



Miljø- og Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Livscyklusvurdering af behandling af gamle CFC-holdige fjernvarmerør

Miljøprojekt nr. 1827, 2016

Titel:

Livscyklusvurdering af behandling af gamle CFC-holdige fjernvarmerør

Redaktion:

Mathias Sehested Høeg Kemner
Maria Rosenberger Rasch

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2016

ISBN nr.

978-87-93435-30-8

Ansvarsfraskrivelse:

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.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord.....	5
Konklusion og sammenfatning	6
Indledning.....	6
Metode.....	7
Forudsætninger	7
Resultater	8
Følsomhedsanalyser	10
Konklusioner.....	11
1. Afgrænsning og udformning af livscyklusvurderingen	12
1.1 Formål og tilsigtet anvendelse.....	12
1.2 Overordnede principper	12
1.3 Den funktionelle enhed	13
1.4 Tidshorisont	14
1.5 Systemgrænser	14
1.6 Datagrundlag	14
1.7 Systemudvidelse/allokering	14
1.8 Kriterier for udeladelse af inputs og outputs	15
1.9 LCIA-metode og miljøpåvirkningskategorier	15
1.10 LCA-modellen EASETECH.....	16
1.11 Rapportformat og kritisk gennemgang af resultater	16
2. Forudsætninger for livscyklusvurderingen	17
2.1 Scenarier.....	17
2.1.1 Scenarie 0	17
2.1.2 Scenarie 1.....	17
2.1.3 Scenarie 2	18
2.1.4 Scenarie 3A.....	18
2.1.5 Scenarie 3B.....	18
2.2 LCI input til scenarier	18
2.2.1 Levetid af præisolerede fjernvarmerør.....	19
2.2.2 Produktion af præisolerede fjernvarmerør (efter Larsen, 2005).....	19
2.2.3 Nedgravning og opgravning af præisolerede fjernvarmerør	20
2.2.4 Bortskaffelse af CFC-holdige præisolerede fjernvarmerør	21
2.2.5 Miljøpåvirkninger i jorden ved fjernvarmerør	23
2.2.6 Transport	25
2.3 Systemmodeller	25
2.3.1 Systemmodel 1.....	25
2.3.2 Systemmodel 2	26
2.3.3 Systemmodel 3	26
2.3.4 Systemmodel 4	27
2.3.5 Systemmodel 5	27
2.3.6 Systemmodel 6	28
2.3.7 Anvendte LCI data	29
2.3.8 Energisubstitution og marginal elproduktion	32

3.	Resultater af livscyklusvurderingen.....	33
3.1	Vurdering af de samlede potentielle miljøpåvirkninger	34
3.1.1	Ikke-toksiske miljøpåvirkninger	34
3.1.2	Toksiske miljøpåvirkninger og forbrug af abiotiske ressourcer.....	36
3.1.3	Konklusioner omkring potentielle miljøpåvirkninger.....	38
3.2	Vurdering af miljøpåvirkninger fordelt på processer	39
3.2.1	Scenarie 0	40
3.2.2	Scenarie 1.....	41
3.2.3	Scenarie 2	43
3.2.4	Scenarie 3A (Opgravning med opsamling af CFC)	46
3.2.5	Scenarie 3B (Opgravning uden opsamling af CFC)	47
3.2.6	Konklusioner omkring potentielle miljøpåvirkninger fordelt på processer	49
4.	Følsomhedsanalyser.....	51
4.1	Resultater	52
4.1.1	Variation af diffusionsrate af CFC fra nedgravede rør	53
4.1.2	Variation af CFC-udslip i forbindelse med neddeling af rør til forbrænding.....	58
4.1.3	100 % diffunderet CFC-11 til atmosfæren	60
4.1.4	Anvendelse af 100 % kul som marginal el-produktion.....	62
4.1.5	Anvendelse af 100 % vindkraft som marginal el-produktion efter 2020	65
4.2	Konklusioner på baggrund af følsomhedsanalyserne	67
	Referencer	71
Bilag 1:	Resume og konklusioner fra eksternt review.....	72
Bilag 2:	Akkumulerede miljøpåvirkninger for scenarierne 0, 1, 2, 3A og 3B.....	75
Bilag 3:	Akkumulerede miljøpåvirkninger i kategorien nedbrydelse af stratosfærisk ozon	80

Forord

Denne rapport indeholder livscyklusvurdering (LCA) af scenarier for håndteringen af gamle CFC-holdige fjernvarmerør.

Livscyklusvurderingen blev udført af Teknologisk Institut for Miljøstyrelsen i perioden januar-december 2014. Livscyklusvurderingen blev udført vha. EASETECH, som er et LCA-værktøj beregnet til miljøvurdering af affaldssystemer.

Livscyklusvurderingen blev udført i overensstemmelse med principperne for LCA, som beskrevet i DS/EN ISO standarderne 14040 og 14044. Afrapporteringen følger ISO-standardens krav til en LCA der er beregnet til offentliggørelse, med inddragelse af eksterne LCA-eksperter, som udførte en kritisk gennemgang af rapporten, samt en følgegruppe bestående af danske interessenter inden for området.

Fra Miljøstyrelsen deltog Thilde Fruergaard Astrup og Katrine Smith.

Følgegruppen bestod af:

Astrid Birnbaum, Dansk Fjernvarme

Svend Erik Jepsen, DI

René Møller Rosendal, Dansk Affaldsforening

Kristian Haldrup Overgaard, LOGSTOR A/S

Teknologisk Institut 2014

Konklusion og sammenfatning

Indledning

Denne rapport, udarbejdet af Teknologisk Institut, omfatter en livscyklusbaseret miljøvurdering (LCA) af alternative scenarier for behandling af gamle CFC-holdige fjernvarmerør lagt i perioden indtil 1995, hvor brugen af de ozonnedbrydende CFC-gasser blev forbudt. Miljøvurderingen sammenligner de potentielle miljøpåvirkninger og forbrug af abiotiske ressourcer med et referencescenarie (scenarie 0), som beskriver eksisterende praksis for håndtering af udtjente fjernvarmerør, hvor opgravede rør neddeles, shreddes og resterne deponeres. De alternative scenarier inkluderer både deponering i jorden, opgravning og neddeling af fjernvarmerør og efterfølgende forbrænding i kommunalt affaldsforbrændingsanlæg, med eller uden opsamling og destruktion af CFC, samt energiudnyttelse af de brændbare fraktioner og genanvendelse af stål. I behandlingsscenarierne er produktion og nedlægning af nye fjernvarmerør desuden inkluderet. Scenarierne er opdelt i to sammenhængende tidsperioder, hvor perioden 2014-2030 omfatter en udskiftningsfrekvens af fjernvarmerør svarende til den nutidige. I perioden 2030-2050 forudsættes en højere udskiftningsfrekvens, idet de CFC-holdige fjernvarmerør på dette tidspunkt er nået over deres forudsatte levetid.

TABEL 1 OVERSIGT OVER SCENARIER

Scenarie	Beskrivelse
0	Scenariet beskriver den praksis for udskiftning og håndtering af gamle fjernvarmerør som eksisterer i dag. Fra år 2014 til 2030 udskiftes årligt 8,2 m pr. km rør, hvoraf 50 % af de udskiftede rør graves op og transporteres til neddeling, shredding og efterfølgende deponi af skumrester og genanvendelse af stål og plast. De resterende 50 % bliver liggende i jorden uden at være i brug. Fra år 2030 og frem til år 2050 udskiftes den resterende del af de gamle rør, hvoraf 50 % graves op og de resterende 50 % bliver liggende i jorden uden at være i brug. Hvor de gamle rør opgraves, nedlægges nye rør på samme placering, og hvor de gamle rør efterlades i jorden, nedlægges nye rør ved siden af, eller tæt på de gamle.
1	Alle udtjente rørstrækninger bliver liggende i jorden uden at være i brug. Fra år 2014 til 2030 udskiftes årligt 8,2 m pr. km rør, og der nedlægges nye rør ved siden af, eller tæt på de gamle rør. Fra år 2030 og frem til år 2050 udskiftes den resterende del af de gamle rør og der nedlægges nye rør ved siden af, eller tæt på de gamle rør.
2	Scenariet beskriver en situation magen til scenarie 0, men hvor rørene efter neddeling i stykker á 30 cm sendes til forbrænding. Slaggen sendes til en sorteringsvirksomhed, som udsorterer og oparbejder stålet til genanvendelse.
3A	Alle udtjente rørstrækninger graves op og bortskaffes ved neddeling og forbrænding med opsamling og destruktion af CFC-11. Stålet oparbejdes til genanvendelse. Fra år 2014 til år 2030 udskiftes årligt 8,2 m pr. km rør, hvor alle rør graves op og bortskaffes med særligt hensyn til opsamling af CFC-11. Halvdelen af de nye rør nedlægges på samme placering, resten i en ny tracé tæt

på. Fra år 2030 til år 2050 udskiftes den resterende del af de gamle rør, hvor alle rør graves op og bortskaffes med særligt hensyn til opsamling af CFC-11. Halvdelen af de nye rør nedlægges på samme placering, resten i en ny tracé tæt på.

3B

Alle udtjente rørstrækninger graves op og bortskaffes ved neddeling og forbrænding, uden særlig opsamling af CFC-11. Fra år 2014 til år 2030 udskiftes årligt 8,2 m pr. km rør som bortskaffes uden opsamling og destruktion af CFC-11. Halvdelen af de nye rør nedlægges på samme placering, resten i en ny tracé tæt på. Fra år 2030 til år 2050 udskiftes den resterende del af de gamle rør, hvor alle rør graves op og bortskaffes ved neddeling og forbrænding, uden opsamling af CFC-11. Stålet oparbejdes til genanvendelse. Halvdelen af de nye rør nedlægges på samme placering, resten i en ny tracé tæt på

Metode

Livscyklusvurderingen (LCA'en) er baseret på en konsekvenstilgang, hvor miljøkonsekvenserne bliver opgjort relateret til, hvordan fjernvarmerørene håndteres. I overensstemmelse med konsekvenstilgangen gøres der brug af systemudvidelser for godskrivning af undgået produktion i forbindelse med bl.a. genanvendelse af stål og energiproduktion i forbrændingsprocesserne. LCA'en blev udført i henhold til principper om *best practice* for LCA, valg af LCIA-metoder og miljøpåvirkningskategorier samt vurdering af datakvalitet. Livscyklusvurderingen er desuden gennemført i overensstemmelse med de internationale standarder ISO 14040 og ISO 14044 samt vejledningerne beskrevet i ILCD-håndbogen¹. Ved valg af LCIA-metoder og miljøpåvirkningskategorier er anbefalingerne i ILCD-håndbogens "Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context" (European Commission, 2011) fulgt. Livscyklusmodelleringen blev gennemført med modellen EASETECH, der er udviklet ved DTU Miljø.

Fokus for dataindsamlingen i projektet er sket gennem kortlægning, gennemført af Teknologisk Institut samt litteraturstudie af tidligere publikationer inden for området. For processer som ikke er dækket af kortlægningen eller litteraturen, anvendes data fra Ecoinvent, en anerkendt LCA-database.

Forudsætninger

Miljøvurderingens resultater bygger på en række forudsætninger med hensyn til, hvilke data der er benyttet. Hovedparten af forudsætninger vedrørende bortskaffelse af CFC-holdige fjernvarmerør er baseret på danske rapporter omhandlende CFC-holdige produkter.

Vigtige forudsætninger, som er behæftet med stor usikkerhed, er diffusionen af CFC fra fjernvarmerør i jorden samt diffusionen af CFC under neddeling af kasserede fjernvarmerør. Data for diffusionen af CFC fra fjernvarmerør i jorden er udelukkende baseret på studier foretaget af Peter Kjeldsen, DTU (Kjeldsen, 2011 og Kjeldsen, 2004). Diffusionen af CFC under neddelingen af fjernvarmerør er baseret på et skøn fra LCA-udøvrernes side, samt en bemærkning i rapporten *Kortlægning af CFC og HCFC affald i Danmark* (Poulsen, et al., 2006), vedr. afgang af CFC ved neddeling.

Da CFC-11 er den kraftigste af de ozonnedbrydende gasser, overskygger effekten af afgang eller diffusion af denne i miljøkategorien "nedbrydelse af stratofærisk ozon" de andre miljøpåvirkningskategorier. Dette skyldes bl.a. at CFC-gasser ikke har været anvendt i Europa siden Montreal protokollens vedtagelse i 1995, og at enhver udledning af disse, derfor vil give et stort

¹ http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/11111111/15651/1/ilcd_handbook-general_guide_for_lca-detailed_guidance_12march2010_isbn_fin.pdf

ekstra bidrag til miljøpåvirkningskategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. CFC-11 er desuden en potent drivhusgas (karakteriseringsfaktor $4,8 \cdot 10^3$), hvorfor udledning af denne også vil have en stor effekt på kategorien *klimaforandring*.

Derudover viste forudsætninger om energiproduktionen (produktion af el og/eller varme), samt antagelser om sammensætningen af den marginale el- og varmeproduktion, sig at have lille betydning for resultaterne.

Resultater

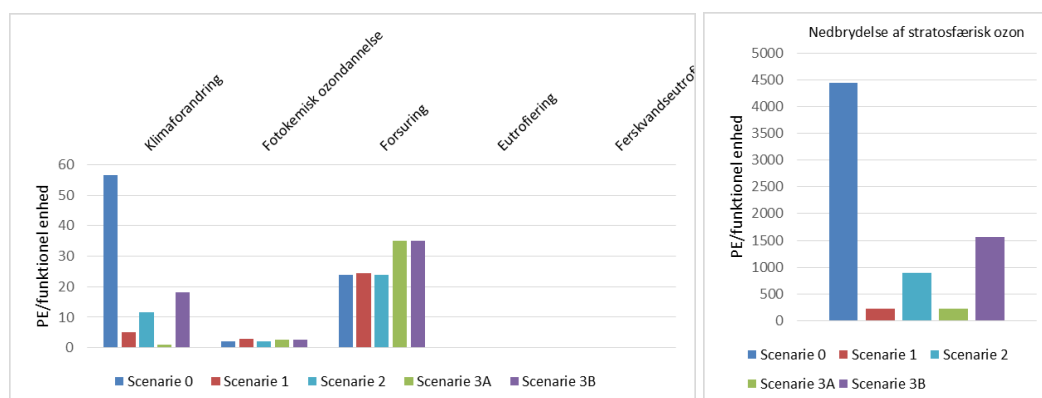
På baggrund af LCA'en blev behandlingsscenarierne for gamle CFC-holdige fjernvarmerør modelleret vha. EASETECH, hvor der blev opstillet fem scenarier, som beskrev de forskellige behandlingsscenarier. Scenarie 0 var referencescenarie hvor behandlingen af udtjente rørstrækninger fortsætter som hidtil. Scenarierne 1, 2, 3A og 3B beskrev de alternative behandlinger af gamle CFC-holdige fjernvarmerør. I scenarie 1 deponeres alle udtjente rørstrækninger i jorden, og der opsamles ikke CFC; i scenarie 2 opgraves 50 % som neddeles og forbrændes; i scenarie 3A opgraves og bortskaffes alle udtjente rørstrækninger, med særligt hensyn til opsamling af CFC; i scenarie 3B opgraves og bortskaffes alle rør, uden hensyn til opsamling af CFC.

De potentielle miljøpåvirkninger præsenteres i Figur 1 nedenfor og er omregnet for hver af påvirkningskategorierne til en fælles enhed i form af personækvivalenter (PE) per funktionel enhed, idet de faktiske potentielle miljøpåvirkninger divideres med den gennemsnitlige årlige belastning relateret til én person i den pågældende kategori. Hermed normaliseres resultaterne.

I nærværende projekt defineres den funktionelle enhed som:

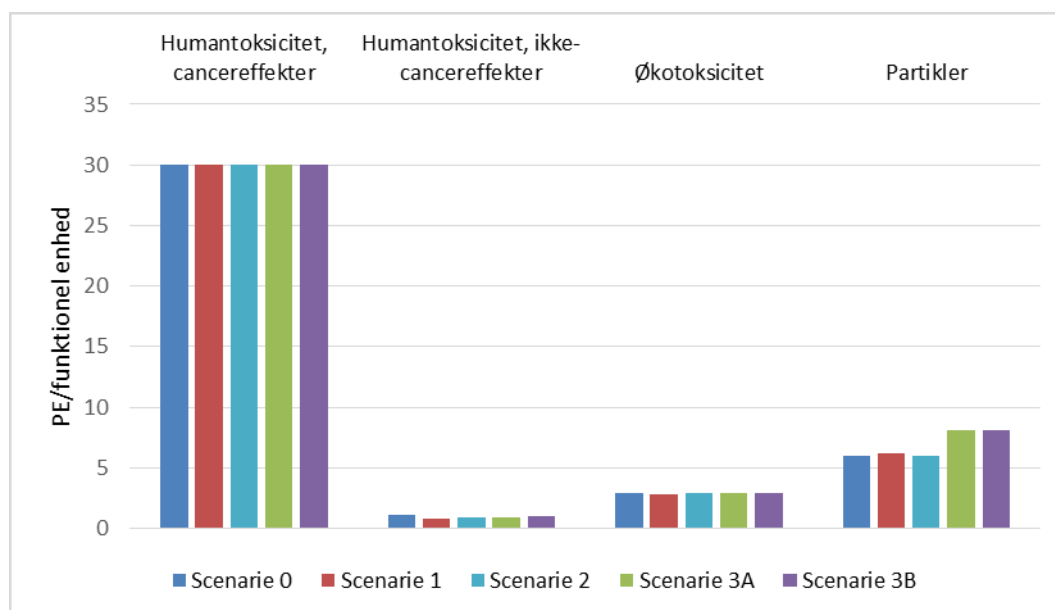
Håndtering af 1 km Ø200 fjernvarmerør indeholdende 0,01918 m³ isolering pr. meter rør med 9,1 kg freon pr. m³ isoleringsskum og med varmeledningsevne 0,026 W/mK over perioden 2014 til 2050.

Det er vigtigt at bemærke, at den funktionelle enhed i dette projekt har været til brug i de LCA-modeller (systemmodeller), der er opbygget i EASETECH. Resultaterne herfra er så efterfølgende blevet sammensat og vægtet på forskellig vis, afhængig af hvilket af behandlingsscenarierne der regnes på. Resultaterne, som angives på graferne og beskrives i konklusionerne, gælder derfor den samlede mængde rør.



FIGUR 1 TOTALE POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MÅLT I PERSONÆKVIVALENTER (PE) PER FUNKTIONEL ENHED FOR ALLE BEHANDLINGSSCENARIER.

På Figur 1 ses de ikke-toksiske potentielle miljøpåvirkninger for de fem scenarier. For alle scenarier gælder, at værdien for nedbrydelsen af stratosfærisk ozon er størst. Den udgør ca. 220 til ca. 4400 PE per funktionel enhed, og er størst i scenarie 0.

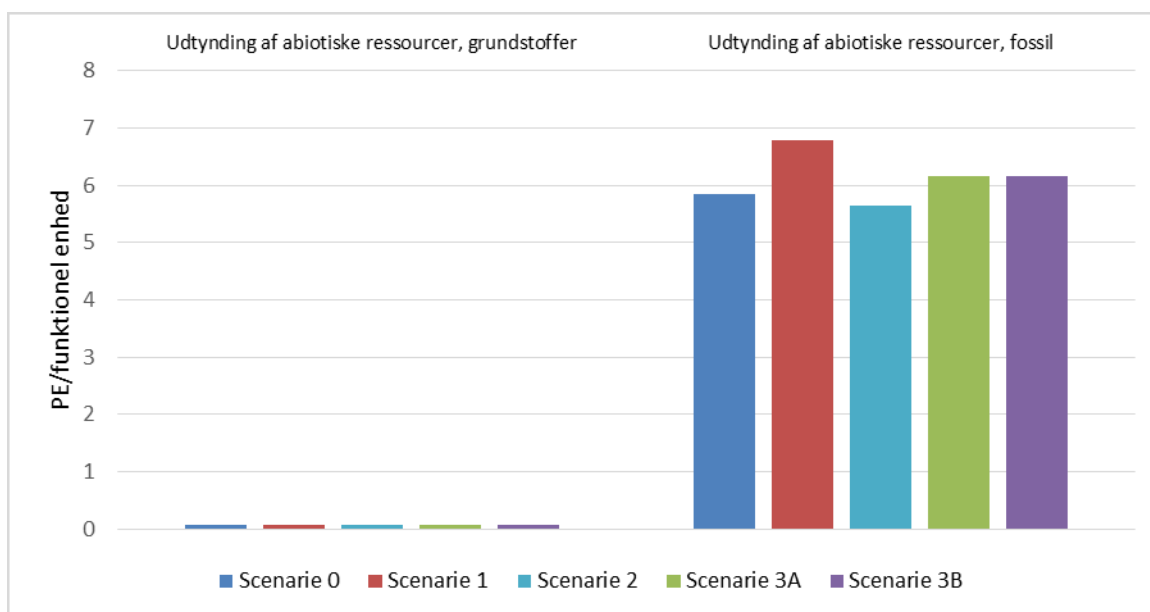


FIGUR 2 TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER [PE/FUNKTIONEL ENHED]

De toksiske miljøpåvirkninger vises på Figur 2 ovenfor. Som det ses, er der kun ganske små variationer mellem de forskellige scenarier, hvilket indikerer, at disse påvirkninger stammer fra en enkelt proces som indgår i alle scenarierne. Der gøres særligt opmærksom på, at resultaterne for de ikke-toksiske påvirkningskategorier bør tillægges mere vægt end de toksiske påvirkningskategorier. Dette skyldes, at der er generel konsensus om beregningsmetoderne for *klimaforandring*, *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*, *forsuring* etc., samt det forhold, at datagrundlaget for at vurdere toksicitet er væsentligt mere usikkert. Ved sammenligning af scenarier mht. toksiske påvirkninger, skal der derfor en meget stor relativ forskel til, førend man kan rangere scenarierne efter disse. Det vurderes, at de toksiske miljøpåvirkninger ikke kan bruges til at rangordne scenarierne i nærværende rapport.

Ligeledes skal der gøres opmærksom på, at resultaterne i de toksiske påvirkningskategorier, ligesom de ikke-toksiske kategorier og udtynding af abiotiske ressourcer, er opgjort som de samlede udledninger over 36 år.

I kategorien udtynding af abiotiske ressourcer i form af grundstoffer og fossile brændsler ses på Figur 3, at scenarie 1 har en større påvirkning end de andre scenarier, samt at de to scenarier hvor alle rør graves op har et større bidrag i fossile brændsler end i referencescenariet. Dette skyldes primært det større gravearbejde.



FIGUR 3 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER [PE/FUNKTIONEL ENHED]

Følsomhedsanalyser

For at undersøge miljøvurderingens robusthed blev der udført et antal følsomhedsanalyser, for at undersøge om scenariernes rangering ændrede sig som følge af variation i forudsætningerne. Såfremt rangeringen ikke ændrer sig, anses miljøvurderingen for at være robust over for ændringer i parametrene. Følsomhedsanalyserne blev udvalgt på baggrund af en analyse af resultaterne sammenholdt med beskrivelserne af livscyklusopgørelserne, hvorved de vigtigste parametre blev identificeret.

Der blev udført i alt seks følsomhedsanalyser. I kategorien *Klimaforandring* ændrede rangeringen sig ikke, som følge af de ændrede forudsætninger. I kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* byttede de to scenarier 3A og 1 plads, da diffusionsraten ændredes fra 0,25 til 0,1. Og i kategorien *Udtynding af abiotiske fossile ressourcer*, blev scenarie 0 værre end 3A og 3B når den marginale elproduktion kom fra kulkraft, og scenarierne 0 og 2 byttede ligeledes plads da den marginale elproduktion kom fra vindkraft.

Ændringen af diffusionsraten fra 0,25 til 1,0 %, reduktion af CFC-udslip ved neddeling samt marginal el med kul som brændsel indtil 2050, havde størst betydning i kategorien *klimaforandring*, men ændrede ikke ved rangering af scenarierne

Det vurderes på baggrund af analyserne, at livscyklusvurderingen er tilstrækkelig robust over for variation i forudsætningerne.

