,45E+00	mPEM_wdk2000
	Fe (jern)	3,93E-01	mPEM_wdk2000
	Grundvand	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Kvarts	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Ler	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Nærings saltbelastning	2,90E+02	mPEM_wdk2000
	Mn (mangan)	1,29E+00	mPEM_wdk2000
	Natriumchlorid (NaCl)	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Naturgas	5,72E+01	mPEM_wdk2000
	Ni (nikkel)	5,28E+00	mPEM_wdk2000
	Opdæmnet vand	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Overfladevand	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Råolie	7,82E+01	mPEM_wdk2000
	Stenkul	3,36E+01	mPEM_wdk2000
	U (Uran)	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Uspec. brændsel	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Uspec. vand	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Zn (zink)	3,93E+01	mPEM_wdk2000
	Uspec. biomasse	0,00E+00	mPEM_wdk2000

**Vægtede miljøeffekter, 2300 m<sup>3</sup>/h**

Effekt	Dansk el 92	Dansk el 96
Drivhuseffekt	3360	2690
Forsuring	1260	766
Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	275	274
Nærings saltbelastning	366	290
Human Toksicitet	257	204
Øko-toksicitet	1080	853
Persistent toksicitet	1010	937
Volumenaffald	1870	1390
Farligt affald	494	494
Radioaktivt affald	77	10
Slagge og aske	1130	1120

Per år ved levetiden 20 år.	Navn	Mængde	Enhed
	Drivhuseffekt	2,69E+03	mPEM_wdk2000
	Human Toksicitet	2,04E+02	mPEM_wdk2000
	Øko-toksicitet	8,53E+02	mPEM_wdk2000
	Persistent toksicitet	9,37E+02	mPEM_wdk2000
	Volumenaffald	1,39E+03	mPEM_wdk2000
	Farligt affald	4,94E+02	mPEM_wdk2000
	Radioaktivt affald	1,03E+01	mPEM_wdk2000
	Slagge og aske	1,12E+03	mPEM_wdk2000
	Forsuring	7,66E+02	mPEM_wdk2000
	AM, kræft	1,46E-06	mPEM_wdk2000
	Am, allergi	3,55E-09	mPEM_wdk2000
	Am, nerveskade	1,03E-09	mPEM_wdk2000
	Am, støj	9,41E-09	mPEM_wdk2000
	Am, EGA	3,00E-10	mPEM_wdk2000
	Am, ulykker	2,52E-01	mPEM_wdk2000
	Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	2,74E+02	mPEM_wdk2000
	Primær energi, materiale	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Primær energi, proces	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	2,77E-02	mPEM_wdk2000
	Al (aluminium)	1,17E+00	mPEM_wdk2000
	Brunkul	3,61E-02	mPEM_wdk2000
	Calciumcarbonat (CaCO3)	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Cr (Chrom)	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Cu (kobber)	4,45E+00	mPEM_wdk2000
	Fe (jern)	3,93E-01	mPEM_wdk2000
	Grundvand	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Kvarts	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Ler	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Nærings saltbelastning	2,90E+02	mPEM_wdk2000
	Mn (mangan)	1,29E+00	mPEM_wdk2000
	Natriumchlorid (NaCl)	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Naturgas	5,72E+01	mPEM_wdk2000
	Ni (nikkel)	5,28E+00	mPEM_wdk2000
	Opdæmnet vand	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Overfladevand	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Råolie	7,82E+01	mPEM_wdk2000
	Stenkul	3,36E+01	mPEM_wdk2000
	U (Uran)	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Uspec. brændsel	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Uspec. vand	0,00E+00	mPEM_wdk2000
	Zn (zink)	3,93E+01	mPEM_wdk2000
	Uspec. biomasse	0,00E+00	mPEM_wdk2000

**Vægtede ressourcer, 2300 m<sup>3</sup>/h**

Ressource	Dansk el 92	Dansk el 96
Råolie	78	78
Naturgas	57	57
Stenkul	34	34
Brunkul	0	0
Al (aluminium)	1	1
Cu (kobber)	4	4
Fe (jern)	0	0
Mn (mangan)	1	1
Ni (nikkel)	5	5
Zn (zink)	39	39