Konklusioner

Det er vigtigt først at understrege, at miljøvurderingens resultater er baseret på en række forudsætninger, hvor især antagelsen om diffusion af CFC-11 i rørets levetid samt udslippet af CFC-11 ved neddeling af rørene ved bortskaffelse, er behæftet med nogen usikkerhed. Ved diffusion af CFC-11 i rørets levetid, er det især mængden af CFC-11 som afdamper til atmosfæren, frem for at transporteres ud i jordlag og derfra videre til grundvandet, som er af stor betydning.

Det overordnede resultat af miljøvurderingen er, at behandlingsscenariet med opgravning og opsamling af CFC-11 (scenarie 3A) giver de mindste miljøpåvirkninger i kategorierne *klimaforandring* samt *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Derudover har scenarie 3A også nogle af de laveste påvirkninger i stort set alle andre kategorier. Set ud fra en overordnet miljømæssig betragtning, vil det derfor være mest fordelagtigt, at opgrave udtjente rørstrækninger og i forbindelse med bortskaffelsen sikre sig, at al CFC-11 opsamles og destrueres.

Scenariet med de største miljøpåvirkninger var til gengæld den eksisterende praksis for bortskaffelse af fjernvarmerør (scenarie 0), hvor de opgravede rør shreds. Dette scenarie havde en voldsom påvirkning i kategorierne *klimaforandring* samt *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* i forhold til de andre scenarier, og lå også højt i de fleste andre kategorier. Der er derfor ingen tvivl om, at denne metode, set ud fra et miljøperspektiv, har en høj miljøpåvirkning.

Neddeling af rørene med forbrænding (2, 3A og 3B) er en bedre metode til bortskaffelse end shredding og efterfølgende deponering (scenarie 0). Scenarie 1, hvor alle rørene bliver liggende i jorden, er det næstbedste.

I scenarierne 2, 3A og 3B med miljøbesparelser fra genanvendelse opvejer udledningen af CFC-11 langt besparelserne, der kan opnås ved energigenvinding ved forbrænding og genanvendelse af fx stål og plast. Til gengæld skal udledningen af CFC-11 ses i det perspektiv, at der i dag – 18 år efter vedtagelse af Montreal protokollen – stort set ikke udledes CFC-gasser, hvorfor personækvivalenten er lav. Det betyder, at enhver udledning af CFC-11 derfor vil have stor betydning for resultaterne i kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Desuden er CFC-11 en yderst potent drivhusgas, som vil bidrage til kategorien *klimaforandring*. I forhold til de skadelige påvirkninger af ozonlaget, konkluderes det altså, at de miljømæssige gevinster man opnår ved at opsamle CFC-gasserne opvejer de miljømæssige belastninger, der er forbundet med at gøre det.

På baggrund af kortlægningen, har det ikke været muligt at fastslå et initialt indhold af CFC-11 i PUR-skummet ved rørenes fremstilling, men til gengæld et fornuftigt estimat af det nuværende indhold i fjernvarmerør i brug.

Diffusionen af CFC til jorden i rørenes levetid, som har en relativ stor betydning for resultaterne af miljøvurderingen, er behæftet med nogen usikkerhed, da der ikke er enighed om diffusionsraten, samt hvor stor en andel af den diffunderede CFC afgasser til atmosfæren. Ifølge Kjeldsen, 2004, vil diffusionsraten af CFC-11 fra rørene, være højest i de første år i brugsfasen. Generelt set mangler der data for diffusionsraten, samt data for hvad der sker med den diffunderede CFC i jordmiljøet.

1. Afgrænsning og udformning af livscyklusvurderingen

1.1 Formål og tilsigtet anvendelse

Formålet med nærværende projekt er at vurdere de miljømæssige konsekvenser af forskellige scenarier for håndtering af gamle CFC-holdige fjernvarmerør. Vurderingen udføres på baggrund af en livscyklusvurdering (LCA) af scenarierne, og har til formål, at belyse hvilket af behandlingsscenarierne, der er det mest hensigtsmæssige set ud fra en miljøbetragtning.

Projektet omhandler den del af fjernvarmenettet der blev lagt i perioden op til 1995, hvor brugen af CFC-gasser blev forbudt. Disse gasser har en stærk ozonnedbrydende effekt og er derfor i dag blevet erstattet af mere miljøvenlige alternativer, som fx cyklopentan. De forskellige behandlingsscenarier vurderes ud fra et reference-scenarie, som afspejler praksis for håndteringen af fjernvarmerør som den er i dag, hvor rørene ved renovering bortskaffes uden særlig hensynstagen til det CFC-holdige isoleringsskum der omslutter det vandbærende stålør.

Livscyklusvurderingen er udført i overensstemmelse med ISO 14040-serien af standarder med den undtagelse, at det udelukkende er de normaliserede miljøpåvirkninger, der vises på grafer og omtales i diskussionsafsnittene. Dog er de karakteriserede (ikke-normaliserede) resultater under basisforudsætningerne afgivet i Tabel 6. Livscyklusvurderingens normaliserede resultater vil danne baggrund for en rangering af de vurderede behandlingsscenarier, med det formål, at yde teknisk beslutningsstøtte i forbindelse med eventuel fremtidig regulering på området.

Målgruppen for miljøvurderingen er Miljøstyrelsen, kommuner, rådgivere, forskere samt virksomheder, der håndterer og genanvender kasserede fjernvarmerør.

1.2 Overordnede principper

Livscyklusvurderingen, som er gennemført i nærværende projekt er baseret på en konsekvenstilgang i modelleringen af de vurderede systemer, hvor allokeringsproblematikken undgås ved at udvide systemgrænserne, så systemet krediteres for den undgåede produktion af substituerede produkter. Denne metode vurderes at være bedst egnet i forhold til projektets formål, som er at vurdere konsekvenserne ved forskellige alternative fremtidige scenarier for behandling af det CFC-holdige isoleringsskum, i forhold til nuværende praksis beskrevet ved et basisscenarie.

Livscyklusvurderingen er desuden gennemført i overensstemmelse med de internationale standarder ISO 14040 og ISO 14044 samt vejledningerne beskrevet i ILCD-håndbogen². Ved valg af LCIA-metoder og miljøpåvirkningskategorier er anbefalingerne i ILCD-håndbogens "Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context" (European Commission, 2011) fulgt. Der er ikke foretaget en usikkerhedsanalyse til belysning af om forskellene imellem scenarierne er signifikante, bl.a. fordi der ikke er information om usikkerhed og variation

² http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/11111111/15651/1/ilcd_handbook-general_guide_for_lca-detailed_guidance_12march2010_isbn_fin.pdf

for alle anvendte data. I stedet er der foretaget en række følsomhedsanalyser, for at teste resultaternes robusthed over for variationer i forudsætningerne.

1.3 Den funktionelle enhed

Den funktionelle enhed beskriver produktsystemets kvantificerede ydeevne og anvendes som referenceenhed ved sammenligning af de forskellige scenarier. Den funktionelle enhed beskriver altså hvilken *funktion* systemerne i de enkelte scenarier skal opfylde.

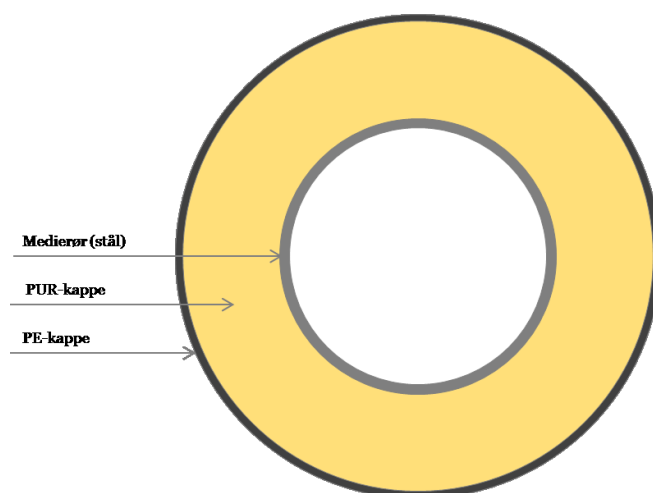
I nærværende projekt defineres den funktionelle enhed som:

Håndtering af 1 km Ø200 fjernvarmerør indeholdende 0,01918 m³ isolering pr. meter rør med 9,1 kg freon pr. m³ isoleringsskum og med varmeledningsevne 0,026 W/mK over perioden 2014 til 2050.

Det er vigtigt at bemærke, at den funktionelle enhed i dette projekt har været til brug i de LCA-modeller (systemmodeller), der er opbygget i EASETECH. Resultaterne herfra er så efterfølgende blevet sammensat og vægtet på forskellig vis, afhængig af hvilket af behandlingsscenarierne der regnes på. Resultaterne, som angives på graferne og beskrives i konklusionerne, gælder derfor den samlede mængde rør. Fastlæggelse af rørdimensionen angivet i ovenstående funktionelle enhed er udarbejdet på baggrund af den indledende kortlægning af fjernvarmenettet i Danmark. I den funktionelle enhed er følgende data indeholdt:

TABEL 2 MATERIALEINPUT TIL DEN FUNKTIONELLE ENHED

	Diameter [mm]	Godstykkelse [mm]	Densitet [kg/m ³]	Volumen [m ³ /km]	Masse [kg/km]
PE-kappe	200	3,2	960	1,9784	1899,3
PUR-kappe	193,6	39,65	70	19,1766	1342,4
Medierør	114,3	3,6	7800	1,2520	9765,5
I ALT					13007,2



FIGUR 4 SKITSE AF STANDARDRØR

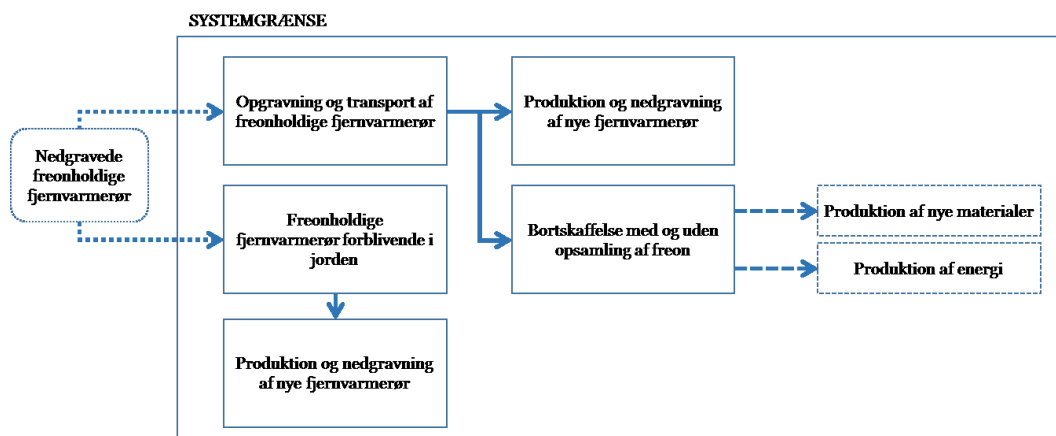
1.4 Tidshorisont

De indsamlede data for præisolerede fjernvarmerør fra før freon blev udfaset repræsenterer tidsperioden fra 1970 til 1995. Det vurderes herudfra, at resultaterne for de vurderede scenarier vil være gældende så længe der ikke sker væsentlige ændringer i de teknologier og baggrundssystemer nærværende beregninger er baseret på.

Der er som supplement til ovenstående alligevel indregnet en afgrænset tidsperiode i den funktionelle enhed på 36 år (fra 2014 til 2050), da der i beregningerne er forudsat en fuldstændig udskiftning af de CFC-holdige rør i 2050.

1.5 Systemgrænser

På Figur 5 er systemgrænserne for LCA'en vist. De nedgravede CFC-holdige fjernvarmerør kommer ind i systemet uden byrder fra opstrøms processer fra produktion og nedgravning i forbindelse med den oprindelige etablering. Derefter sker opgravning, transport, produktion og nedgravning samt bortskaffelse i henhold til scenarierne beskrevet i 2.1. Substitution af nye materialer og energi som følge af genanvendelse og energigenvinding er vist ved stiplede linjer inden for systemgrænserne.



FIGUR 5 SYSTEMGRÆNSER I LCA

1.6 Datagrundlag

Nærværende projekt er gennemført på baggrund af data fra den kortlægning som indledningsvis blev gennemført af Teknologisk Institut. Herunder blev en række ældre CFC-holdige fjernvarmerør hjemtaget fra et geografisk jævnt fordelt udsnit af det danske fjernvarmenet. Rørene blev registreret med oprindelse, dimensioner, materialetyper, produktionsår og producent. Det blev endvidere besluttet at udføre kvantitative freonanalyser på stykker af de ældre præisolerede rør for at fastslå, hvorvidt der var freon tilbage i rørene og i bekræftende fald hvor meget.

Ud over kortlægningen er projektet endvidere baseret på en række eksisterende rapporter, der omhandler problematikkerne omkring håndteringen af gamle fjernvarmerør med CFC-gasser i isoleringsskummets cellestruktur.

1.7 Systemudvidelse/allokering

Da livscyklusvurderingen (LCA) som er gennemført i nærværende projekt er baseret på en konsekvenstilgang i modelleringen af de vurderede systemer, er allokeringsproblematikken undgået ved at udvide systemgrænserne, således systemet krediteres for de undgåede emissioner som følge af produktion af substituerede produkter. Det skal hertil nævnes, at der i modelleringen er anvendt enhedsprocestdata hvor allokering har været anvendt, f.eks. elektricitetsdata fra kraftvarmeværker. Dette vurderes dog ikke at være i konflikt med hverken ISO 14044 eller ILCD-håndbogen.

1.8 Kriterier for udeladelse af inputs og outputs

Ved import af data fra eksterne databaser til EASETECH-databasen blev grænsen for inkludering af enkeltstoffer sat til 1 % af den samlede miljøpåvirkning i hver af de undersøgte miljøpåvirkningskategorier. Alle relevante oplysninger fra databaser, artikler, rapporter m.v. er inkluderet i datagrundlaget.

1.9 LCIA-metode og miljøpåvirkningskategorier

På baggrund af systemmodelleringen og de elementære udvekslinger opgjort i livscykluskortlægningen (LCI), beregnes systemets potentielle påvirkninger af en række kendte miljøproblematikker, inddelt i såkaldte miljøpåvirkningskategorier. Disse potentielle miljøpåvirkninger angives i ækvivalent-enheder, som endvidere kan omregnes for hver af påvirkningskategorierne til en fælles enhed (personækvivalent - PE), idet de beregnede belastninger divideres med den gennemsnitlige årlige belastning fra én person. Denne metode kaldes normalisering og er beskrevet i ISO 14044 samt ILCD-håndbogen.

I nærværende LCA er miljøpåvirkningskategorierne fra EASETECH-værktøjet anvendt, hvilke er baseret på ILCD-håndbogens anbefalinger. Herunder er kategorier for human- og økotoksicitet fra USEtox samt partikelstoffer der påvirker åndedrættet, modelleret ifølge UPFM-modellen, også inkluderet.

De valgte miljøpåvirkningskategorier inklusive deres enheder og normaliseringsfaktorer er angivet i Tabel 3.

TABEL 3 MILJØPÅVIRKNINGSKATEGORIER

Påvirkningskategori	Metode	Enhed	Normaliseringsfaktor
Klimaforandring	IPCC 2007	kg CO ₂ -Eq/person/år	7730
Nedbrydelse af stratosfærisk ozon	EDIP	kg CFC-11-Eq/person/år	0,0205
Fotokemisk ozondannelse	ReCiPe	kg NMVOC/person/år	52,9
Forsuring	ReCiPe	kg SO ₂ -Eq/person/år	49,88
Eutrofiering	CML 2001	kg NO _x -Eq/person/år	356
Ferskvandseutrofiering	ReCiPe	kg P-Eq/person/år	0,96
Udtynding af abiotiske ressourcer, grundstoffer	CML 2013	kg antimon-Eq/person/år	0,217
Humantoksicitet, cancereffekter	USEtox	CTU/person/år	3,25E-05
Humantoksicitet, ikke-cancereffekter	USEtox	CTU/person/år	0,000814
Økotoksicitet	USEtox	CTU/person/år	5060
Udtynding af abiotiske ressourcer, fossil	CML 2012	MJ/person/år	8,06E+04
Partikler	UPFM	kg PM _{2.5} -Eq/person/år	4,71

1.10 LCA-modellen EASETECH

Modelleringen af de systemer der behandles i nærværende projekt er foretaget med EASETECH-værktøjet, udviklet ved Danmarks Teknologiske Universitet (DTU).

EASETECH-modellen indeholder data for udvalgte anlæg og processer, men tillader også at specifikke anlæg opstilles og gemmes i modellen. Scenarier med flere strenge kan opstilles for et givet system startende med affaldsgenereringen og afsluttende med slutdisponeringen i et deponi, ved industriel materialelegnanvendelse, udsprede på landbrugsjord, udnyttelse i energianlæg eller ved materialeudnyttelse. Hvor der sker materialelegnanvendelse, energiudnyttelse eller materialeudnyttelse, krediteres affaldssystemet for de ressourcemæssige og miljømæssige besparelser, der opnås ved, at den tilsvarende produktion baseret på jomfruelige materialer undgås. EASETECH indeholder databaser for en række centrale processer, for eksempel for transport, elektricitets- og varmfremstilling. Herudover kan data importeres fra kommercielle databaser. I nærværende projekt er der udover EASETECH's egne data også gjort brug af datasæt importeret fra Ecoinvent.

1.11 Rapportformat og kritisk gennemgang af resultater

Formatet for rapporteringen følger retningslinjerne angivet i ISO 14044. Rapporten har været underlagt eksternt review af LCA-eksperter fra BIO Intelligence og DTU, se Bilag 1:.

2. Forudsætninger for livscyklusvurderingen

2.1 Scenarier

I dette afsnit beskrives de scenarier for håndteringen af CFC-holdige fjernvarmerør, som er vurderet i nærværende projekt. Som nævnt indledningsvis i rapporten, er der fastsat et Scenarie 0 som beskriver praksis som den er i dag. De øvrige fire scenarier (1+2+3A+3B) vurderes alle med Scenarie 0 som reference.

Generelt for de fem scenarier gælder, at de er opdelt i to sammenhængende tidsperioder:

1. Fra 2014 til 2030; I denne periode forudsættes en udskiftningsfrekvens på de gamle fjernvarmerør svarende til i dag. Denne er på baggrund af den indledende kortlægning sat til 0,82 % p.a. I beregningerne betyder dette altså, at der hvert år frem til 2030 udskiftes 8,2 m pr. km rør.
2. Fra 2030 til 2050; I denne periode forudsættes en væsentlig højere udskiftningsfrekvens, svarende til 4,34 % p.a., idet de CFC-holdige fjernvarmerør nu er nået over deres beregnede maksimale levetid. Dermed begynder en egentlig "udskiftningspukkel" som forudsættes fuldt afviklet i 2050, hvor samtlige CFC -holdige fjernvarmerør således er udskiftet.

2.1.1 Scenarie 0

Scenariet beskriver den praksis for udskiftning og håndtering af gamle fjernvarmerør som eksisterer i dag. Fra år 2014 til 2030 udskiftes årligt 8,2 m pr. km rør, hvoraf 50 % af de udskiftede rør graves op og transporteres til neddeling, shredding og efterfølgende deponi af skumrester og genanvendelse af stål og plast. De resterende 50 % bliver liggende i jorden uden at være i brug. Dette er bl.a. af hensyn til forsyningssikkerheden, hvor det i mange tilfælde er nødvendigt at forsyne forbrugerne med fjernvarme, mens udskiftningen foregår. En efterfølgende opgravning og bortskaffelse vil være forbundet med yderligere omkostninger, hvorfor rørene bliver liggende i jorden. Fra år 2030 og frem til år 2050 udskiftes den resterende del af de gamle rør, hvoraf 50 % graves op og de resterende 25 % bliver liggende i jorden uden at være i brug. Fordelingen mellem opgravede rør og rør der bliver liggende i jorden er baseret på et spørgeskema udfyldt af Dansk Fjernvarme, som findes i delrapporten "Kortlægning af gamle fjernvarmerør med Freon"

Hvor de gamle rør opgraves, nedlægges nye rør på samme placering, og hvor de gamle rør efterlades i jorden, nedlægges nye rør ved siden af, eller tæt på de gamle.

2.1.2 Scenarie 1

Scenariet beskriver en situation, hvor alle udtjente rørstrækninger bliver liggende i jorden uden at være i brug. Fra år 2014 til 2030 udskiftes årligt 8,2 m pr. km rør, og der nedlægges nye rør ved siden af, eller tæt på de gamle rør. Fra år 2030 og frem til år 2050 udskiftes den resterende del af de gamle rør og der nedlægges nye rør ved siden af, eller tæt på de gamle rør.

2.1.3 Scenarie 2

Scenariet beskriver en situation, hvor alle udtjente rørstrækninger graves op og bortskaffes efter neddeling i stykker á 30 cm sendes til forbrænding. Slaggen sendes til en sorteringsvirksomhed, som udsorterer og genanvender stålet.

2.1.4 Scenarie 3A

Scenariet beskriver en situation, hvor alle udtjente rørstrækninger graves op og bortskaffes ved neddeling og forbrænding med opsamling og destruktion af CFC-11. Stålet oparbejdes til genanvendelse. Fra år 2014 til år 2030 udskiftes årligt 8,2 m pr. km rør, hvor alle rør graves op og bortskaffes med særligt hensyn til opsamling af CFC-11. Halvdelen af de nye rør nedlægges på samme placering, resten i en ny tracé tæt på. Fra år 2030 til år 2050 udskiftes den resterende del af de gamle rør, hvor alle rør graves op og bortskaffes med særligt hensyn til opsamling af CFC-11. Halvdelen af de nye rør nedlægges på samme placering, resten i en ny tracé tæt på.

2.1.5 Scenarie 3B

Scenariet beskriver en situation, hvor alle udtjente rørstrækninger graves op og bortskaffes ved neddeling og forbrænding, uden særlig opsamling af CFC-11. Fra år 2014 til år 2030 udskiftes årligt 8,2 m pr. km rør som bortskaffes uden opsamling og destruktion af CFC-11. Halvdelen af de nye rør nedlægges på samme placering, resten i en ny tracé tæt på. Fra år 2030 til år 2050 udskiftes den resterende del af de gamle rør, hvor alle rør graves op og bortskaffes ved neddeling og forbrænding, uden opsamling af CFC-11. Halvdelen af de nye rør nedlægges på samme placering, resten i en ny tracé tæt på.

2.2 LCI input til scenarier

I det følgende gennemgås forudsætninger for behandlingsscenarierne 0, 1, 2, 3A og 3B. En stor del af inputtene til scenarierne er fundet gennem litteraturstudier af artikler og rapporter udgivet mellem 2004 og 2013, herunder flere under Miljøstyrelsen.

Følgende litteratur er gennemgået:

- Kjeldsen, P., 2004. Udgør fjernvarmenettet en trussel mod grundvandet?. *Vand og Jord*, September, Issue 3, pp. 105-108.
- Kjeldsen, P., 2011. Freon fra fjernvarmerør - en overset trussel for indeklima og grundvand?. *ATV Jord & Grundvand*, Oktober, pp. 32-41.
- Larsen, H. F., 2005. *Baggrundsdokument for miljøvejledning for fjernvarmerør*, s.l.: Miljøstyrelsen.
- Mogensen, S. B., 2013. *Undersøgelse af frigivelse af freon ved fjernvarmerør*, s.l.: Region Midtjylland.
- Mogensen, S. B., Langeland, M., Andersen, K. M. & Jensen, P. E., 2013. Freon - en ny spiller på banen. *Jordforurening.info*, Issue 3, pp. 13-26.
- Poulsen, T. S., Lauridsen, J. & Nielsen, J. M., 2006. *Kortlægning af CFC- og HCFC affald i Danmark*, s.l.: Miljøstyrelsen.
- Rambøll, 2004. *Vurdering af restlevetid af præisolerede fjernvarmerør*, s.l.: Danske Fjernvarmeværkers Forening.

Under kortlægningen har bl.a. Dansk Fjernvarme leveret input til den aktuelle håndtering af kasserede rør i Danmark.

I afsnit 2.2.1 til 0 gennemgås forudsætninger for levetid af fjernvarmerør, produktion af fjernvarmerør, nedgravning og opgravning af fjernvarmerør, behandling af CFC-holdige fjernvarmerør samt miljøpåvirkninger i jorden fra fjernvarmerør.

2.2.1 Levetid af præisolerede fjernvarmerør

Fra 1962 og frem til vedtagelsen af Montreal protokollen i 1995 blev der produceret præisolerede fjernvarmerør med CFC-gasser som opskumningsmiddel. CFC-gasser har været anvendt som opskumningsmiddel i PUR-skum i både præisolerede fjernvarmerør og kølemøbler, pga. gode isoleringsegenskaber. Hovedparten af den anvendte CFC til præisolerede fjernvarmerør er CFC-11 (freon) og det forudsættes derfor, at al CFC i præisolerede fjernvarmerør i modelleringen, er CFC-11.

I dag er CFC-gasserne afløst af bl.a. cyclopentan (C_5H_{10}), som har samme gunstige isoleringsegenskaber, som CFC-11.

Levetiden af fjernvarmerør skal ifølge standarden DS/EN 253, som specificerer krav og prøvningsmetoder for lige længder af fjernvarmerør til nedgravning i jord, være minimum 30 år ved en kontinuerlig driftstemperatur på 120 °C. En lavere driftstemperatur vil øge levetiden af røret (Rambøll, 2004). Temperaturen i danske fjernvarmerør er mellem 70 og 90 °C, og fremløbstemperaturen er generelt under 100 °C, hvilket forlænger rørenes levetid til op til 60 år. PUR-skummet nedbrydes ved termisk og fysisk påvirkning, hvilket kan reducere levetiden af fjernvarmerørene. Under danske driftsforhold vurderes nedbrydningen af PUR-skummet ikke at influere på levetiden. Den gennemsnitlige levetid på præisolerede fjernvarmerør er mellem 30 og 60 år (Poulsen, et al., 2006). I modellen forudsættes, at alle CFC-holdige rør er udskiftet i år 2050, hvor rør nedlagt i 1995, vil have en alder på 55 år. Det forudsættes, at de ældste rør udskiftes inden de når en alder på 60 år.

PUR-skum i fjernvarmerør med CFC-11 som opskumningsmiddel, vil have en startvarmeledningsevne på 0,025 W/mK og vil i løbet af levetiden gradvis øges til 0,036-0,040 W/mK (Rambøll, 2004). Der er under kortlægningen målt varmeledningsevne på både fremløbs- og returrør fra Skjern (DN50/125 mm, ca. 1975), hvor resultatet var 0,026 W/mK. I rapporten *Vurdering af restlevetid af præisolerede fjernvarmerør* (Rambøll, 2004) er den højest målte varmeledningsevne 0,0285 W/mK på et rør produceret i 1970'erne. Til sammenligning er varmeledningsevnen af nye fjernvarmerør med cyclopentan som opskumningsmiddel 0,022-0,028 W/mK. Ovenstående resultater indikerer en lav diffusion af CFC-11 ud gennem rørene, og dermed fald i isoleringsevne – se 0, og det er i nærværende livscyklusvurdering forudsat, at udskiftning af gamle rør med nye, ikke forårsager et hverken øget eller reduceret varmetab.

Faktorer som har indflydelse på levetiden af præisolerede fjernvarmerør er:

- Øgning af varmeledningsevnen
- Reduktion af forskydningsstyrke mellem stålrør og isolering
- Trykstyrke
- PE type, nedbrydning af stabilisatorer i PE-kappe.
- Indvendig korrosion af stålrør
- Udvendig korrosion af stålrør
- Utætte muffesamlinger

Såfremt muffesystemer vedligeholdes, vurderes det, at præisolerede fjernvarmerør har en meget lang levetid (Rambøll, 2004).

2.2.2 Produktion af præisolerede fjernvarmerør (efter Larsen, 2005)

Et præisoleret fjernvarmerør består af følgende tre komponenter:

- Medierør – primært fremstillet af stål
- Kapperør – fremstillet af polyethylen (PE)
- Polyurethanskum (PUR) – fremstillet af isocyanat, polyol og et opskumningsmiddel – primært cyclopentan.
-

Medierøret fremstilles fra præfabrikerede stålrør i lige længder, og fremstilles typisk i Tyskland, Sverige, Finland, Schweiz og England. Kapperøret fremstilles som regel af fjernvarmerørproducenten, ved ekstrudering af PE-granulat under opvarmning. PUR-skummet fremstilles ved at indblæse reagenserne, isocyanat og polyol sammen med cyclopentan i mellemrummet mellem medierør og kapperør se Figur 6.

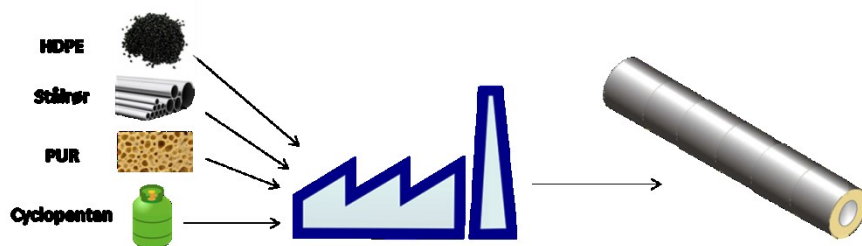
Produktionen af præisolerede fjernvarmerør skal overholde en række standarder, hvor der bl.a. stilles krav til holdbarheden/levetiden af rørene.

- DS/EN 13941:2010
- DS/EN 14419:2009
- DS/EN 253: 2013
- DS/EN 448:2009
- DS/EN 488:2014
- DS/EN 489:2009

Jf. Tabel 2, anvendes der til produktionen af 1 km fjernvarmerør:

- 1899,3 kg HDPE granulat.
- 1342,4 kg PUR skum inkl. cyclopentan
- 9765,5 kg stålrør
- Til ekstrudering af PE-kappen fra HDPE granulat er et energiforbrug på 9 MJ/kg funktionel enhed, i alt $1,17 \cdot 10^5$ MJ.

Nye fjernvarmerør produceres i Danmark udelukkende af LOGSTOR i Løgstør.



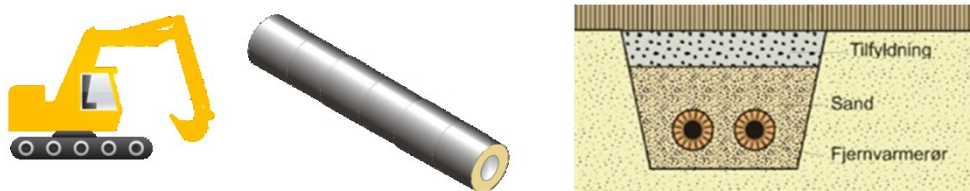
FIGUR 6 – SKEMATISK PRÆSENTATION AF PRODUKTIONEN AF FJERNVARMERØR.

2.2.3 Nedgravning og opgravning af præisolerede fjernvarmerør

Nedgravning af fjernvarmerør kan ske enten ved en forudgående opgravning af kasserede fjernvarmerør, eller ved gravning af et nyt tracée ved siden af, eller tæt på de gamle rør. Til nedgravningen anvendes en gravemaskine, med et forbrug af diesel – se Figur 7. Desuden skal fjernvarmerørene samles ved elektrosvæjsning og rørene skal opvarmes inden de tages i brug (Larsen, 2005).

Til opgravning af fjernvarmerør anvendes en gravemaskine med samme brændstofforbrug som anvendt til nedgravning. Fjernvarmerørene adskilles i længder af 6-12 m og transporteres til bortskaffelse med lastbil.

Til beregning af brændstofforbrug til gravearbejde er det forudsat, at der graves $2,25 \text{ m}^3$ jord pr. meter rørledning. Med et brændstofforbrug på 30 L/hr og en produktion på $100 \text{ m}^3/\text{hr}$ fås et forbrug på $0,3 \text{ L/m}^3$ og dermed $0,675 \text{ L}$ pr. meter rørledning. Den funktionelle enhed har en masse på 13.007 kg/km hvilket giver et brændstofforbrug på $0,0519 \text{ L/kg}$. I praksis skiftes altid begge rør samtidig, hvorfor brændstofforbruget i beregningerne er sat til $0,026 \text{ L/kg}$.



FIGUR 7 SKEMATISK PRÆSENTATION AF NEDGRAVNING AF FJERNVARMERØR (BL.A. EFTER KJELDSSEN, 2011).

De fleste fjernvarmerør er anlagt under vejnettet og er ofte belagt med befæstning bestående af et bærelag og et asfaltlag. Dette vil have betydning for energiforbruget til opgravning samt påvirke logistik og dermed også have større økonomiske omkostninger end for rør, som er anlagt uden om vejnettet (Kjeldsen, 2011). Der er ikke taget højde for forskelle i energiforbrug til opgravning af fjernvarmerør i modellen, som følge af opgravning med, kontra uden, opbrydning af asfalt, da der er store forskelle hvor rørene ligger, dybde, jordsammensætning og det anvendte maskineri, hvorfor et gennemsnit er beregnet og anvendt i alle scenarierne. Der er desuden ikke medregnet energiforbrug til sammensvejsning eller opvarmning af rør.

2.2.4 Bortskaffelse af CFC-holdige præisolerede fjernvarmerør

I tidligere rapporter udgivet af bl.a. Miljøstyrelsen vurderes flere mulige bortskaffelsesmetoder for CFC-holdige fjernvarmerør. Der findes i dag ikke nogen regler for bortskaffelsen af CFC-holdige fjernvarmerør, men reguleres (forbud og anvendelsesbegrænsninger) i den danske Bekendtgørelse nr. 243 af 19. april 2002, *Bekendtgørelse om visse ozonlagsnedbrydende stoffer* (Miljøministeriet, 2014) samt i Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 2037/2000 af 29. juni 2000 (Europa-Parlamentet og Rådets forordning, 2014), som behandler ozonlagsnedbrydende stoffer. I *Baggrundsdokument for miljøvejledning for fjernvarmerør* (Larsen, 2005) og *Kortlægning af CFC- og HCFC affald i Danmark* (Poulsen, et al., 2006) gennemgås tre mulige bortskaffelsscenarioer; deponi, forbrænding i kommunalt forbrændingsanlæg eller behandling på specialanlæg, som kan håndtere CFC-11.

Shredding og deponi

Ved shredding af CFC-holdige fjernvarmerør neddeles de gamle opgravede rør til stykker af ca. 1 meter, hvorefter de shreds med udsortering af stål og plast til genanvendelse, og deponi af restfraktionerne.

Ved neddeling og shredding af rørene frigives en del af CFC-gassen fra PUR-skummet. Afhængigt af størrelsesfraktion af det shredsede skum, vil op til 40 % af CFC-gassen frigives momentant ved shredding og at den resterende del frigives hurtigt ved henstand i deponi, i det diffusionsvejen er kort (Poulsen, et al., 2006). Ved anvendelse af denne metode, må det formodes, at alt den indeholdte CFC-11 frigives til atmosfæren.

Forbrænding i kommunalt forbrændingsanlæg

Opgravede, kasserede CFC-holdige fjernvarmerør kan transporteres til et kommunalt affaldsforbrændingsanlæg hvor rørene neddeles eller klippes i mindre længder á ca. 30 cm. Ved neddeling af rørene forudsættes 5 cm pr. snit af CFC-11 i PUR-skummet at afgasse i skæringsfladerne.

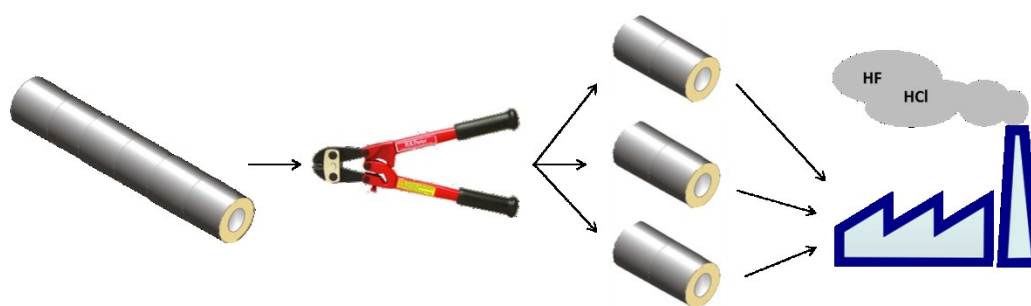
De neddelte rør fødes til forbrændingsanlægget blandet med det almindelige affald se Figur 8.

Ved forbrænding af CFC-11 dannes bl.a. HCl og HF som kan korrodere anlæggene, hvis mængderne ikke kontrolleres. I kommunale affaldsforbrændingsanlæg vil HCl og HF dog blive behandlet i røggasrensningen og udgør derfor ikke et problem. I affaldsforbrændingsanlæg, som opererer med

en forbrændingstemperatur mellem 870 og 1075 °C, er destruktionsgraden af CFC-11 99,9 %. Den termiske nedbrydning af CFC-11 er undersøgt og ved både 740, 970 og 1070 °C opnås en destruktions effektivitet på >99,99 % ved en opholdstid >2 sekunder. Der vil dog være dioxiner tilstede ved forbrænding, pga. tilstedeværelsen af klor, hvilket dog også vil blive rensat i røggasrensningen på affaldsforbrændingsanlæg (Poulsen, et al., 2006).

Der opnås 75 % energiudnyttelse ved forbrænding af PE-kappen og PUR-skummet. Stål smelter ved ca. 1538 °C og stålrøret vil derfor ikke blive påvirket af forbrændingen og kan opsamles og genvindes efter forbrænding (Larsen, 2005).

På basis af ovenstående regnes 100 % destruktion af tilbageværende CFC-11 efter neddeling på et almindeligt forbrændingsanlæg.



FIGUR 8 SKEMATISK PRÆSENTATION AF NEDDELING OG FORBRÆNDING AF CFC-HOLDIGE FJERNVARMERØR.

Behandling på specialiseret anlæg

I 2004 fandtes flere danske virksomheder, som havde specialiseret sig i bortskaffelse af CFC-holdige fjernvarmerør, herunder Freonfri Prærørsgenbrug ApS, Uniscrap A/S og H.J. Hansen.

Freonfri Prærørsgenbrug ApS, adskiller fjernvarmerørene i PE-kappe, PUR-skum og stålrør ved hjælp af tryk, og de adskilte dele sorteres. På anlægget er installeret en udsugningsventilator, som sørger for, at CFC og evt. støv opsamles og efterfølgende destrueres ved forbrænding. PUR skummet sendes til forbrænding i et kommunalt affaldforbrændingsanlæg.

Uniscrap A/S og H.J. Hansen behandler fjernvarmerørene i shredder anlæg, hvor affaldet separeres i PE, PUR-skum og stål, hvor PUR-skum sendes enten på deponi eller til forbrænding og stålet genanvendes. Det har ikke været muligt, at finde information om opsamlingen af CFC under shredding af rørene ved Uniscrap eller H.J. Hansen.

Det er dog ikke anbefalet, at adskille PE-kappe, PUR skum og stålrør, da der vil ske en væsentlig (50 %) afgasning af CFC-11 fra PUR-skummet til atmosfæren ved adskillelse, med mindre denne opsamles og behandles (Poulsen, et al., 2006).

I maj 2014, er Freonfri Prærørsgenbrug ApS opløst og hverken Uniscrap A/S eller H.J. Hansen har anlæg, som kan opsamle CFC-11. Det vurderes, at behandling på specialiserede anlæg i Danmark ikke er en mulig bortskaffelsesmetode i år 2014.

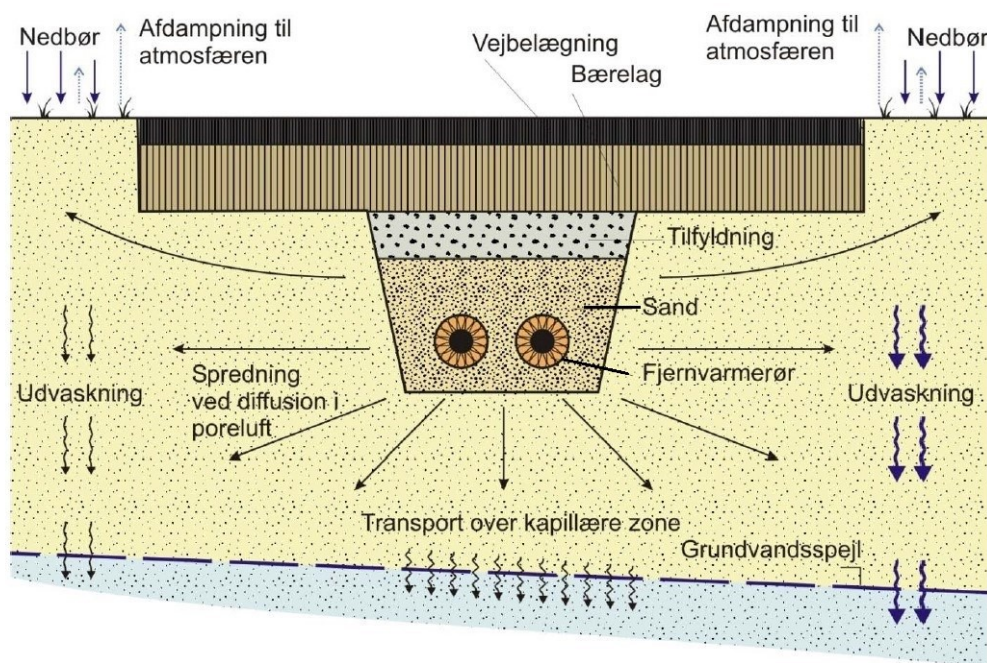
I scenarie 3A forudsættes, at 95 % af den frigivede CFC-11 i forbindelse med neddelingen opsamles ved udsugning og ledes gennem et aktivt kulfilter.

2.2.5 Miljøpåvirkninger i jorden ved fjernvarmerør

Da der indtil 2050 vil ligge CFC-holdige fjernvarmerør i jorden i alle scenarier, er det nødvendigt at vurdere de potentielle miljøpåvirkninger herfra. Efter år 2050, som er den tidshorisont nærværende LCA dækker, vil der i scenarie 0, scenarie 1 og scenarie 2 være CFC-holdige rørstrækninger i jorden, som ikke er i brug, hvorfra CFC-kan diffundere. Det er vigtigt at bemærke, at miljøpåvirkningerne efter 2050 fra deponerede rørstrækninger ikke er medtaget i nærværende LCA. Dette er grundet beslutningen om udelukkende at beregne miljøpåvirkningerne indtil 2050, da det vurderes, at usikkerhederne omkring startkoncentrationen, og dermed også restindholdet af CFC i rørene, samt diffusionsraten fra jord til luft efter 2050, bliver så store, at det ikke giver mening at medtage disse. CFC-11 kan diffundere ud gennem PE-kappen til jordmiljøet og herfra nedsive til grundvandet eller afdampe til atmosfæren. CFC-11 er i sig selv ikke toksisk, men nedbrydningsprodukter heraf, HCFC-21 og HCFC-31, kan udgøre sundhedsfare. Nedbrydningen af CFC-11 sker under anaerobe forhold, som ikke er typiske i danske tracéer. CFC-11 en ozonnedbrydende gas, som derudover også vil bidrage til den globale opvarmning.

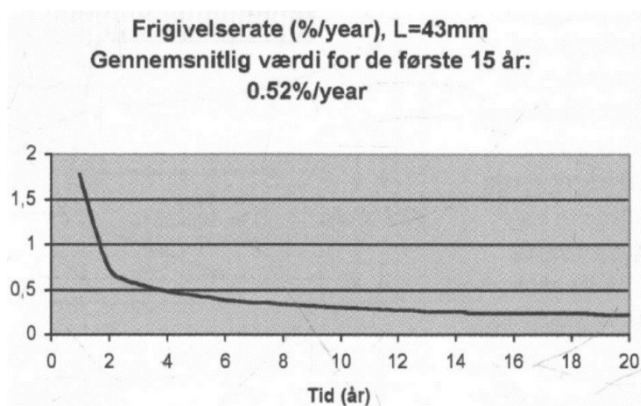
Diffusionen af CFC-11 foregår til det sandede materiale i tracéet, Figur 9, hvor en del frigives til poreluften og en del optages af porevandet, idet CFC-11 er opløseligt i vand. Da langt de fleste danske fjernvarmerør er anlagt under vejnettet, udgør vejbelægningen en barriere som gør, at afdampningen af CFC-11 til atmosfæren reduceres (Kjeldsen, 2011).

Der findes på nuværende tidspunkt, juni 2014, ikke studier som konkluderer præcist hvad der sker med CFC'en efter den diffunderer ud af røret. Det har derfor ikke været muligt, at bestemme den endelige destination for CFC-11.



FIGUR 9 MODEL FOR SPREDNING AF CFC-11 FRA FJERNVARMERØR (EFTER KJELDTSEN, 2011)

Resultater fra Kjeldsen, 2004 estimerer, at diffusionen af CFC-11 ud af PUR skum med en isoleringstykkelse på 43 mm, nogenlunde svarende til isoleringstykkelsen i standardrøret i kortlægningen (DN100), er 0,52 % per år af startkoncentrationen. Diffusionen er størst de første 15 år af rørets levetid, hvorefter den falder til ca. 0,25 % - se Figur 10. Beregninger foretaget af Kjeldsen, 2004 viser, at PE-kappen yder meget lille modstand i diffusionsprocessen og at kappen derved ikke udgør en barriere for diffusion af CFC ud gennem røret.



FIGUR 10 GENNEMSITLIG DIFFUSIONSRATE AF CFC-11 FOR DE FØRSTE 15 ÅR. ISOLERINGSTYKKELSE 43 MM (EFTER KJELDSSEN, 2004)

Da alle fjernvarmerør med freonholdig PUR-skum er nedlagt før 1995, og på nuværende tidspunkt er over 15 år gamle, forudsættes det i modellen, at diffusionen af CFC-11 i rør i jorden i dag, er 0,25 % p.a. Diffusionen er udregnet på baggrund af en gennemsnitlig skum-temperatur på 40 °C, som skummet antages at have, når rørene er i brug (Kjeldsen, 2004). Noget af skummet vil reelt have en højere temperatur når de er i drift, men til gengæld sænkes temperaturen af PUR-skummet når rørene kasseres og bliver liggende i jorden, og diffusionen vil derfor falde. Der er ikke taget højde for disse variationer i diffusionen af CFC-11 ved kasserede rør, som bliver liggende i jorden, og rør i brug, men antaget et gennemsnit.

I en rapport udgivet i 2013 for Region Midtjylland vedr. frigivelse af CFC-11 fra fjernvarmerør, fandt Mogensen et al. CFC-11 samt nedbrydningsprodukterne HCFC-21 og HCFC-31 i poreluften nær fjernvarmerør. Højeste målte koncentration af CFC-11 i poreluften, ved rørenes lægningsdybde, var 39.000 µg/m³, laveste målte koncentration 1600 µg/m³. I Danmark findes dog ikke jordkvalitetskriterier, afskæringskriterier eller luftkvalitetskriterier for freon-forbindelser og deres nedbrydningsprodukter jf. Miljøstyrelsens liste for kvalitetskriterier (Mogensen, 2013). Der findes dog et afdampningskriterium på 570 mg/m³, hvilket ikke overskrides.

Desuden blev de højeste koncentrationer fundet ved de nyligst nedlagte fjernvarmerør og de laveste ved de ældste fjernvarmerør. Dette indikerer, at CFC-11 og nedbrydningsprodukter heraf, er fordampet enten til atmosfæren eller nedslivet til grundvandet og at afdampningen har været størst i årene efter lægning af rørene og at diffusionen er aftaget som funktion af tiden.

Det har ikke været muligt, for Mogensen et al., 2013 eller Kjeldsen, 2011 at vurdere hvor stor en andel af det frigivne CFC-11, som vil afdampe og transporteres til atmosfæren eller transporteres til grundvandet. For at bestemme dette forhold, er det nødvendigt at måle på indholdet af CFC-11 i poreluften samt PUR-skummet i det pågældende rør.