# Følsomhedsvurdering, dansk el 1992 vs. naturgas marginal el.

Beregning for NF-PS104			Navn	Nat. gas. el	Dansk el 92	mPEM_wdk2000	Navn	Nat. gas. el	Dansk el 92	mPR_w90
0			Slagge og aske	1,62E+01	1,13E+03	mPEM_wdk2000	Zn (zink)	3,93E-01	3,93E+01	mPR_w90
			Radioaktivt affald	4,35E+00	7,74E+01	mPEM_wdk2000	Ni (nikkel)	5,28E+00	5,28E+00	mPR_w90
			Farligt affald	5,39E+02	4,94E+02	mPEM_wdk2000	Mn (mangan)	1,28E+00	1,28E+00	mPR_w90
			Volumenaffald	2,84E+01	1,87E+03	mPEM_wdk2000	Fe (jern)	3,90E-01	3,91E-01	mPR_w90
Ventilation d 2300m3/h			Persistent toksicitet	1,78E+02	1,01E+03	mPEM_wdk2000	Cu (kobber)	4,45E+00	4,45E+00	mPR_w90
1000m3/h i 20år			Øko-toksicitet	1,08E+01	1,08E+03	mPEM_wdk2000	Al (aluminium)	1,09E+00	1,15E+00	mPR_w90
			Human Toksicitet	8,81E+01	2,57E+02	mPEM_wdk2000	Brunkul	1,43E-02	2,83E-01	mPR_w90
Vægtning			Næringssaltbelastning	1,57E+02	3,66E+02	mPEM_wdk2000	Stenkul	2,42E-01	4,40E+01	mPR_w90
			Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	1,96E+02	2,75E+02	mPEM_wdk2000	Naturgas	1,79E+02	5,69E+01	mPR_w90
			Forsuring	2,63E+02	1,26E+03	mPEM_wdk2000	Råolie	5,97E+01	6,92E+01	mPR_w90
			Drivhuseffekt	2,18E+03	3,36E+03	mPEM_wdk2000				
Per år ved levetiden 20 år.										
Navn	Mængde	Enhed								
Drivhuseffekt	2,18E+03	mPEM_wdk2000								
Human Toksicitet	8,81E+01	mPEM_wdk2000								
Øko-toksicitet	1,08E+01	mPEM_wdk2000								
Persistent toksicitet	1,78E+02	mPEM_wdk2000								
Volumenaffald	2,84E+01	mPEM_wdk2000								
Farligt affald	5,39E+02	mPEM_wdk2000								
Radioaktivt affald	4,35E+00	mPEM_wdk2000								
Slagge og aske	1,62E+01	mPEM_wdk2000								
Forsuring	2,63E+02	mPEM_wdk2000								
AM, kræft	1,43E-07	mPEM_wdk2000								
Am, allergi	3,55E-09	mPEM_wdk2000								
Am, nerveskade	1,03E-09	mPEM_wdk2000								
Am, støj	9,40E-09	mPEM_wdk2000								
Am, EGA	3,00E-10	mPEM_wdk2000								
Am, ulykker	2,52E-01	mPEM_wdk2000								
Fotokemisk ozon-1 (lavNOx)	1,96E+02	mPEM_wdk2000								
Primær energi, materiale	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Primær energi, proces	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Fotokemisk ozon-2 (højNOx)	1,96E+02	mPEM_wdk2000								
Al (aluminium)	1,09E+00	mPEM_wdk2000								
Brunkul	1,43E-02	mPEM_wdk2000								
Calciumcarbonat (CaCO3)	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Cr (Chrom)	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Cu (kobber)	4,45E+00	mPEM_wdk2000								
Fe (jern)	3,90E-01	mPEM_wdk2000								
Grundvand	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Kvarts	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Ler	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Næringssaltbelastning	1,57E+02	mPEM_wdk2000								
Mn (mangan)	1,28E+00	mPEM_wdk2000								
Natriumchlorid (NaCl)	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Naturgas	1,79E+02	mPEM_wdk2000								
Ni (nikkel)	5,28E+00	mPEM_wdk2000								
Opdæmmed vand	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Overfladevand	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Råolie	5,97E+01	mPEM_wdk2000								
Stenkul	2,42E-01	mPEM_wdk2000								
U (Uran)	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Uspec. brændsel	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Uspec. vand	0,00E+00	mPEM_wdk2000								
Zn (zink)	3,93E+01	mPEM_wdk2000								
Uspec. biomasse	0,00E+00	mPEM_wdk2000								