I modelleringen forudsættes, at 30 % af det diffunderede CFC-11 fra fjernvarmerør vil afdampe til atmosfæren og de resterende 70 % transporteres ud i de omkringliggende jordlag og videre til grundvandet.

Dette forhold forudsættes, da en stor del af de danske fjernvarmerør er placeret under vejbelægning, som reducerer afdampningen af CFC-11 til atmosfæren. I følsomhedsanalysen er miljøpåvirkninger fra fordelingen af CFC-11 som diffunderer fra fjernvarmerørene vurderet. Der er ikke taget højde for nedbrydningsprodukterne HCFC-21 og HCFC-31 i modellen.

2.2.6 Transport

Da scenarierne ikke er modelleret beliggende i konkrete geografiske områder, forudsættes alle transportafstande at være 100 km. Det skal hertil bemærkes, at transportprocesser erfaringsmæssigt bidrager meget lidt til de samlede resultater i LCA studier. Transporten er dog stadig medtaget i nærværende projekt for at give en vurdering af dens betydning, og som det ses af resultaterne i afsnit 3, kan transportprocessernes bidrag knapt registreres på figurerne, hvilket bekræfter ovennævnte.

2.3 Systemmodeller

I de scenarier for håndtering af CFC-holdige fjernvarmerør, der vurderes i nærværende projekt, indgår forskellige behandlingsmetoder af den funktionelle enhed på samme tid. For at håndtere dette i LCA beregningerne, og for at kunne præsentere resultaterne på en overskuelig måde, er der defineret seks bagvedliggende systemmodeller (1-6), hvis resultater kombineres og vægtes på forskellig vis, afhængig af hvordan behandlingsscenarierne (0, 1, 2, 3A, 3B) er opbygget.

I princippet ”opdeles” den funktionelle enhed (1 km) i forskellige stykker, med længder som defineret i behandlingsscenarierne, og disse længder kombineres så med LCIA-resultaterne for de relevante systemmodeller. Disse summeres efterfølgende, således resultaterne for hvert behandlingsscenarie redegør for en fuld funktionel enhed som en kombination af forskellige systemmodeller.

I Tabel 4 ses en oversigt over hvilke Systemmodeller, der kombineres i de forskellige behandlingsscenarier. Systemmodellerne er beskrevet i det efterfølgende afsnit.

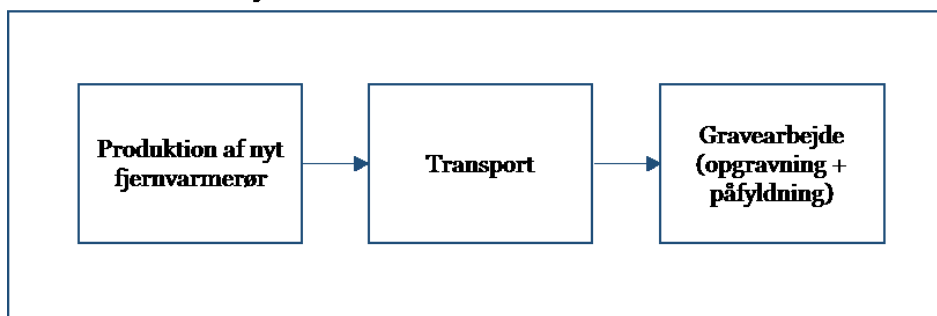
TABEL 4 SAMMENHÆNG MELLEM SYSTEMMODELLER OG BEHANDLINGSSCENARIER.

Systemmodeller						
	1	2	3	4	5	6
Beskrivelse	Produktion og nedgravning af nyt rør på ny placering	Produktion og nedgravning af nyt rør på eksisterende placering	Opgravning og bortskaffelse af rør ved shredding og deponering, uden opsamling af CFC	CFC-holdige rør i jord	Opgravning og bortskaffelse af rør ved forbrænding, uden opsamling af CFC	Opgravning og bortskaffelse af rør ved forbrænding, med opsamling af CFC
0	X	X	X	X		
1	X			X		
2	X	X		X	X	
3A	X	X		X		X
3B	X	X		X	X	

2.3.1 Systemmodel 1

Denne model beregner de potentielle miljøpåvirkninger i forbindelse med produktionen og nedgravningen af et nyt fjernvarmerør på en ny placering. I systemet modelleres produktionen af et nyt fjernvarmerør, transporten til nedlægningsstedet, opgravning samt påfyldning af jord. På Figur 11 er systemgrænserne for modellen illustreret sammen med hovedprocesserne.

SYSTEMGRÆNSE (Systemmodel 1)

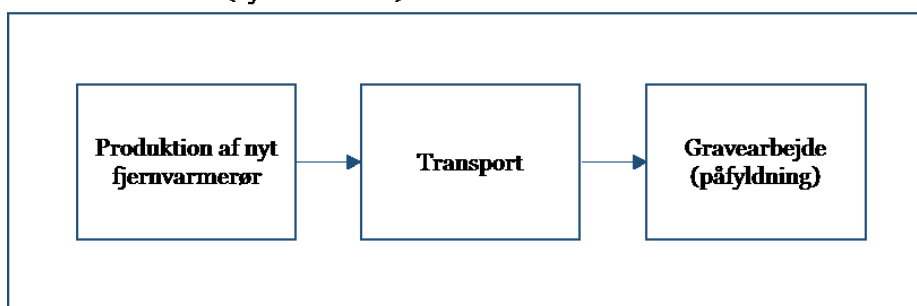


FIGUR 11 SYSTEMGRÆNSE FOR SYSTEMMODEL 1

2.3.2 Systemmodel 2

Denne model beregner de potentielle miljøpåvirkninger i forbindelse med produktionen og nedgravningen af et nyt fjernvarmerør på en eksisterende placering. I systemet modelleres produktionen af et nyt fjernvarmerør, transporten til nedlægningsstedet og påfyldning af jord. På Figur 12 er systemgrænserne for modellen illustreret sammen med hovedprocesserne.

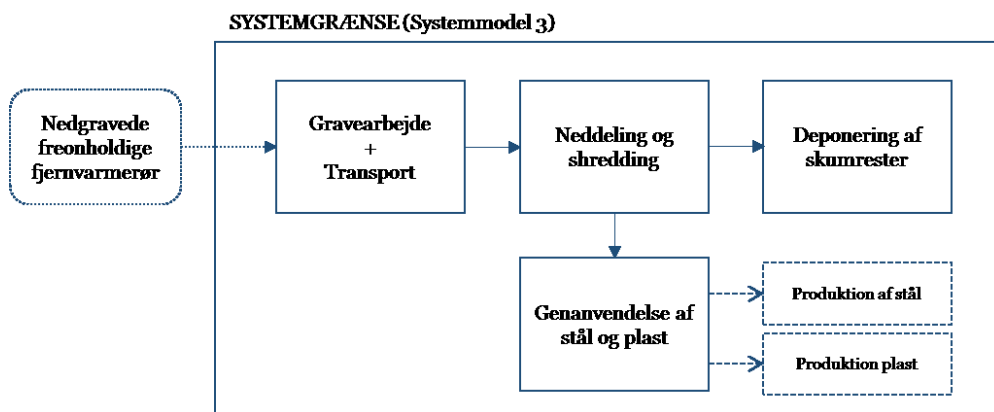
SYSTEMGRÆNSE (Systemmodel 2)



FIGUR 12 SYSTEMGRÆNSE SYSTEMMODEL 2

2.3.3 Systemmodel 3

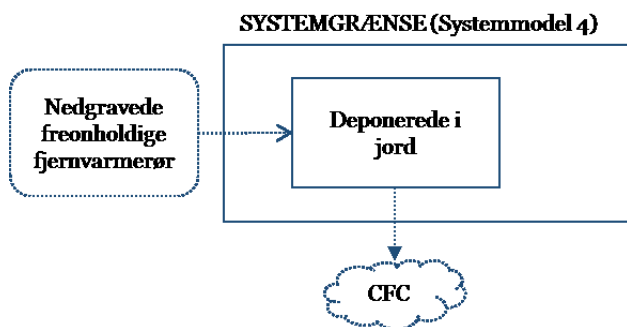
Denne model beregner de potentielle miljøpåvirkninger i forbindelse med opgravningen, transport og bortskaffelsen af et gammelt CFC-holdigt fjernvarmerør. I systemet modelleres opgravning, transport til behandlingssted, neddeling og shredding, deponi samt de substituerede processer for materialelegnanvendelse. På Figur 13 er systemgrænserne for modellen illustreret sammen med hovedprocesserne.



FIGUR 13 SYSTEMGRÆNSE FOR SYSTEMMODEL 3

2.3.4 Systemmodel 4

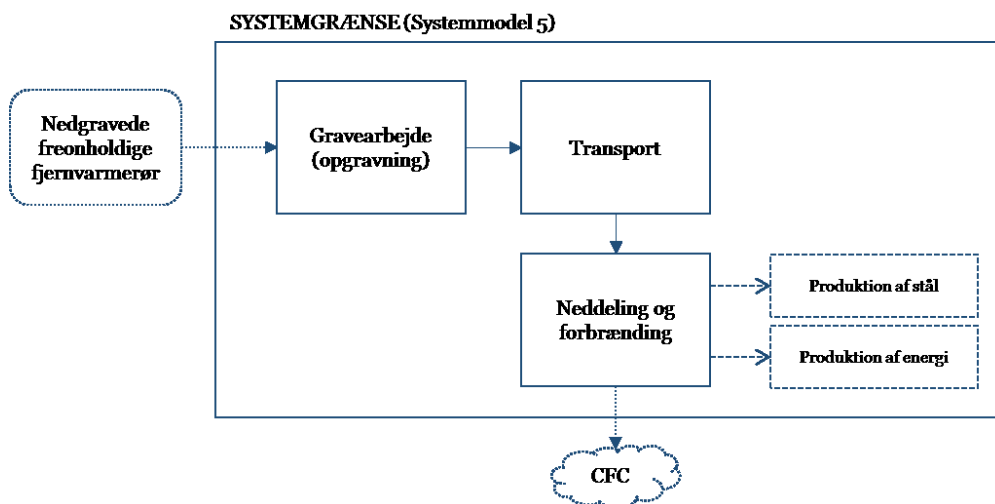
Denne model beregner de potentielle miljøpåvirkninger i forbindelse med gamle CFC-holdige fjernvarmerør i jorden. I systemet modelleres diffusionen af CFC-11-gasser. På Figur 14 er systemgrænserne for modellen illustreret sammen med hovedprocesserne.



FIGUR 14 SYSTEMGRÆNSE FOR SYSTEMMODEL 4

2.3.5 Systemmodel 5

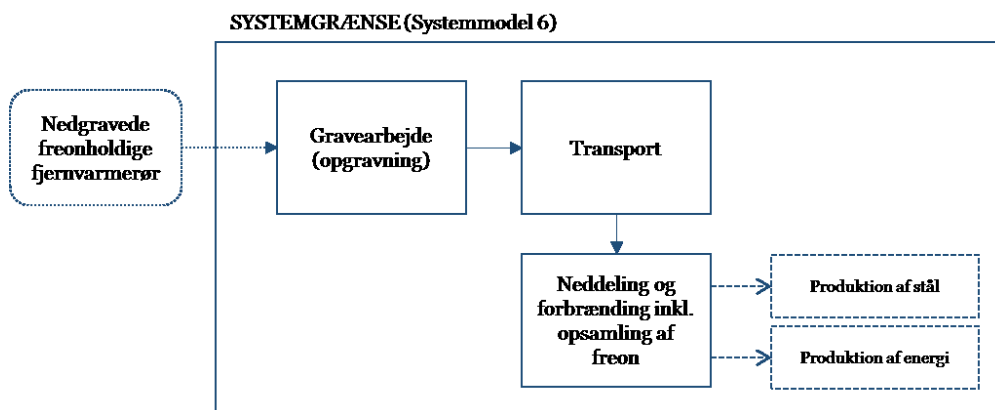
Denne model beregner de potentielle miljøpåvirkninger i forbindelse med opgravningen og bortskaffelsen af et gammelt CFC-holdigt fjernvarmerør ved forbrænding uden opsamling af freon. I systemet modelleres opgravning, transport til behandlingssted, neddeling og forbrænding samt de substituerede processer for materiale og energi. På Figur 15 er systemgrænserne for modellen illustreret sammen med hovedprocesserne.



FIGUR 15 SYSTEMGRÆNSE FOR SYSTEMMODEL 5

2.3.6 Systemmodel 6

Denne model beregner de potentielle miljøpåvirkninger i forbindelse med opgravningen og bortskaffelsen af et gammelt CFC-holdigt fjernvarmerør ved forbrænding med opsamling af freon. I systemet modelleres opgravning, transport til behandlingssted, neddeling og forbrænding samt de substituerede processer for materiale og energi. Til trods for at livscyklusvurderingen er baseret på en konsekvenstilgang, er miljøpåvirkningerne relateret til opførelsen af nye anlæg ikke medtaget i beregningerne. På Figur 16 er systemgrænserne for modellen illustreret sammen med hovedprocesserne.



FIGUR 16 SYSTEMGRÆNSE FOR SYSTEMMODEL 6

2.3.7 Anvendte LCI data

TABEL 5 OVERSIGT OVER ANVENDTE PROCESSER

Proces	Enhed	Værdi	Procesnavn	Database
Systemmodel 1				
Produktion af stålrør	[kg/kgFU]	0,751	<i>drawing of pipe, steel, RER</i>	Ecoinvent
Produktion af polyuretanskum (PUR)	[kg/kgFU]	0,103	<i>polyurethane production, rigid foam, RER</i>	Ecoinvent
Produktion af polyethylen (HDPE)	[kg/kgFU]	0,146	<i>polyethylene production, high density, granulate, RER</i>	EASETECH
Ekstrudering af PE-kappe	[MJ/kgFU]	0,19	<i>Electricity mix, EU-27, ELCD, 2002 - corrected</i>	EASETECH
Transport (rør til nedlægning)	[km]	100	<i>Road, Long haul truck, 25t, Generic, 2006</i>	EASETECH
Brændstofforbrug ved gravearbejde	[L/kgFU]	0,052	<i>Excavator, rubber tire, combustion 1L of diesel, 2003/2011</i>	EASETECH
Systemmodel 2				
Produktion af stålrør	[kg/kgFU]	0,751	<i>drawing of pipe, steel, RER</i>	Ecoinvent
Produktion af polyuretanskum (PUR)	[kg/kgFU]	0,103	<i>polyurethane production, rigid foam, RER</i>	Ecoinvent
Produktion af polyethylen (HDPE)	[kg/kgFU]	0,146	<i>polyethylene production, high density, granulate, RER</i>	EASETECH
Ekstrudering af PE-kappe	[MJ/kgFU]	0,19	<i>Electricity mix, EU-27, ELCD, 2002 - corrected</i>	EASETECH
Transport (rør til nedlægning)	[km]	100	<i>Road, Long haul truck, 25t, Generic, 2006</i>	EASETECH
Brændstofforbrug ved gravearbejde	[L/kgFU]	0,026	<i>Excavator, rubber tire,</i>	EASETECH

combustion 1L
of diesel,
2003/2011

Systemmodel 3

Brændstofforbrug ved gravearbejde	[L/kgFU]	0,026	Excavator, rubber tire, combustion 1L of diesel, 2003/2011	EASETECH
Transport (rør til bortskaffelse)	[km]	100	Road, Long haul truck, 25t, Generic, 2006	EASETECH
CFC-emission ved neddeling, shredding og deponering (100 %)	[kg/kgFU]	0,0134	Elementary exchange – Methane, trichlorofluoro, CFC-11	EASETECH
Deponering af skumrester	[kg/kgFU]	0,103	treatment of waste polyurethane, inert material landfill	Ecoinvent
Genanvendelse af plast, inkl. substitution af primær PE-HD	[kg/kgFU]	0,146	Plastic (PE) to granulate, DK, 2000	EASETECH
Genanvendelse af stål, inkl. substitution af primær stålproduktion	[kg/kgFU]	0,751	Shredding and reprocessing of steel scrap, Sweden, 2007	EASETECH

Systemmodel 4

Diffusion af CFC-11	[kg/kgFU]	1,006E-05	Elementary exchange – Methane, trichlorofluoro, CFC-11	EASETECH
---------------------	-----------	-----------	--	----------

Systemmodel 5

Brændstofforbrug ved gravearbejde	[L/kgFU]	0,026	Excavator, rubber tire, combustion 1L of diesel, 2003/2011	EASETECH
Transport (rør til bortskaffelse)	[km]	100	Road, Long haul truck, 25t, Generic, 2006	EASETECH
CFC-emission ved neddeling	[kg/kgFU]	0,00224	Elementary exchange – Methane,	EASETECH

			<i>trichlorofluoro, CFC-11</i>	
Affaldsforbrænding med energiproduktion, inkl. substitution af marginale teknologier: - Kulbaseret elektricitet - Fjernvarme, marginal gennemsnit			<i>Waste Incineration, generic, DK, 2012 - COPIED</i>	EASETECH
Genbrug af stål, inkl. substitution af primær stålproduktion			<i>Shredding and reprocessing of steel scrap, Sweden, 2007</i>	EASETECH
Systemmodel 6				
Brændstofforbrug ved gravearbejde	[L/kgFU]	0,026	<i>Excavator, rubber tire, combustion 1L of diesel, 2003/2011</i>	EASETECH
Transport (rør til bortskaffelse)	[km]	100	<i>Road, Long haul truck, 25t, Generic, 2006</i>	EASETECH
CFC-emission ved neddeling	[kg/kgFU]	0,000112	<i>Elementary exchange – Methane, trichlorofluoro, CFC-11</i>	EASETECH
Elforbrug til udsugning af CFC-11	[kWh/kgFU]	0,000214	<i>Electricity mix, 1-60kV, DK, ELCD, 2002 - corrected</i>	EASETECH
Affaldsforbrænding med energiproduktion, inkl. substitution af marginale teknologier: - Kulbaseret elektricitet - Fjernvarme, marginal gennemsnit			<i>Waste Incineration, generic, DK, 2012 - COPIED</i>	EASETECH
Genbrug af stål, inkl. substitution af primær stålproduktion			<i>Shredding and reprocessing of steel scrap, Sweden, 2007</i>	EASETECH

2.3.8 Energisubstitution og marginal elproduktion

I nærværende projekt er substitutionen af marginal energiproduktion indregnet ved brug af nedenstående processer fra EASETECH, i forskellige kombinationer, afhængig af hvilket scenarie/følsomhedsanalyse der behandles. I hovedscenarierne blev alle processer og teknologier modelleret med en kulbaseret marginal el-produktion frem til 2020 og en marginal el-produktion baseret på 50 % kulkraft og 50 % vindkraft fra 2020 frem til 2050:

- Marginal Electricity Consumption incl. Fuel Production, Coal, Energy Quality, DK, kWh, 2006
- District Heating, marginal average, (DK), kWh, 2012
- [NEEDS 2025] electricity, at offshore wind park 752MW, DK

3. Resultater af livscyklusvurderingen

På baggrund af metoden og forudsætningerne beskrevet i afsnittene 1 og 2, er basisscenariet samt de fire alternative scenarier for håndtering af CFC-holdige fjernvarmerør modelleret med LCA-værktøjet EASETECH. Heri er de samlede potentielle miljøpåvirkninger beregnet og resultaterne angivet i personækvivalenter (PE). En personækvivalent svarer til den gennemsnitlige årlige belastning relateret til én person beregnet for EU for alle kategorier.

I det følgende angives resultaterne ved hjælp af grafer, som kan opdeles på tre typer af miljøpåvirkninger:

- Potentielle ikke-toksiske miljøpåvirkninger, herunder klimaforandring, nedbrydelse af stratosfærisk ozon, fotokemisk ozondannelse, forsurening, eutrofiering og ferskvandseutrofiering. Resultaterne er fordelt på tre figurer, da værdierne varierer meget, hvilket besværliggør en overskuelig gengivelse af resultaterne på én figur.
- Potentielle toksiske miljøpåvirkninger, herunder humantoksicitet, cancereffekter; humantoksicitet, ikke-cancereffekter; økotoksicitet og partikler
- Forbrug af abiotiske ressourcer, herunder udtynding af abiotiske ressourcer som henholdsvis fossile ressourcer og grundstoffer.

Ud over opdelingen af resultaterne på de tre ovenstående typer af miljøpåvirkninger, er nærværende resultatafsnit også opdelt i to afsnit. Afsnit 3.1 behandler de samlede miljøpåvirkninger for de fem scenarier (0, 1, 2, 3A og 3B) som normaliserede værdier. Ud fra disse resultater kan de fem scenarier rangordnes i forhold til hinanden, og dermed give en indikation af hvordan Freonholdige fjernvarmerør håndteres bedst, ud fra en miljømæssig betragtning. I afsnit 3.2 detaljeres scenarierne yderligere, og resultaterne opgives nu fordelt på de enkelte processer der indgår i hvert scenarie. Dette gøres for at give et mere nuanceret billede af hvor meget de enkelte processer bidrager til de forskellige miljøpåvirkningskategorier.

Som det ses på graferne i det efterfølgende, er de normaliserede resultater i de fleste påvirkningskategorier væsentligt højere end man er vant til at se i denne type livscyklusvurderinger. Dette skyldes, generelt for alle scenarierne, to ting; at den funktionelle enhed udgør en ganske stor masse (1 km rør på ca. 13 tons) samt at miljøpåvirkningerne er aggregeret over hele perioden på 36 år. Årsagen til de meget høje resultater for *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* skyldes, at der stort set ikke er andre bidrag til denne kategori i dag end diffusive tab af CFC'er og HCFC'er fra tekniske installationer. Derfor er disse meget høje i forhold til de andre påvirkningskategorier, hvor der er mange andre aktiviteter end behandlingen af gamle fjernvarmerør, der bidrager. Ydermere er resultaterne også påvirket af den direkte udledning af CFC-11 i de påvirkningskategorier hvor denne gas bidrager. Dette gælder kategorierne *klimaforandring*, hvor CFC-11 er en yderst potent drivhusgas, *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*, hvor den udledte mængde er meget stor i forhold til en personækvivalent (PE) samt *humantoksicitet, ikke-cancereffekter*.

3.1 Vurdering af de samlede potentielle miljøpåvirkninger

3.1.1 Ikke-toksiske miljøpåvirkninger

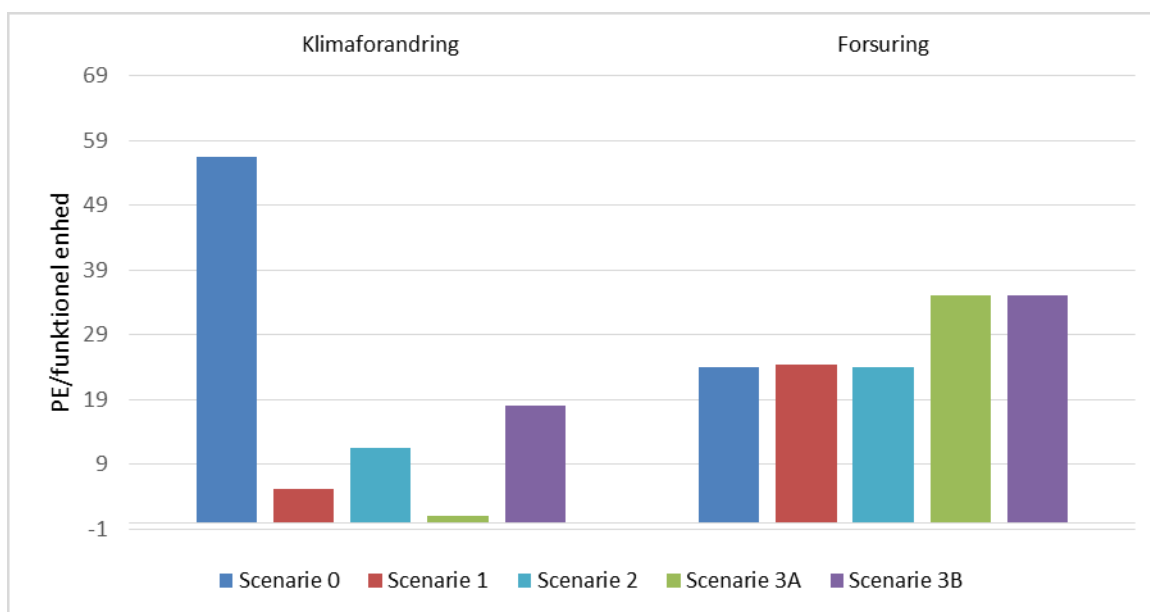
På Figur 17, Figur 18 og Figur 19 ses de samlede ikke-toksiske miljøpåvirkninger opgivet som personækvivalenter per funktionel enhed (1 km) for de fem scenarier.

Scenarie 0 beskriver referencesituationen og den praksis for håndtering af gamle fjernvarmerør som eksisterer i dag, hvor ca. 50 % af de udtjente rørstrækninger opgraves og bortskaffes ved shredding og deponering, og de resterende 50 % deponeres på eksisterende placering i jorden uden at være i brug. Det ses af figurerne, at referencescenariet ligger rigtig højt i de ikke-toksiske miljøpåvirkningskategorier *Klimaforandring*, *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* og *forsuring*. Til gengæld er resultaterne stort set ens for de fem scenarier i miljøpåvirkningskategorierne *ferskvandseutrofiering* og *eutrofiering*. Resultaterne diskuteres i detaljer i afsnit 3.2.

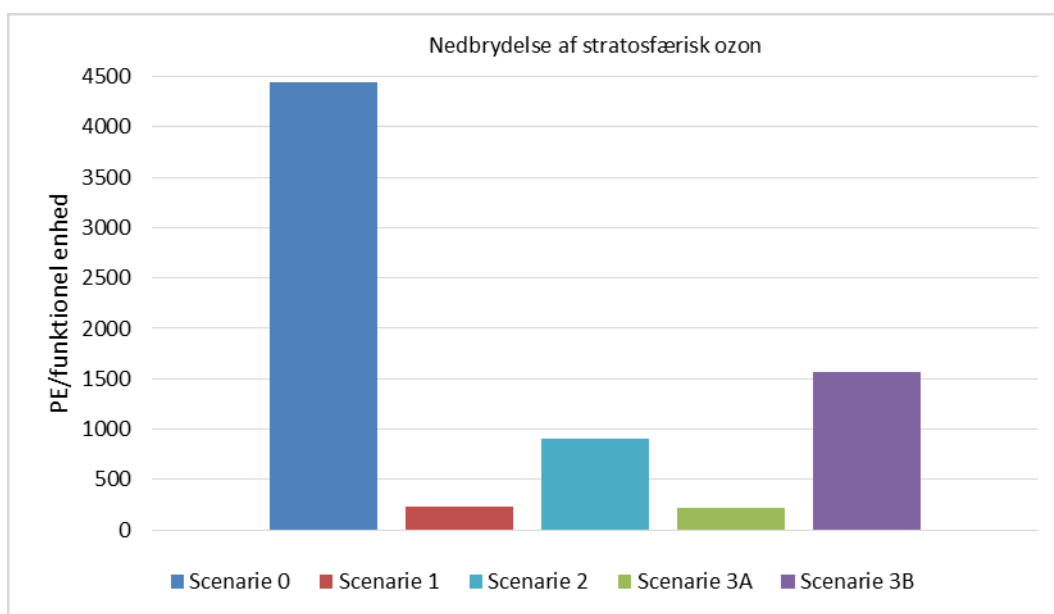
Scenarie 1 beskriver situationen hvor alle udtjente rørstrækninger deponeres på deres eksisterende placering i jorden uden at være i brug. Nye rør produceres og nedlægges på anden placering. Det ses af resultaterne, at denne metode til håndtering af de gamle freonholdige fjernvarmerør er en udmærket metode, set ud fra en samlet miljømæssig betragtning, da dette scenarie har nogle af de laveste resultater, og dermed laveste påvirkninger af miljøet. Både i kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* og *klimaforandring* har scenarie 1 den næstlaveste værdi. I forhold til beskyttelse af ozonlaget, er det altså en udmærket metode at deponere alle rørene i jorden, i stedet for at fortsætte normal bortskaffelsespraksis og også gunstigt i forhold til at grave alle rørene op uden at tage hensyn til opsamling af freon i forbindelse med bortskaffelsesprocessen (scenarie 3B).

Scenarie 2 beskriver situationen magen til scenarie 0, men hvor de opgravede rør i stedet neddeles i stykker á 30 cm og derefter sendes til forbrænding. Slaggen sendes til en sorteringsvirksomhed, som udsorterer og genanvender stålet. I forhold til udledning af CFC og dermed påvirkning af *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*, er denne metode til håndtering af freonholdige rør bedre end den nuværende praksis med shredding og deponi. Derimod vil det give mindre miljøpåvirkninger at lade alle rør blive i jorden (scenarie 1) eller grave alle rør op til forbrænding med opsamling af freon.

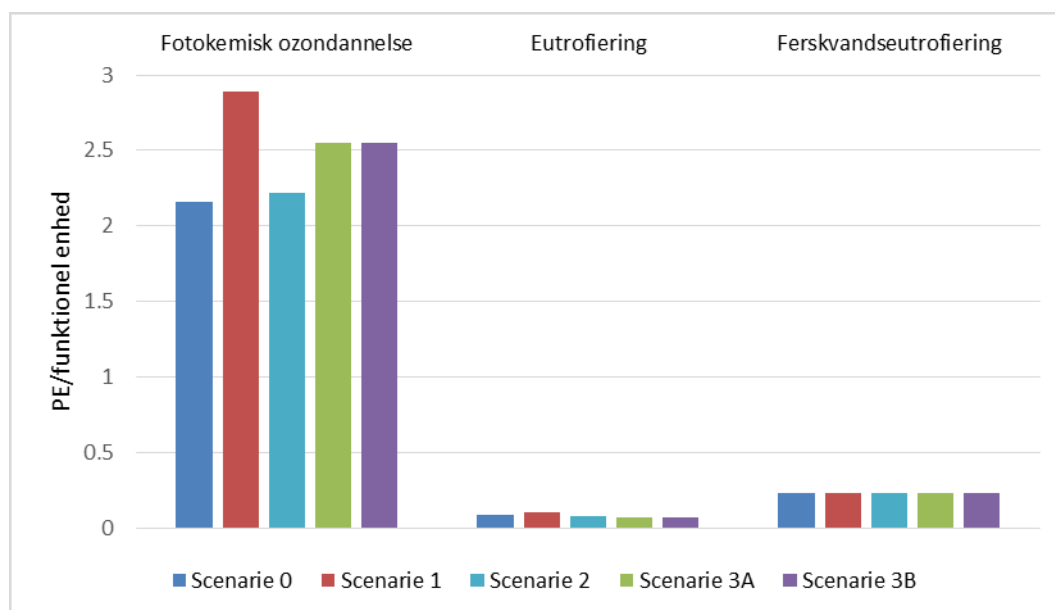
Scenarierne 3A og 3B beskriver situationen hvor alle rørstrækninger graves op og bortskaffes ved neddeling og forbrænding. I scenarie 3A tages særligt hensyn til opsamling af CFC-gasserne fra isoleringsskummet og i scenarie 3B gøres ikke. Det ses af resultaterne, at disse to scenarier kun afviger fra hinanden i kategorierne *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* samt *klimaforandring*. I alle de andre ikke-toksiske kategorier har de to scenarier samme resultater. Specielt i kategorien *klimaforandring* bemærkes det, at scenarie 3A har en væsentlig lavere påvirkning end de andre scenarier.



FIGUR 17 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER [PE/FUNKTIONEL ENHED]



FIGUR 18 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER [PE/FUNKTIONEL ENHED]



FIGUR 19 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER [PE/FUNKTIONEL ENHED]

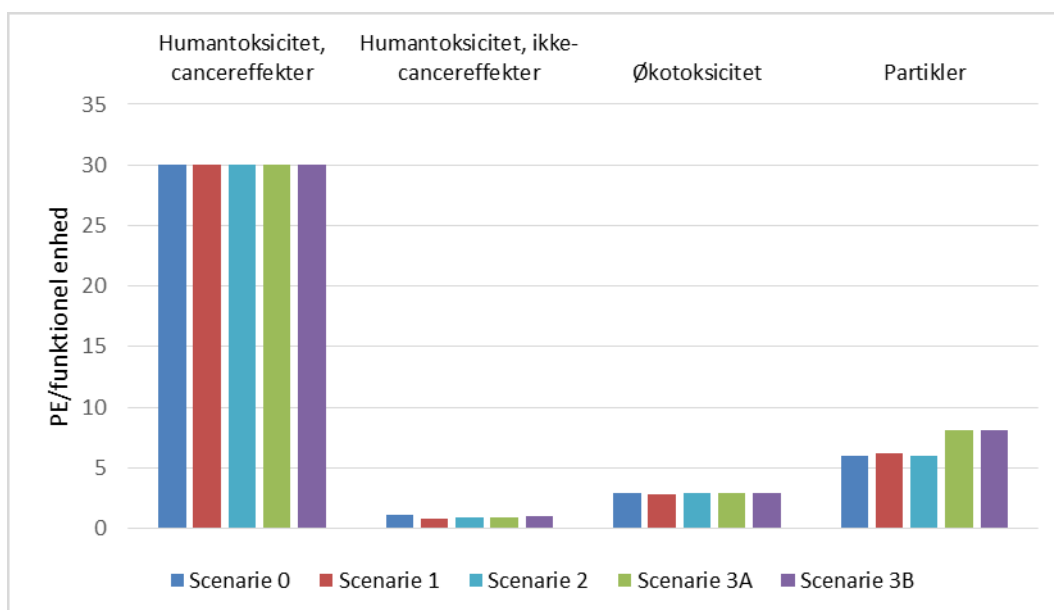
3.1.2 Toksiske miljøpåvirkninger og forbrug af abiotiske ressourcer

På Figur 20 og Figur 21 er resultaterne for de toksiske miljøpåvirkninger og udtynding af abiotiske ressourcer angivet. Som det ses, er der kun ganske små variationer mellem de forskellige scenarier, hvilket indikerer, at disse påvirkninger stammer fra rørproduktionen og gravearbejdet, som indgår i alle scenarierne. Dette er uddybet nærmere i afsnit 3.2.

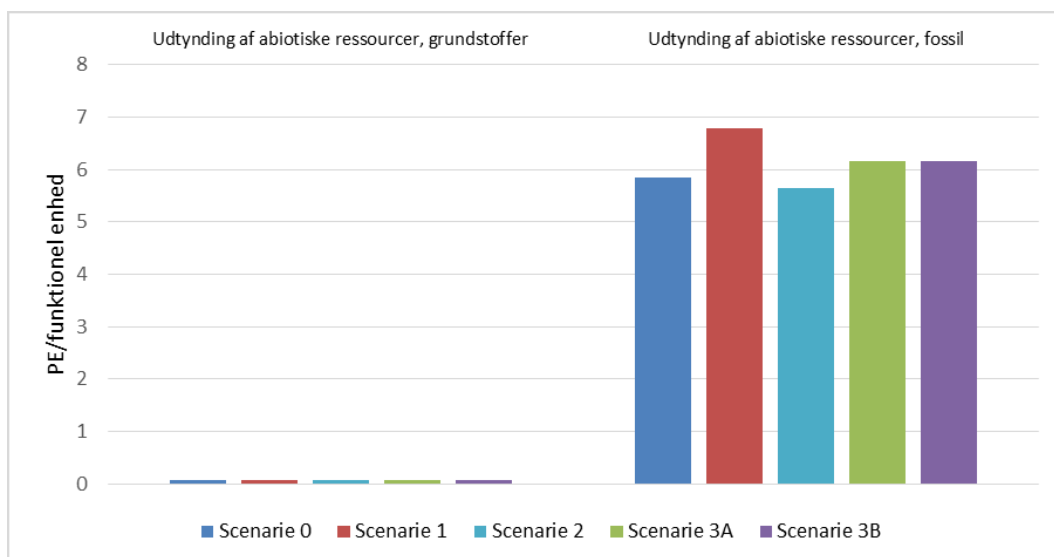
Der gøres særligt opmærksom på, at resultaterne for de ikke-toksiske påvirkningskategorier bør tillægges mere vægt end de toksiske påvirkningskategorier. Dette skyldes at der er generel konsensus om beregningsmetoderne for drivhuseffekt, forsuring etc., samt det forhold, at datagrundlaget for at vurdere toksicitet er væsentligt mere usikkert. I nærværende projekt er modellen USETox anvendt til beregning af de toksiske miljøpåvirkninger. Denne repræsenterer en "konsensusmodel" blandt LCA-eksperter, men der er stadig stor usikkerhed forbundet med disse påvirkningskategorier, og der gøres opmærksom på, at de toksiske miljøpåvirkninger skal udvise større forskel i forhold til de ikke-toksiske miljøpåvirkningskategorier, før man kan konkludere på signifikante forskelle mellem scenarier.

Ligeledes skal der gøres opmærksom på, at resultaterne i de toksiske påvirkningskategorier, ligesom de ikke-toksiske kategorier og udtynding af abiotiske ressourcer, er opgjort som de samlede udledninger over 36 år.

I kategorien *udtynding af abiotiske fossile ressourcer* ses, at scenarie 1 har en større påvirkning end de andre scenarier, samt at de to scenarier hvor alle rør graves op har et større bidrag end i referencescenariet. Dette skyldes primært det større gravearbejde, men også de forskellige mængder af rør der går til forbrænding, og dermed producerer strøm, varme og stål til genanvendelse.



FIGUR 20 TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER [PE/FUNKTIONEL ENHED]



FIGUR 21 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER [PE/FUNKTIONEL ENHED]

I Tabel 6 er de ikke-normaliserede resultater angivet for hvert af de fem scenarier.

TABEL 6 KARAKTERISEREDE RESULTATER (IKKE-NORMALISEREDE)

Påvirkningskategori	Enhed	Scenarie 0	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3A	Scenarie 3B
Klimaforandring	kg CO ₂ -Eq	4.37E+05	3.99E+04	8.93E+04	8.27E+03	1.40E+05
Nedbrydelse af stratosfærisk ozon	kg CFC-11-Eq	9.10E+01	4.71E+00	1.84E+01	4.49E+00	3.22E+01
Fotokemisk ozondannelse	kg NMVOC	1.14E+02	1.53E+02	1.17E+02	1.35E+02	1.35E+02
Forsuring	kg SO ₂ -Eq	1.19E+03	1.21E+03	1.19E+03	1.75E+03	1.75E+03
Eutrofiering	kg NO _x -Eq	3.11E+01	3.81E+01	2.76E+01	2.48E+01	2.48E+01
Ferskvandseutrofiering	kg P-Eq	2.23E-01	2.23E-01	2.23E-01	2.23E-01	2.23E-01
Udtynding af abiotiske ressourcer, grundstoffer	kg antimon-Eq	1.70E-02	1.70E-02	1.70E-02	1.70E-02	1.70E-02
Humantoksicitet, cancereffekter	CTU	9.76E-04	9.76E-04	9.76E-04	9.75E-04	9.75E-04
Humantoksicitet, ikke-cancereffekter	CTU	9.27E-04	6.86E-04	7.45E-04	7.57E-04	8.06E-04
Økotoksicitet	CTU	1.46E+04	1.44E+04	1.46E+04	1.48E+04	1.48E+04
Udtynding af abiotiske ressourcer, fossil	MJ	4.71E+05	5.46E+05	4.55E+05	4.97E+05	4.97E+05
Partikler	kg PM _{2.5} -Eq	2.81E+01	2.92E+01	2.84E+01	3.80E+01	3.80E+01

3.1.3 Konklusioner omkring potentielle miljøpåvirkninger

- De normaliserede resultater er væsentligt højere end man er vant til at se i denne type livscyklusvurderinger, hvilket skyldes, at den funktionelle enhed udgør en ganske stor masse (ca. 13 tons) samt at miljøpåvirkningerne er aggregeret over hele perioden på 36 år.
- Særligt i kategorierne *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* er de normaliserede resultater påvirket af den direkte udledning af CFC-11, da CFC-11 er en yderst potent drivhusgas samt en gas, der bidrager til stratosfæriske ozonnedbrydning. Derudover er den udledte mængde meget stor i forhold til personækvivalenten (PE), da der med udfasningen af CFC-gasser med Montreal Protokollen i 1995 skete et kraftig fald i udledningen, og dermed et fald i personækvivalenten for CFC.
- Referencescenariet (scenarie 0) ligger rigtig højt i de ikke-toksiske miljøpåvirkningskategorier *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Til gengæld er resultaterne stort set ens for de fem scenarier i miljøpåvirkningskategorierne *forsuring*, *ferskvandseutrofiering* og *eutrofiering*.
- Scenarie 1 har bortset fra scenarie 3A de laveste resultater, og dermed laveste påvirkninger af miljøet. Både i kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* og *klimaforandring* har scenarie 1 den næstlaveste værdi, og er således bedre end at fortsætte normal bortskaffelsespraksis eller at grave alle rørene op uden at tage hensyn til opsamling af freon i forbindelse med bortskaffelsesprocessen (scenarie 3B). Tidsrammen frem til år 2050 influerer på resultatet af dette scenarie, da man over tid kan antage, at alt CFC-11 vil diffundere ud gennem rørene i jorden. Der er desuden nogen usikkerhed ved fastlæggelsen

af diffusionsraten.

- Scenarie 3A og 3B afviger kun fra hinanden i kategorierne *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* samt *klimaforandring*. I alle de andre ikke-toksiske kategorier har de to scenarier samme resultater. Specielt i kategorien *klimaforandring* bemærkes det, at scenarie 3A har en væsentlig lavere påvirkning.
- Der er kun ganske små variationer mellem de forskellige scenarier i de toksiske miljøpåvirkninger. Derudover ska det også her bemærkes, at resultaterne for de ikke-toksiske påvirkningskategorier bør tillægges mere vægt end de toksiske påvirkningskategorier.
- Der er kun ganske små variationer mellem de forskellige scenarier i udtynding af abiotiske ressourcer, hvilket indikerer, at disse påvirkninger stammer fra en enkelt proces som indgår i alle scenarierne. Dog registreres betydningen af energiudnyttelse og genanvendelse af stål, hvorfor det giver en større miljøpåvirkning at lade rørene blive i jorden, end at grave dem op, neddele og forbrænde.

3.2 Vurdering af miljøpåvirkninger fordelt på processer

I det følgende detaljeres resultaterne for hvert af de fem scenarier ved, at resultaterne i hver miljøpåvirkningskategori opdeles i de processer der indgår i scenarierne.

For at illustrere resultaterne på en overskuelig måde, er disse vist med grafer, hvori de enkelte processers relative bidrag i hver påvirkningskategori er angivet. For at forstå størrelsen af påvirkningerne i de enkelte kategorier, relativt til de andre, refereres der til figurerne i 3.1. For at få overblik over alle delprocesser, er der i Tabel 7 vist de delprocesser, der indgår i de processer, som er angivet på graferne.

TABEL 7 DELPROCESSER

Proces	Delprocesser
Rørproduktion	Stålrør Stift polyuretanskum Polyethylen Elektricitet
Transport	Transport fra rørproduktion til nedlægning Transport fra opgravning til forbrændingsanlæg Transport fra forbrændingsanlæg til genanvendelse
Gravearbejde	Dieselforbrug
Neddeling	Udledning af CFC-11
Forbrænding	Emissioner fra forbrændingsanlæg Brug af hjælpestoffer Substitution af el Substitution af fjernvarme
Genanvendelse af stål	Emissioner fra genanvendelsesproces Brug af hjælpestoffer Substitution af stål
Genanvend. af stål og plast	Emissioner fra genanvendelsesproces Brug af hjælpestoffer Substitution af stål

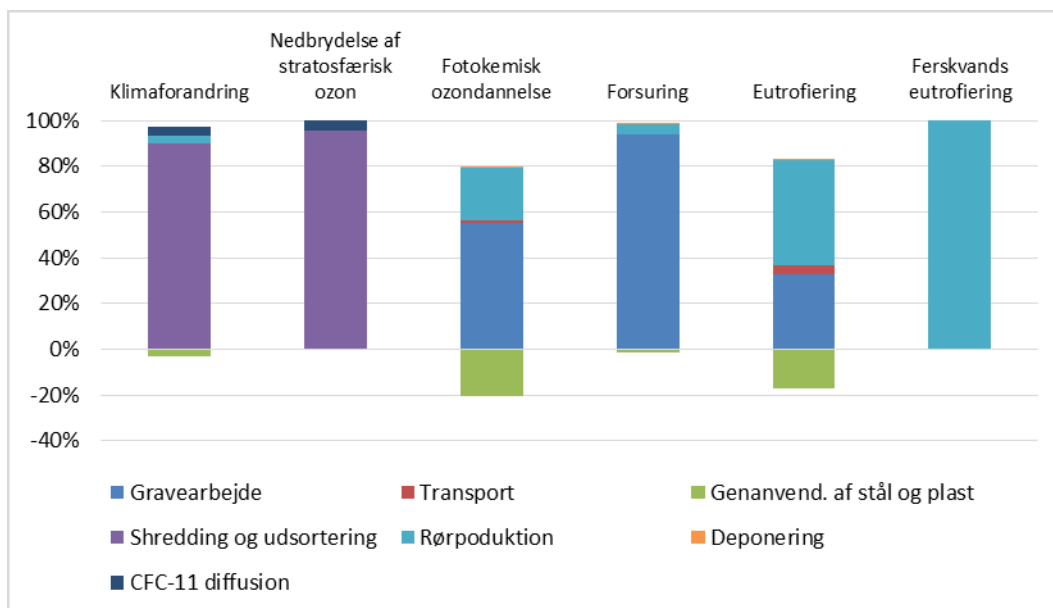
Deponering	Miljøpåvirkninger ved behandling af affalds-PUR på deponi
Shredding og udsortering	Udledning af CFC-11
CFC-11 diffusion	Diffusion af CFC-11 i jorden

3.2.1 Scenarie o

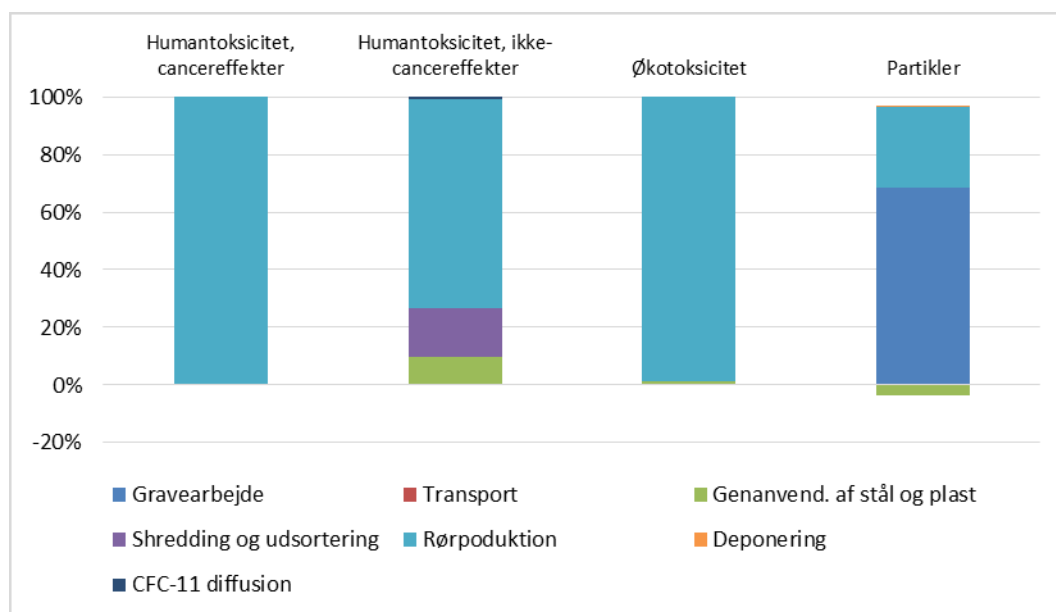
Figur 22 viser de potentielle ikke-toksiske miljøpåvirkninger for de delprocesser, der indgår i scenarie o, hvor opgravede rør shreds. Det ses at langt den største bidragsyder til kategorierne *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* netop er shredder-processen. Dette skyldes at alt isoleringsskummet ødelægges i denne proces, hvorved den freon, der ellers var bundet i skummets celledstruktur, frigives til atmosfæren. Dette skal også sammenholdes med resultaterne på Figur 17 og Figur 18, hvor man kan se de meget store værdier for scenarie o i de to miljøkategorier, og dermed hvor stor betydning det har, om isoleringsskummet holdes intakt eller ej.

Det ses ligeledes af figuren, at udsorteringen og genanvendelsen af stål og plast giver en lille miljøbesparelse i kategorien *klimaforandring*, om end den er ubetydelig i forhold til påvirkningerne fra udledning af CFC-11. Større betydning har denne genanvendelse til gengæld i kategorierne *fotokemisk ozondannelse* og *eutrofiering*.

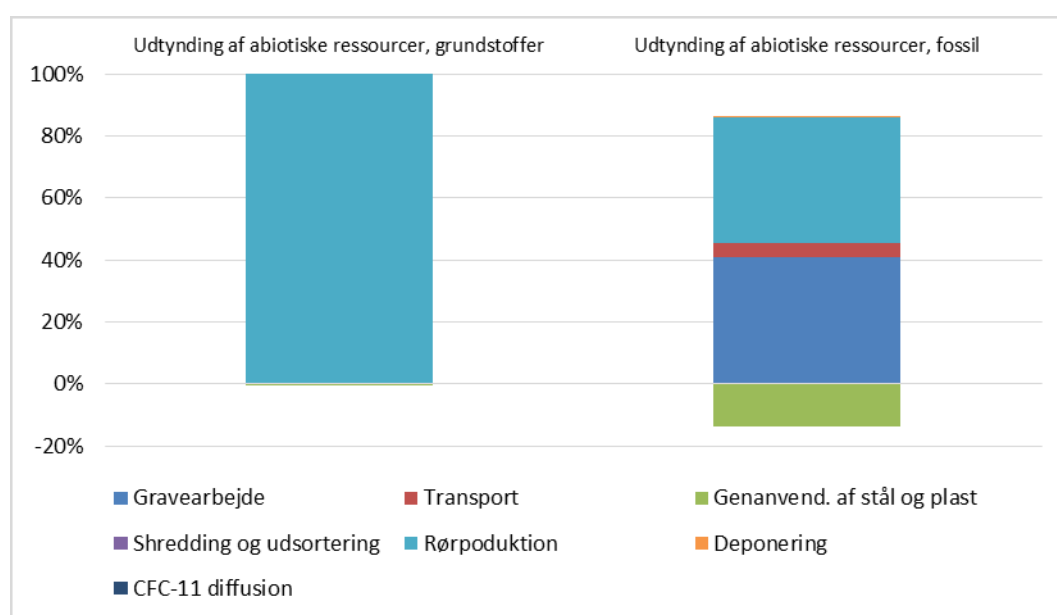
Kigges på de fire ikke-toksiske kategorier *fotokemisk ozondannelse*, *forsuring*, *eutrofiering* og *ferskvandseutrofiering* samt de fire toksiske kategorier på Figur 23, ses det hvorledes produktion og nedgravning af rørene er dominerende. Det samme gør sig gældende for de to kategorier for udtynding af abiotiske ressourcer, vist på Figur 24.



FIGUR 22 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER – DELPROCESSER I SCENARIO o



FIGUR 23 POTENTIELLE TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER – DELPROCESSER I SCENARIO 0



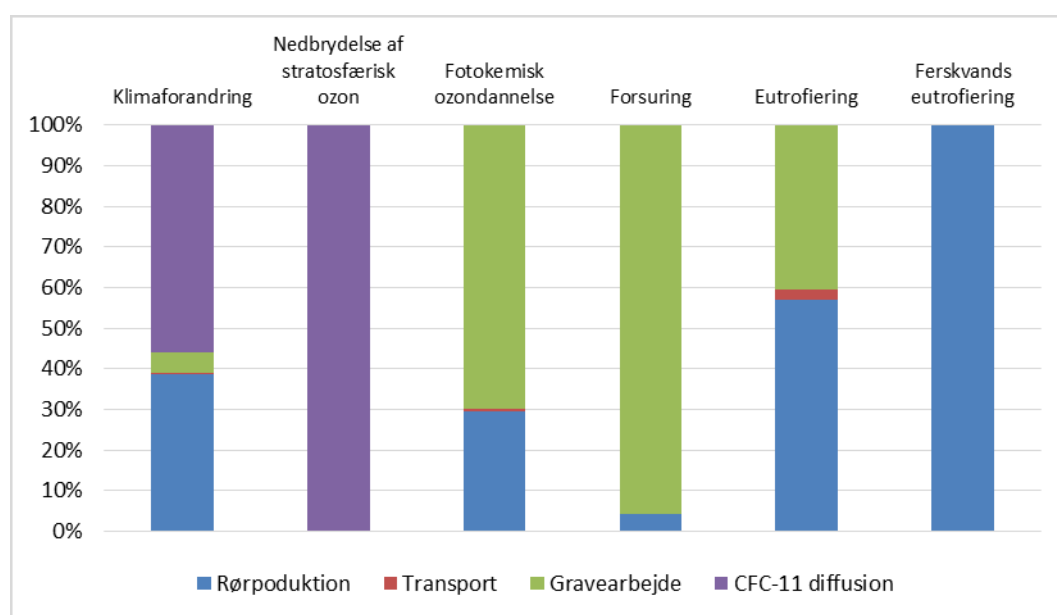
FIGUR 24 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER - DELPROCESSER I SCENARIO 0

3.2.2 Scenario 1

Figur 25 viser de enkelte delprocessers bidrag til de ikke-toksiske miljøpåvirkninger i scenario 1, hvor alle udtjente rørstrækninger deponeres i jorden. Det kan ses, at der nu ikke opnås nogen nettomiljøbesparelse idet ingen rør går til forbrænding inkl. energigenvinding og efterfølgende genanvendelse af stålet, hvormed ingen substituerede processer kan indregnes. Til gengæld undgås den relative store udledning af CFC-11 i forbindelse med shredderprocessen, som udgjorde det største bidrag i kategorierne *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* i referencescenariet (scenario 0), jf. Figur 17 og Figur 18. Dette betyder umiddelbart, at det i forhold til problematikkerne omkring håndtering af miljøskadelige CFC-gasser er bedst lade rørene blive i jorden, frem for at behandle dem efter eksisterende praksis.

Af Figur 25 ses det også, at diffusionen af CFC-11 nu udgør tæt på 100 % i kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Dette betyder rimeligvis, at det er vigtigt at forudsætningerne for denne proces er velbelyste. Som beskrevet i o er der dog stor usikkerhed omkring netop denne proces, hvor det er meget afhængigt af lokale forhold, hvorvidt, og hvor meget, af den diffunderede CFC-11 der udledes til atmosfæren, og dermed bidrager til *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Dog er de udledte mængder af CFC-11, som bidrager til *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*, betydeligt større end de resterende processers bidrag hertil, hvilket betyder, at selvom mængden i realiteten er mindre end antaget, vil denne emission stadig bidrage mest til denne kategori.

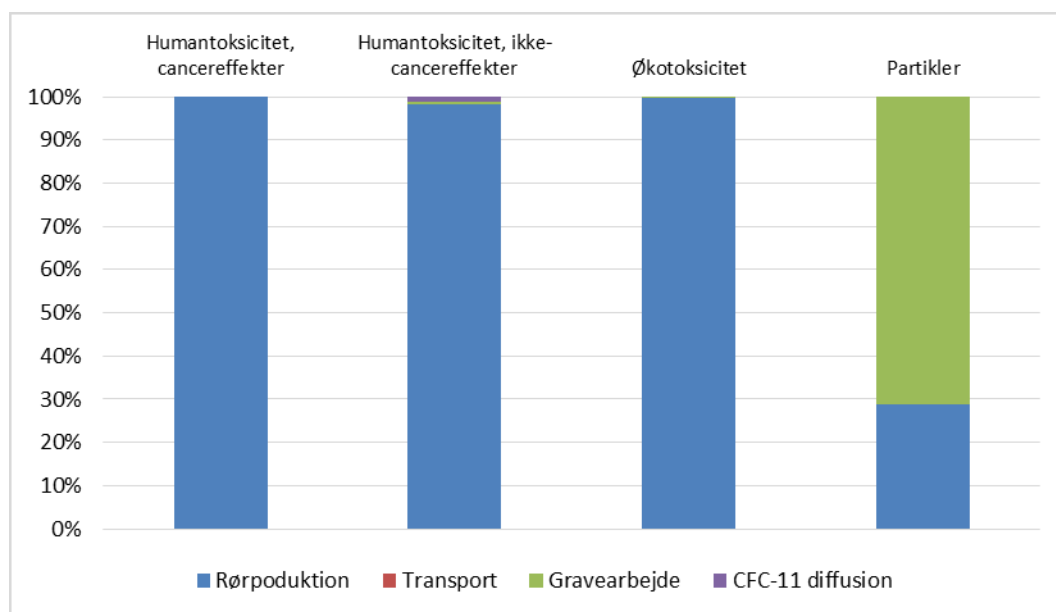
Det skal bemærkes, at transportprocesser erfaringsmæssigt bidrager meget lidt til de samlede resultater i LCA studier. Transporten er dog stadig medtaget i nærværende projekt for at give en vurdering af dens betydning. Alle transportprocesser er i alle scenarier modelleret med en afstand på 100 km. Som det ses af resultaterne i nærværende afsnit samt afsnit 3.2 kan transportprocessernes bidrag knapt registreres på figurene, hvilket umiddelbart bekræfter ovennævnte.



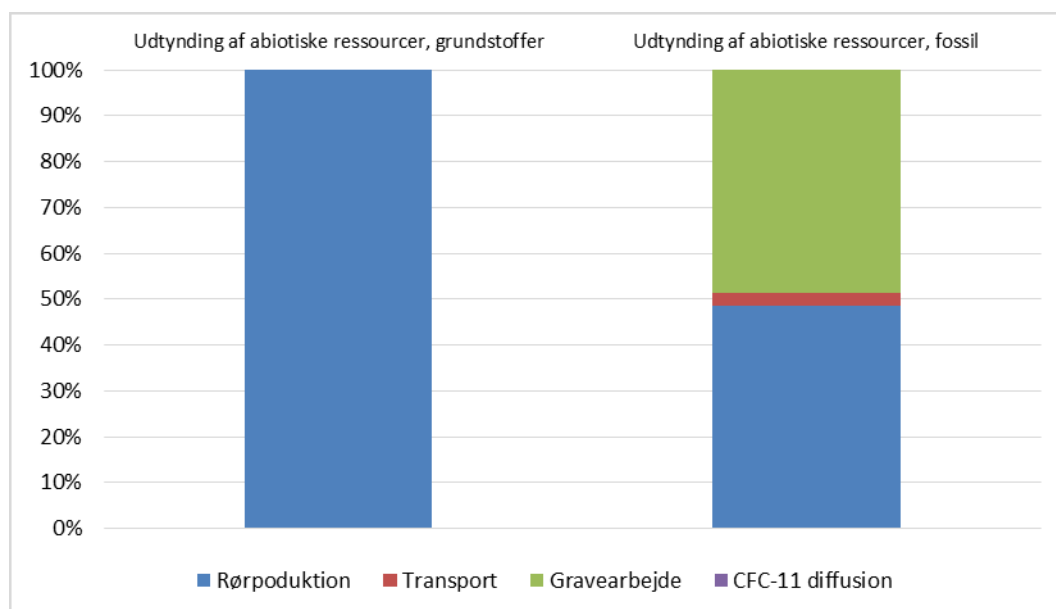
FIGUR 25 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER - DELPROCESSER I SCENARIO 1

Figur 26 viser resultaterne for de toksiske miljøpåvirkninger for scenarie 1. Her er billedet det samme som i scenarie 0, jf. Figur 23, hvor det stort set kun er rørproduktionen og forbrænding af diesel i forbindelse med gravearbejdet, der bidrager til disse kategorier.

Det samme gør sig gældende for udtynding af abiotiske ressourcer, både fossile og grundstofressourcer, som ses på Figur 27. Her er der igen næsten udelukkende bidrag fra rørproduktionen samt forbrændingen af diesel i forbindelse med gravearbejdet.



FIGUR 26 POTENTIELLE TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER - DELPROCESSER I SCENARIO 1



FIGUR 27 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER - DELPROCESSER FOR SCENARIO 1

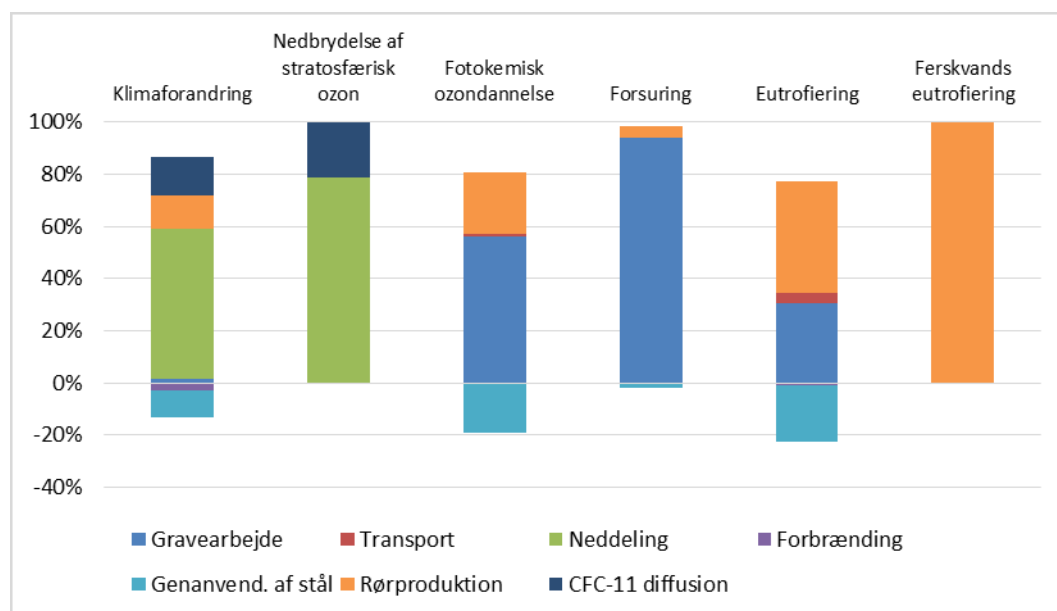
3.2.3 Scenarie 2

På Figur 28 ses de potentielle ikke-toksiske miljøpåvirkninger for scenarie 2, som beskriver situationen med forbrænding i stedet for shredding og deponi. Det ses tydeligt, hvor stor indflydelse neddelingen og CFC-emissionen har i de to påvirkningskategorier *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Disse store bidrag kommer altså henholdsvis fra neddelingen af fjernvarmerørene inden forbrænding, hvor en ganske betydelig mængde CFC-11 bliver frigivet til atmosfæren, men der er samtidig også et betydeligt bidrag fra den CFC-gas der diffunderer ud mens røret er i brug. Som nævnt tidligere er CFC-11 en yderst potent drivhusgas (ca. 4.700 gange kraftigere end CO₂), hvilket betyder, at der selv ved beskedne mængder ses et betydeligt bidrag til de samlede resultater.

I o er problematikken omkring fastsættelse diffusionsraten fra fjernvarmerørene diskuteret, hvor især CFC-gassens videre skæbne efter at være diffunderet ud gennem rørkappen er meget vanskelig at fastsætte. I nærværende rapport er det forudsat, at 30 % af den gas der diffunderer ud gennem røret finder sin vej til atmosfæren, og dermed bliver største bidrager til henholdsvis *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Det er i denne forbindelse vigtigt at pointere, hvor stor betydning disse forudsætninger for diffusionen altså har for de samlede resultater og konklusioner.

Som det også ses af Figur 28, er CFC-11 emissionen kun overgået af neddelingsprocessen hvad angår *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Dette betyder altså, at selvom forbrænding af fjernvarmerørene faktisk er den bedste tilgængelige metode til bortskaffelse af de Freonholdige fjernvarmerør, så frigives der stadig en relativ stor mængde freon til atmosfæren under neddelingen. Med relativ menes i denne forbindelse, at den udledte mængde CFC-11 udgør et stort relativt bidrag i de samlede resultater for *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* (jf. Figur 28). Det er her vigtigt at tilføje, at forbrændingen af de hele rørstumper som nævnt er en god bortskaffelsesmetode i forhold at destruere freon-gassen, og at langt størstedelen af den freonmængde som rørene indeholder, på denne måde bliver destrueret. Slutteligt kan det også konkluderes, at anvendelsen af en bortskaffelsesmetode hvor rørene shreds absolut ikke er at foretrække, da netop denne neddeling inden videre behandling, er den proces, der bidrager allermost til nedbrydelsen af stratosfærisk ozon, og da det er altafgørende at isoleringsskummets cellestruktur ikke ødelægges i "det fri", jf. scenarie o

Af Figur 28 ses det endvidere, at forbrændingsprocessen samt genanvendelsen af stål resulterer i nettomiljøbesparelser, altså numerisk negative værdier, i alle de potentielle ikke-toksiske miljøkategorier, om end de er meget små relative bidrag i *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*, *forsuring* og *ferskvandseutrofiering*. Disse miljøbesparelser kommer fra den undgåede produktion af henholdsvis strøm, varme og jomfrueligt stål, som er de substituerede teknologier i de to processer. Det ses også at forbrændingen af diesel i forbindelse med gravearbejdet er største bidrager i kategorierne *fotokemisk ozondannelse*, *forsuring* og *eutrofiering*.

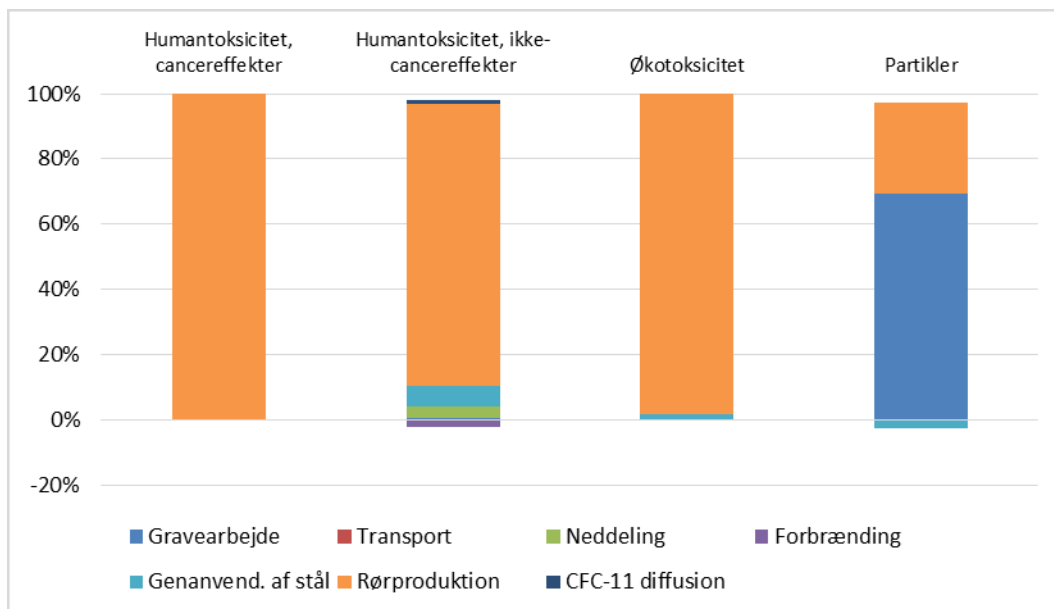


FIGUR 28 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER – DELPROCESSER I SCENARIO 2

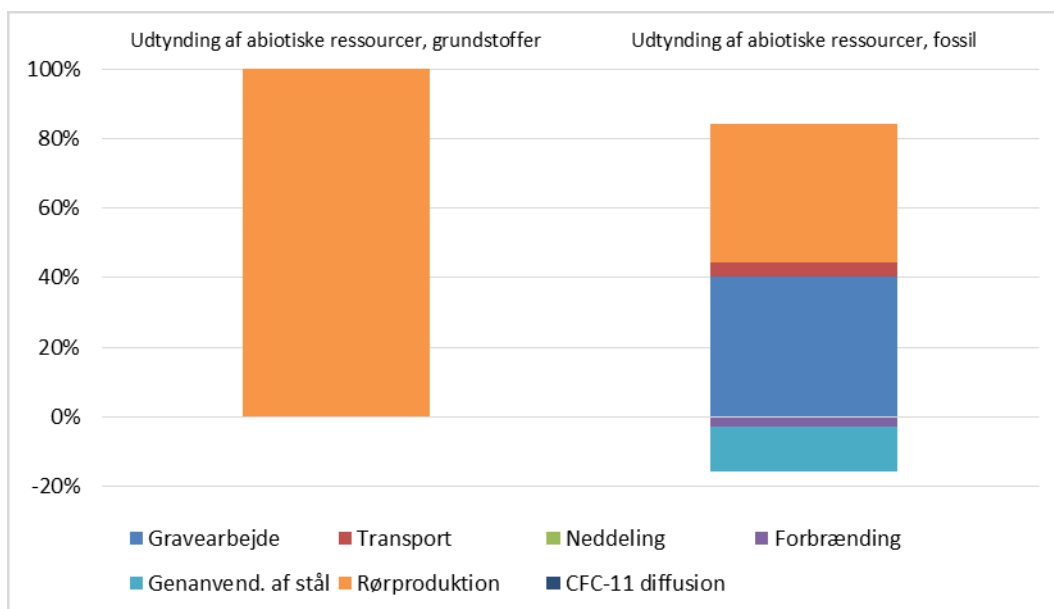
I de toksiske kategorier, jf. Figur 29, er det modsat de ikke-toksiske kategorier, primært rørproduktionen som udgør de største bidrag. Dette er dog med undtagelse af kategorien partikler,

hvor det er gravearbejdet der udgør det største bidrag. Figur 29 er således et godt billede på, at det primært er forbrændings- og produktionsprocesser, der er skyld i de toksiske miljøpåvirkninger.

Figur 30 viser, at det primært er gravearbejdet og produktionsprocesserne der er skyld i udtyndingen af abiotiske fossile ressourcer, samt at substitutionsprocesserne (forbrænding og genanvendelse af stål) giver en miljøbesparelse i denne kategori. I udtynding af grundstof ressourcer står rørproduktionen næsten for 100 %, men det skal samtidig ses i forhold til de relative små påvirkninger, jf. Figur 21.



FIGUR 29 POTENTIELLE TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER – DELPROCESSER I SCENARIO 2



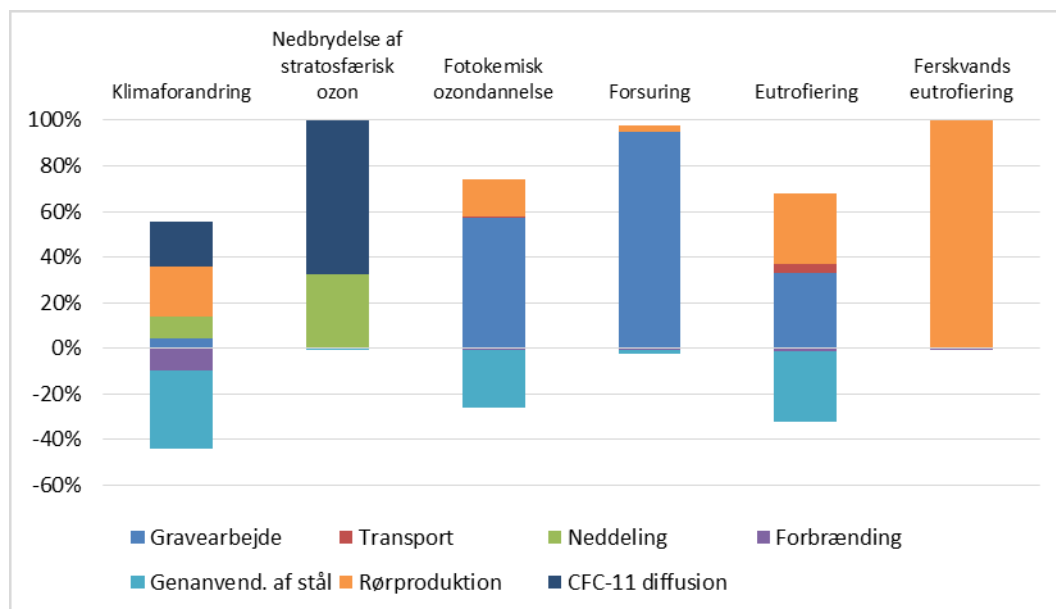
FIGUR 30 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER - DELPROCESSER I SCENARIO 2

3.2.4 Scenarie 3A (Opgravning med opsamling af CFC)

Figur 31 viser resultaterne for de ikke-toksiske miljøpåvirkninger i scenarie 3A, hvor alle udtjente rørstrækninger opgraves og behandles med særligt hensyn til opsamling af freon. Som det ses på Figur 17 og Figur 18 har dette scenarie en ganske lav påvirkning i kategorierne *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* i forhold til de andre scenarier, inklusive referencescenariet. Som det også er beskrevet i tidligere afsnit, så er den direkte udledning af CFC-11 langt den største bidrag til disse kategorier. Og netop af denne grund er dette scenarie det bedste, i forhold til problematikkerne omkring håndtering af miljøskadelige CFC-gasser, da netop denne direkte udledning både i forbindelse med diffusionen fra deponerede rør samt udledningen ved neddeling undgås.

I denne forbindelse skal det igen nævnes, at selve opsamlingen af freon i praksis ikke kan håndteres. Som det er beskrevet i 2.2.4, findes der i dag ikke nogle anlæg i Danmark der håndterer dette. Dog har det været sådan, at danske kølemøbler sendes til affaldsbehandling i Tyskland. Her opfanges CFC-11 og bindes i et aktivt kulfilter. Det har under nærværende projekt ikke været muligt at finde LCA-data til at understøtte beregning af sådan en proces for fjernvarmerør. Derfor er neddelingen med opsamlingen af freon modelleret som et udsugningsanlæg med et strømforbrug, hvorved den direkte udledning af CFC-11 undgås. Det vurderes, at det væsentligste i denne miljømæssige sammenhæng stadig er, hvorvidt der udledes CFC-11 til atmosfæren eller ej i forbindelse med bortskaffelsen. Jf. Figur 28, så vil miljøpåvirkningerne fra en denne proces udgøre en lille del, relativt til direkte udledninger af CFC-11.

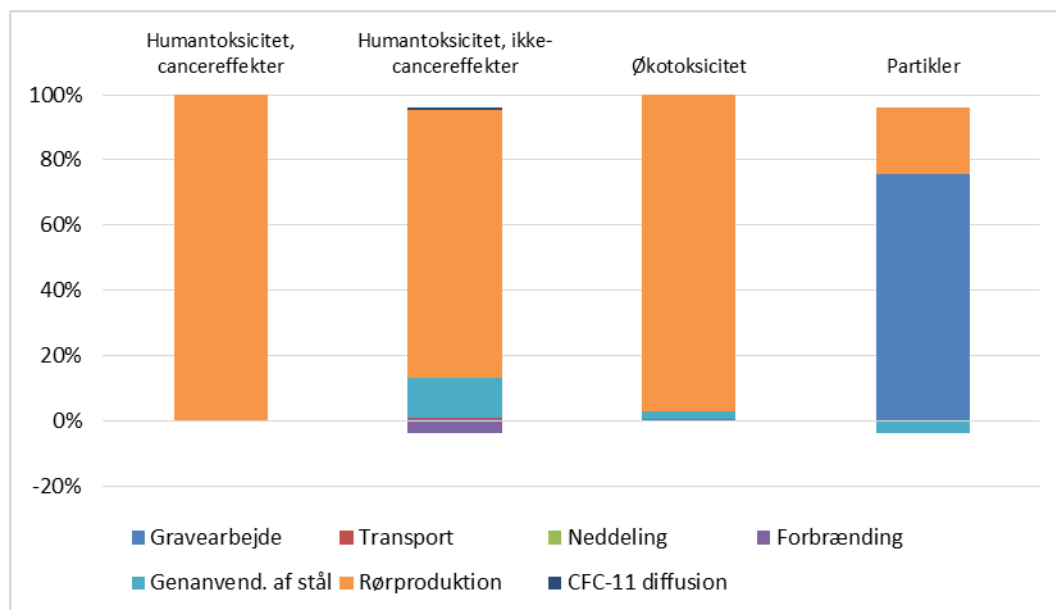
Det skal fremhæves at ovenstående udgør nogle overordnede betragtninger og sammenligninger omkring teknologier som det ikke har været muligt at modellere i detaljer. Dog fastholdes den overordnede konklusion om, at det ud fra en miljømæssig betragtning vil være mest fordelagtigt at opgrave alle udtjente rørstrækninger ved udskiftning og i forbindelse med bortskaffelsen sikre sig, at freon-gassen ikke undslipper, men opsamles.



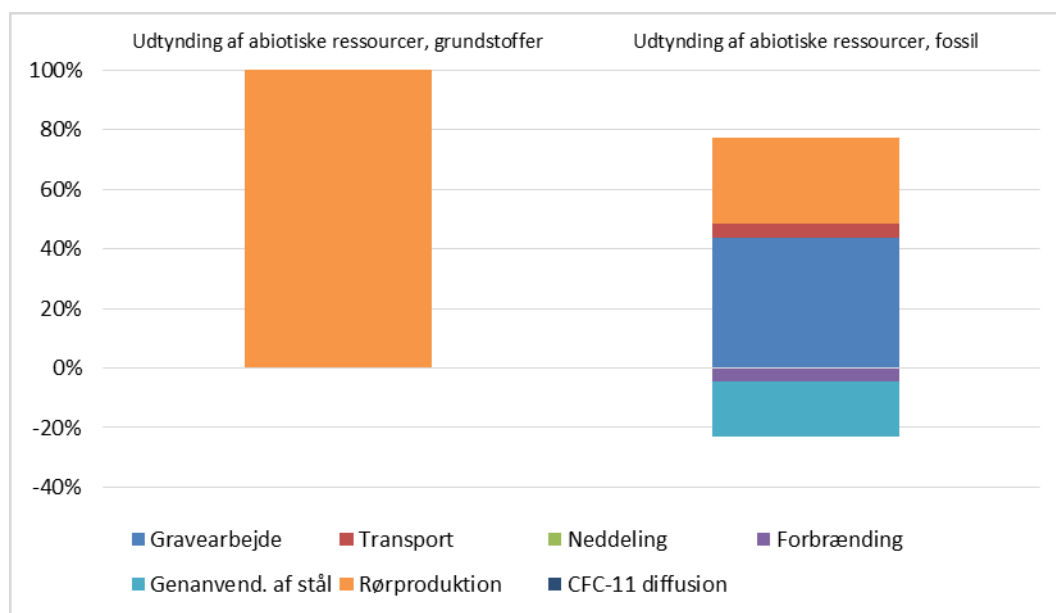
FIGUR 31 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER - DELPROCESSER I SCENARIO 3A

Figur 32 og Figur 33 viser de potentielle toksiske miljøpåvirkninger og udtynding af abiotiske ressourcer for scenarie 3A. Her er billedet det samme som i scenarie 1, dog med den undtagelse at forbrændings- og genanvendelsesprocesserne nu også bidrager, da de udtjente rørstrækninger alle graves op, bortskaffes og stålet genanvendes. Det ses, at forbrændingsprocessen, på grund af den substituerede energiproduktion, giver en nettomiljøbesparelse i kategorierne humantoksicitet, ikke-

cancereffekter samt udtynding af fossile abiotiske ressourcer. Genanvendelse af stålet giver derimod en miljøpåvirkning i kategorierne humantoksicitet, ikke-cancereffekter og økotoksicitet samt en nettomiljøbesparelse i kategorierne partikler og udtynding af fossile abiotiske ressourcer.



FIGUR 32 POTENTIELLE TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER - DELPROCESSER FOR SCENARIO 3A



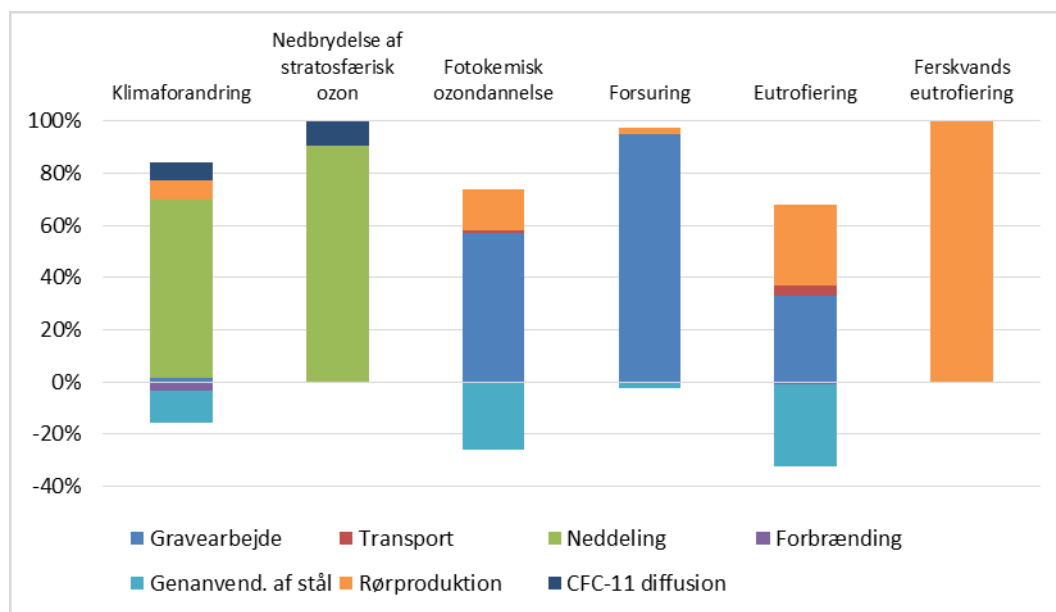
FIGUR 33 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER - DELPROCESSER FOR SCENARIO 3A

3.2.5 Scenario 3B (Opgravning uden opsamling af CFC)

Figur 34 viser resultaterne for de ikke-toksiske miljøpåvirkninger for scenario 3B, hvor alle udtjente rørstrækninger graves op og behandles ved neddeling og forbrænding af rør uden særligt hensyn til opsamling af freon. Som scenariet også indikerer, er resultaterne til dels lig scenario 2, blot med den forskel, at rørene ikke deponeres i jorden. Dette kan aflæses af resultaterne, idet CFC-11 emissionerne ikke er så høje som i scenario 2, da rørene ikke får lov at ligge så længe, med mindre diffusion til følge.

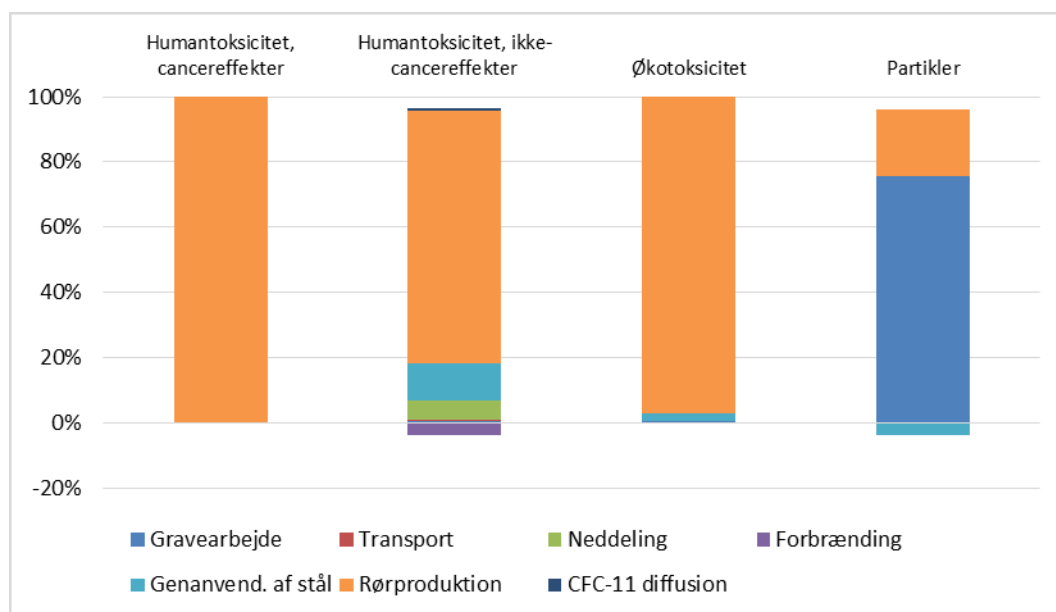
Det ses også, at neddelingen af rør nu igen spiller en stor rolle i kategorierne *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*, med de større påvirkninger end i nogle af de andre scenarier. Dette hænger naturligvis sammen med, at alle de udtjente rørstrækninger nu neddeles, hvorved den største mængde CFC-11 udledes til atmosfæren. Det skal også her nævnes, at forbrændingen af de hele rørstumper som nævnt er en god bortskaffelsesmetode i forhold at destruere freon-gassen, og at langt størstedelen af den freonmængde som rørene indeholder, på denne måde bliver destrueret.

På Figur 34 ses det ligeledes, at der også i dette scenarie opnås en nettomiljøbesparelse i alle kategorierne som følge af de substituerede processer i forbindelse med forbrændingen og genanvendelsen af stål.

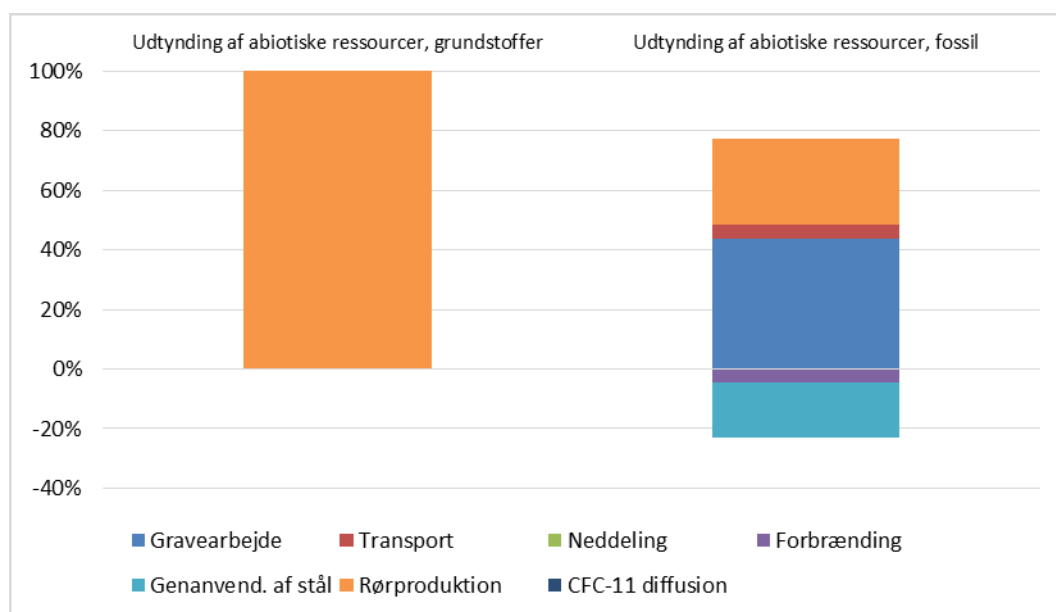


FIGUR 34 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER - DELPROCESSER FOR SCENARIO 3B

De potentielle toksiske miljøpåvirkninger og udtyndingen af abiotiske ressourcer er angivet på Figur 35 og Figur 36. Igen er det primært rørproduktionen og forbrændingen af diesel i forbindelse med gravearbejdet som bidrager mest i disse kategorier, og den relativt store udledning af CFC-11, som ikke forekommer i scenarie 3A, har altså ikke den store betydning. Det ses dog at neddelingen bidrager til kategorien *humantoksicitet, ikke-cancereffekter* med 0,019 PE, svarende til ca. 2 % af de samlede bidrag i denne kategori.



FIGUR 35 POTENTIELLE TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER - DELPROCESSER FOR SCENARIO 3B



FIGUR 36 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER - DELPROCESSER FOR SCENARIO 3B

3.2.6 Konklusioner omkring potentielle miljøpåvirkninger fordelt på processer

- I scenarie 0 ses det tydeligt hvor stor indflydelse udledningen af CFC-11 i forbindelse med shredding har i de to påvirkningskategorier *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*.
- Udsorteringen og genanvendelsen af stål og plast giver en lille miljøbesparelse i kategorien *klimaforandring*. Den er dog ubetydelig i forhold til påvirkningerne i denne kategori fra udledning af CFC-11.

- Miljøpåvirkninger fra produktion og nedgravning af rørene er dominerende i alle kategorier, undtaget klimaforandring og nedbrydelse af stratosfærisk ozon, hvor miljøpåvirkningerne skyldes freonemissioner.
- Der opnås ikke nogen nettomiljøbesparelse i scenarie 1 idet ingen rør går til forbrænding inkl. energigenvinding og efterfølgende genanvendelse af stålet, til gengæld undgås den relative store udledning af CFC-11 i forbindelse med neddelingsprocessen.
- Miljøpåvirkningen fra diffusionen af CFC-11 udgør tæt på 100 % i kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* i scenarie 1
- Transportprocessernes bidrag kan knapt registreres på figurerne, hvilket umiddelbart bekræfter at transportprocesser erfaringsmæssigt bidrager meget lidt til de samlede resultater i LCA studier.
- Neddelingen af rør i scenarie 2 og CFC-emissionen herfra har i de to påvirkningskategorier *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* stor relativ betydning. Men det skal bemærkes, at forbrænding er den bedst tilgængelige metode til destruktion af freon set i forhold til shredding, især hvis freon opsamles i forbindelse med neddelingen.
- Scenarie 3A har en ganske lav påvirkning i kategorierne *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* i forhold til de andre scenarier, inklusive referencescenariet som følge af at den direkte udledning af CFC-11 undgås.
- Ud fra en miljømæssig betragtning vil det være mest fordelagtigt at opgrave alle udtjente rørstrækninger og i forbindelse med bortskaffelsen sikre sig, at freon-gassen ikke undslipper, men opsamles.
- Scenarie 3B er til dels lig scenarie 2, blot med forskel, at rørene ikke deponeres i jorden. Dette kan aflæses af resultaterne, idet CFC-11 emissionerne ikke er så høje som scenarie 2, da rørene ikke får lov at ligge så længe med mindre diffusion til følge.
- I scenarie 3B spiller neddelingen af rør en stor rolle i kategorierne *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*, med de største påvirkninger end i nogle af de andre scenarier. Dette skyldes at rørene her graves op uden opsamling af freon.

4. Følsomhedsanalyser

Som alle livscyklusvurderinger, er nærværende LCA baseret på en række forudsætninger, estimater og forudsigelser om fremtidig teknologi- og markedsudvikling. Disse er baseret på bedst mulige tilgængelige data og information om teknologier og praksis, men er af natur behæftet med usikkerheder. For at teste resultaternes robusthed over for disse iboende usikkerheder i forudsætningerne er der gennemført en række følsomhedsanalyser, hvis primære formål er at dokumentere, at livscyklusvurderingens overordnede konklusioner samt scenariernes rangering ikke påvirkes.

Der er udvalgt følgende følsomhedsanalyser på baggrund af projektets formål, vurdering af usikkerheder samt resultaterne i afsnit 3.

1. Variation af diffusionsrate af CFC fra nedgravede rør, 1,0 %
2. Variation af diffusionsrate af CFC fra nedgravede rør, 0,1 %
3. Variation af CFC-udslip i forbindelse med neddeling af rør til forbrænding
4. Variation af fordeling af CFC-udslip til atmosfære og grundvand
5. Anvendelsen af 100 % kulkraft som brændsel til marginal el-produktion
6. Anvendelsen af 100 % vindkraft som marginal el-produktion efter 2020

Variation af diffusionsrate af CFC fra nedgravede rør.

Fokus i nærværende projekt er på emissioner af CFC-gasser til atmosfæren, herunder hvilken risiko det udgør for miljøet, at lade CFC-holdige fjernvarmerør blive liggende i jorden. Som beskrevet i afsnit 0 er det konklusionen, at freon-gasserne diffunderer meget langsomt ud gennem isoleringsskummets cellestruktur og den ydre plastkappe. Dette bakkes samtidig op af de cellegasprøver, der blev gennemført på Teknologisk Institut. Det er i nærværende projekt forudsat, at diffusionsraten af CFC-11, der udledes i atmosfæren per år er 30 % af de samlede 0,25 %, der diffunderer ud gennem røret. Da dette dog er et centralt fokuspunkt i projektet, og da der stadig er usikkerhed omkring diffusionsraten, samt hvad der sker med den freon der undslipper, er det valgt at analysere freonemissionens indflydelse på resultaterne nærmere, ved at ændre diffusionsraten.

Variation af CFC-udslip i forbindelse med neddeling af rør til forbrænding

I forlængelse af ovenstående undersøges også resultaternes påvirkning, som følge af variationer i mængden af CFC-gas der undslipper, når fjernvarmerørene neddeles til forbrænding. Det blev besluttet at vurdere på det dobbelte udslip under neddeling.

Variation af fordeling af diffunderet CFC til atmosfære og grundvand

Der er ikke enighed om hvorvidt CFC-gassen, der diffunderer ud gennem fjernvarmerørens plastkappe, ender i atmosfæren, ophobes i poreluften omkring røret eller udvaskes i grundvandet. Det er i basisforudsætningerne forudsat, at 30 % af den CFC-gas der diffunderer ud af røret indgår i beregningen af *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Det blev besluttet at beregne resultaterne, forudsat 100 % diffusion til atmosfæren, hvilket svarer til en årlig mængde på 0,439 kg/km.

Anvendelsen af andre brændsler til marginal energiproduktion

De sidste to følsomhedsanalyser ser på ændringer i modellering af det bagvedliggende energisystem i form af antagelser om teknologier, som benyttes til fremstilling af marginal elektricitet. I hovedscenariene blev alle processer og teknologier modelleret med en kulbaseret marginal el-

produktion frem til 2020 og en marginal el-produktion baseret på 50 % kulkraft og 50 % vindkraft fra 2020 frem til 2050. Det blev besluttet at teste miljøvurderingerne ved at antage henholdsvis en 100 % kulkraftsbaseret marginal frem til 2050 og en 100 % vindkraftsbaseret marginal fra 2020 til 2050.

I Tabel 8 er givet en oversigt over forudsætningerne for de gennemførte følsomhedsanalyser:

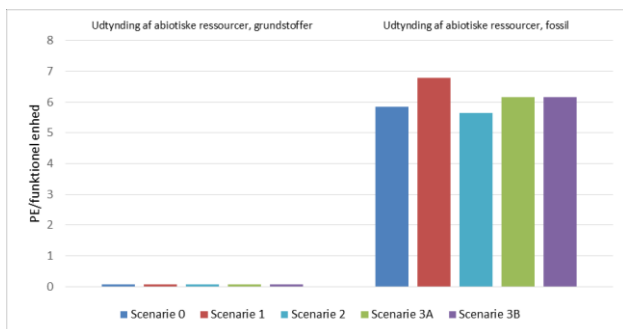
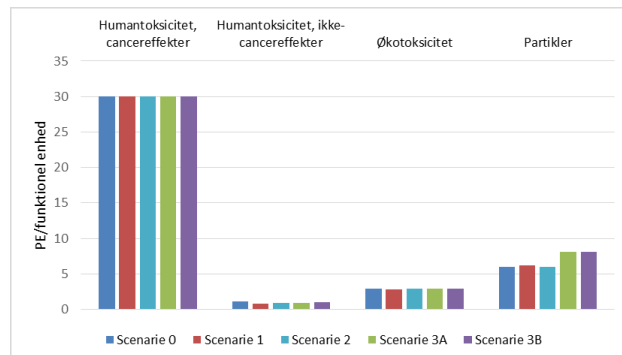
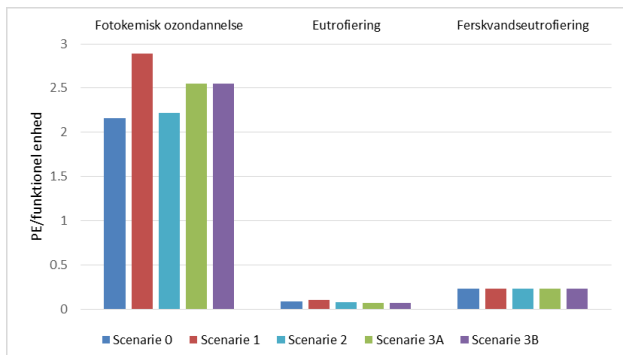
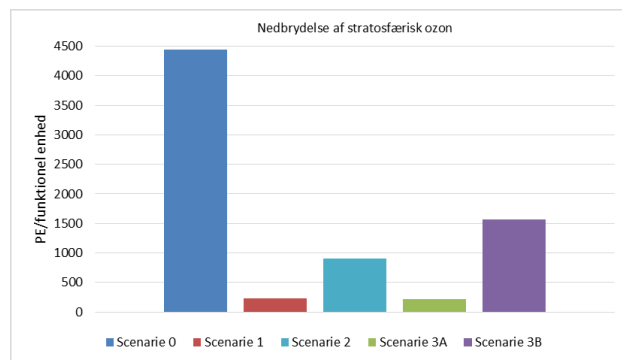
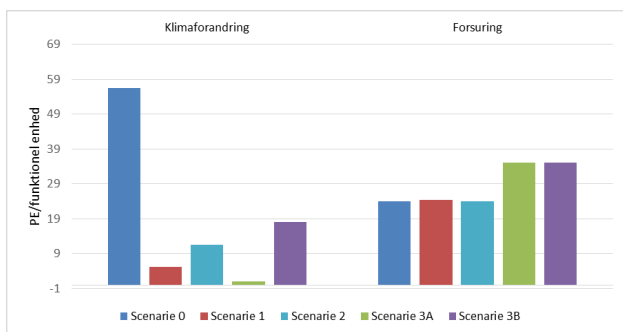
TABEL 8 FORUDSÆTNINGER FOR FØLSOMHEDSANALYSER

Følsomhedsanalyse	Oprindelige forudsætninger	Ændrede forudsætninger
Variation af diffusionsrate af CFC fra nedgravede rør	Diffusionsrate på 0,25 % p.a.	Diffusionsrate på 1,0 % p.a. Diffusionsrate på 0,1 % p.a.
Variation af CFC-udslip i forbindelse med neddeling af rør til forbrænding	Udslip fra 5 cm pr. klip	Udslip fra 10 cm pr. klip
Variation af fordeling af diffunderet CFC til atmosfære og grundvand	30 % af diffunderet CFC-11 til atmosfæren, 70 % til grundvandet	100 % af diffunderet CFC-11 til atmosfæren
Anvendelsen af 100 % kul som brændsel til marginal el-produktion indtil 2050	Marginal el produceres ved kondensdrift hovedsagelig med kul som brændsel indtil 2020. Fra 2020 til 2050 produceres marginal el som 50 % kul og 50 % vindkraft.	Marginal el med kul som brændsel indtil 2050
Anvendelsen af 100 % vindkraft til marginal el-produktion fra 2020 til 2050	Marginal el produceres ved kondensdrift hovedsagelig med kul som brændsel indtil 2020. Fra 2020 til 2050 produceres marginal el som 50 % kul og 50 % vindkraft	Marginal el-produktion fra vindkraft fra 2020 til 2050

4.1 Resultater

I de følgende afsnit vises resultaterne af følsomhedsanalyserne. Resultaterne er angivet på de samme typer grafer som i afsnit 3. Dog er de toksiske miljøpåvirkninger udeladt fordi disse varierer minimalt som følge af de valgte følsomhedsanalyser.

Resultaterne for basisscenariet er gengivet herunder for nemmere sammenligning med følsomhedsanalysernes resultater.



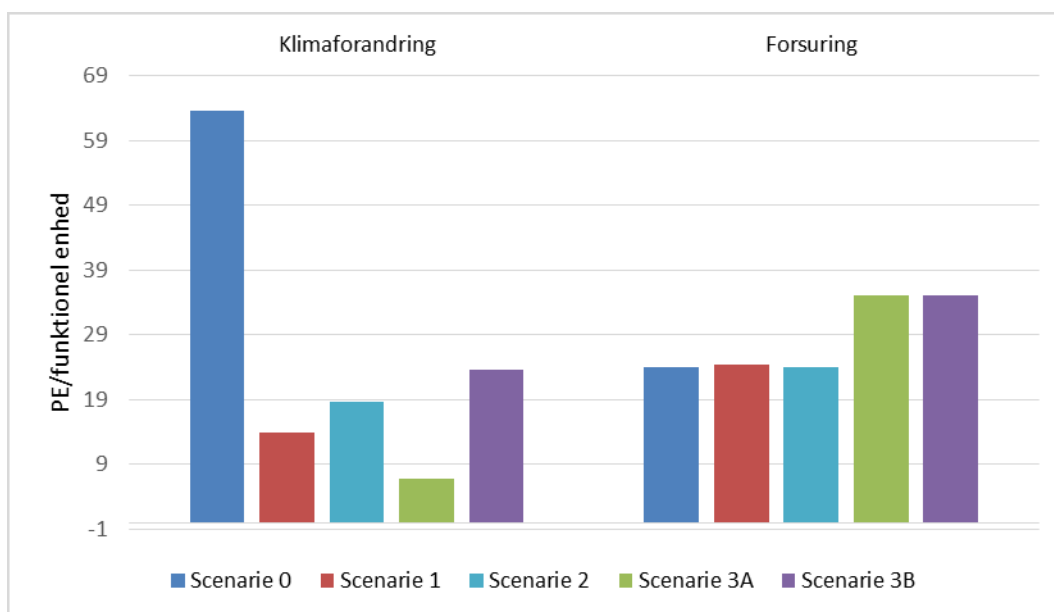
4.1.1 Variation af diffusionsrate af CFC fra nedgravede rør

Denne følsomhedsanalyse består af to undersøgelser, hvor diffusionsraten sættes til henholdsvis 1,0 % p.a. og 0,1 % p.a.

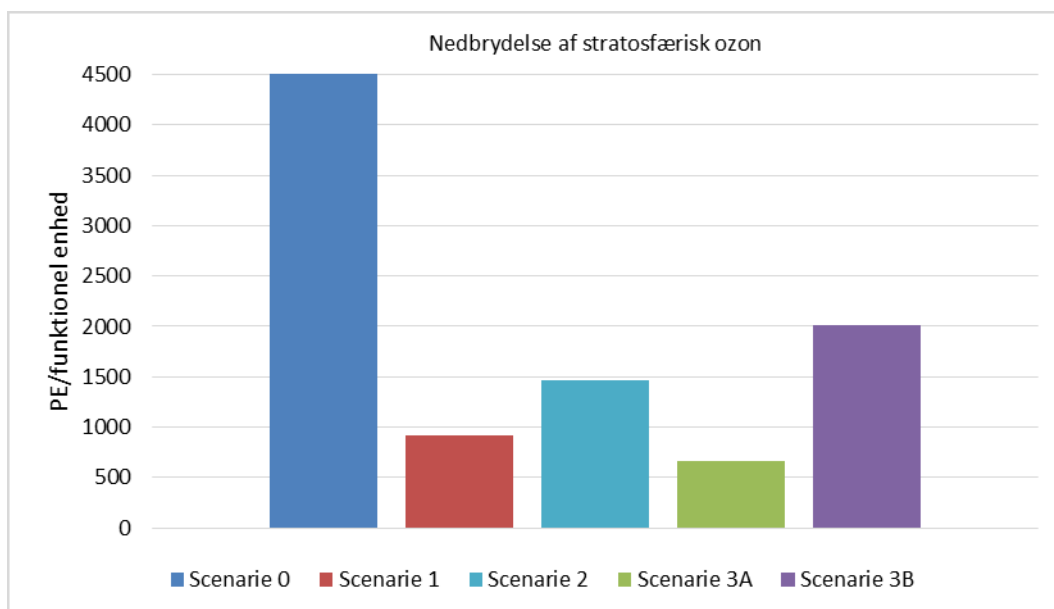
4.1.1.1 Diffusionsrate på 1,0 %:

Figur 37 viser de potentielle ikke-toksiske miljøpåvirkninger når diffusionsraten sættes til 1,0 % p.a. i stedet for 0,25 % p.a. som det er forudsat i hovedscenarierne. Dette er for at undersøge om scenariernes rangering i de enkelte påvirkningskategorier ændrer sig, i fald CFC-diffusionen findes at være højere end antaget.

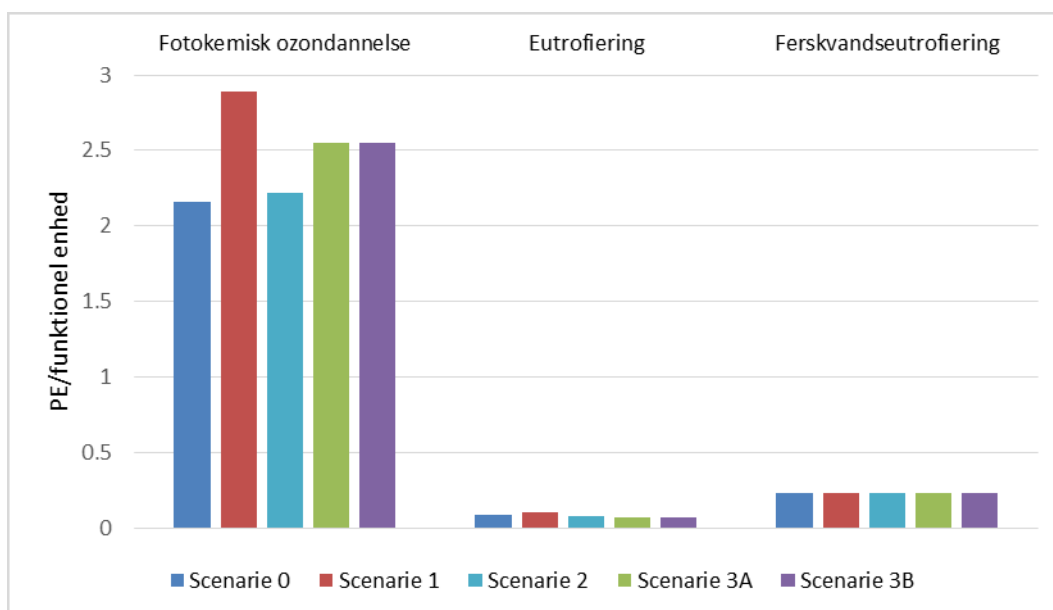
Som det ses på Figur 37 er der sket en væsentlig forhøjelse i kategorien *klimaforandring* i forhold til de oprindelige scenarier. Dog har dette ikke betydet nogle ændringer i rangeringen af scenarierne, selvom scenario 1 er steget procentuelt mere end de andre. Dette skyldes naturligvis, at alle de udtjente rørstrækninger forbliver deponerede i jorden. Og da det netop er udledning af CFC-11 fra rør i jorden som er blevet opjusteret, har dette størst indflydelse på scenario 1 i forhold til de andre, hvor det kun er en mindre del af de udtjente rørstrækninger der deponeres i jorden.



FIGUR 37 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER VED EN DIFFUSIONSRATE PÅ 1,0 % P.A.



FIGUR 38 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER VED EN DIFFUSIONSRATE PÅ 1,0 % P.A.

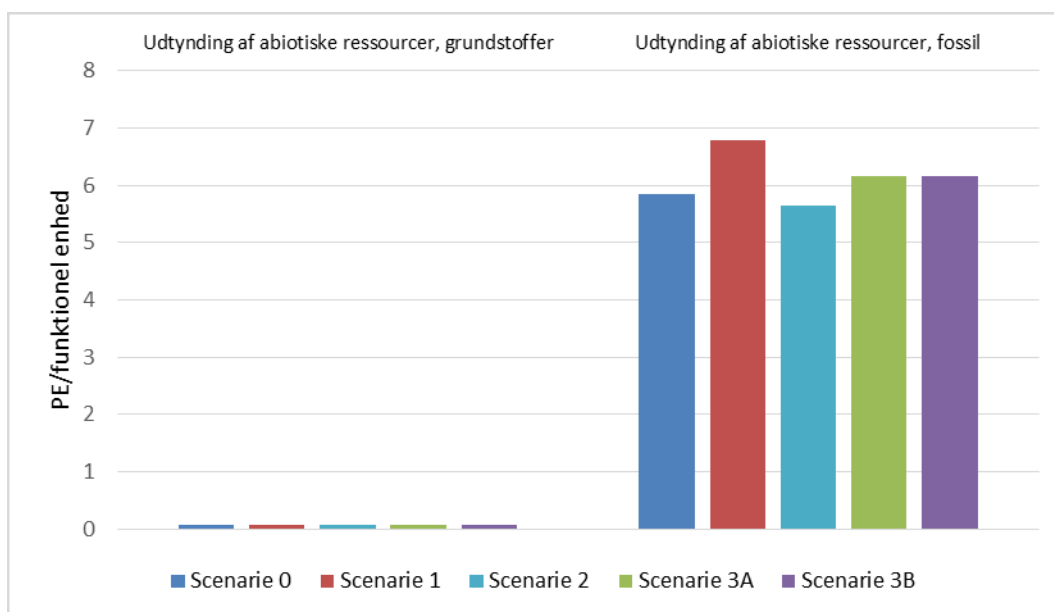


FIGUR 39 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER VED EN DIFFUSIONSRATE PÅ 1,0 % P.A.

Figur 38 viser kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*, hvor billedet er det samme som ved *klimaforandring* beskrevet i det foregående; Scenarie 1 har en større procentuel stigning end de andre scenarier. Hvis beregningerne fremskrives yderligere nogle år, ville rangeringen af scenarierne altså ændre sig. Forklaringen på disse forskelle i procentuel vækst i kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* er som før beskrevet for kategorien *klimaforandring*; betydningen af den ændrede emissionsrate er størst for de scenarier hvor udtjente rørstrækninger forbliver deponerede i jorden.

Disse resultater fastslår kun den store betydning af diffusionen af CFC-11 fra de rør der ligger i jorden, samt hvor vigtigt det er at få indblik i de nærmere omstændigheder omkring denne diffusion og hvordan freongassen distribueres i det omliggende miljø.

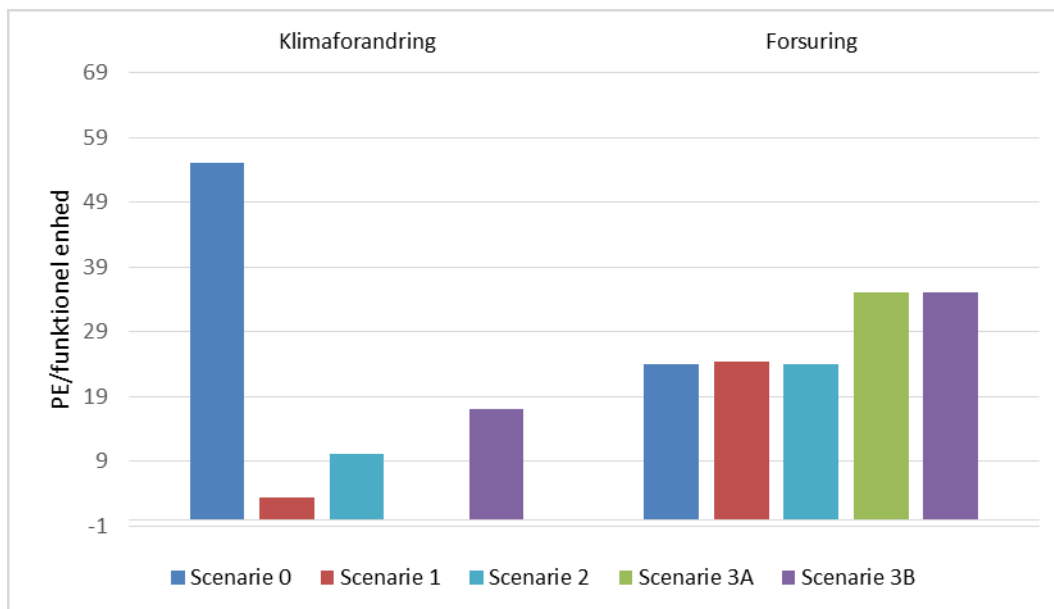
På Figur 40 ses resultaterne for kategorierne udtynding af abiotiske ressourcer, henholdsvis fossile og grundstoffer. Det ses, at disse ikke er påvirket af den ændrede emissionsrate, jf. Figur 21. Dette er også forventeligt, idet det i afsnit 3.2 blev fundet, at CFC-11 emissionen ikke bidrager til disse kategorier.



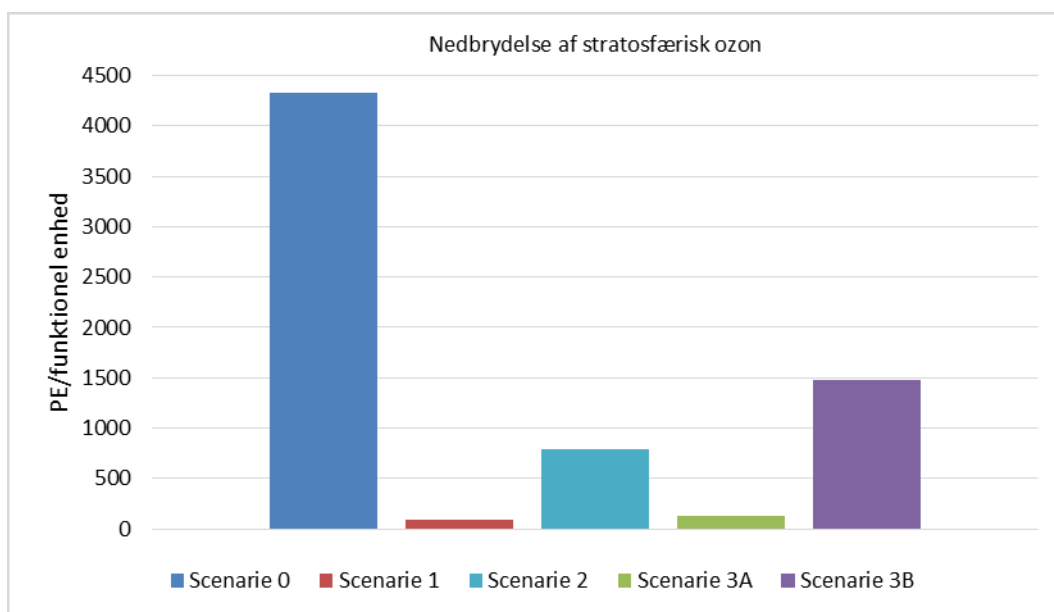
FIGUR 40 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER VED EN DIFFUSIONSRATE PÅ 1,0 % P.A.

4.1.1.2 Diffusionsrate på 0,1 % p.a.

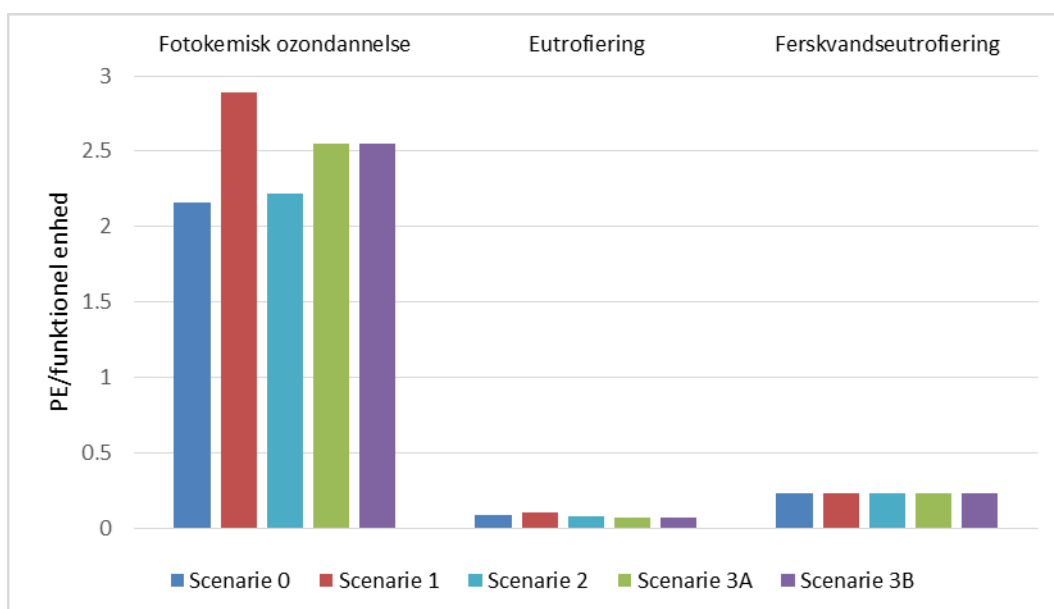
Figur 41 til Figur 44 viser resultaterne for de ikke-toksiske miljøpåvirkninger samt udttynding af abiotiske ressourcer. Det ses at rangeringen af scenarierne nu er ændret i kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Scenarie 1 er nu faktisk bedre end scenarie 3A, da udledningen af freon er reduceret mere end den er i scenarie 3A. De andre kategorier er uændret i forhold til de oprindelige scenarier. Dette er analogt til resultaterne i afsnit 4.1.1.1, blot hvor tendensen er modsatrettet. Forklaring på disse indbyrdes forhold mellem scenarierne kan ligeledes findes i afsnit 4.1.1.1.



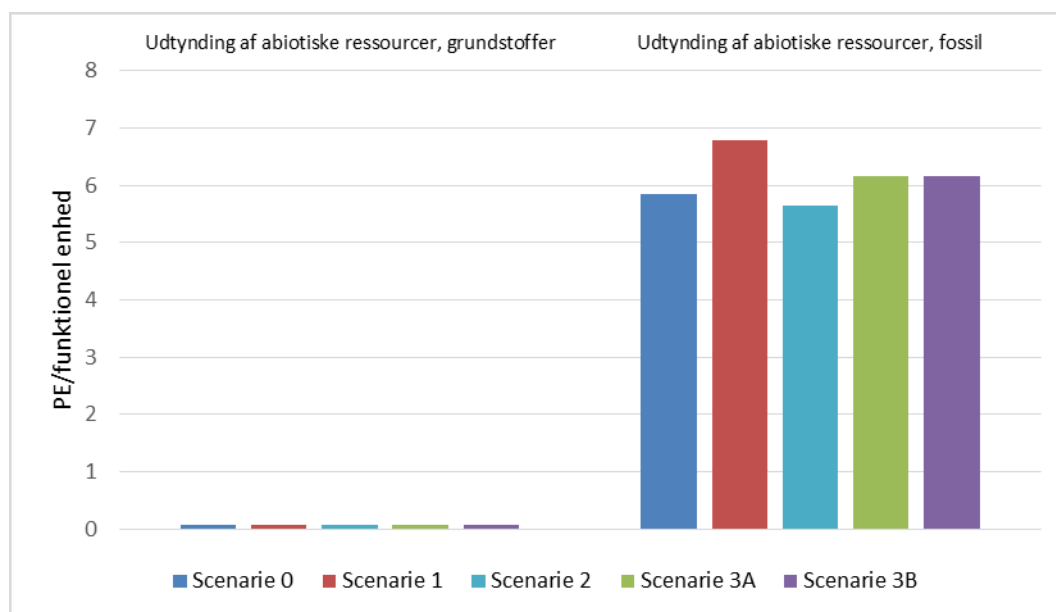
FIGUR 41 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER VED EN DIFFUSIONSRATE PÅ 0,1 % P.A.



FIGUR 42 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER VED EN DIFFUSIONSRATE PÅ 0,1 % P.A.



FIGUR 43 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER VED EN DIFFUSIONSRATE PÅ 0,1 % P.A.



FIGUR 44 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER VED EN DIFFUSIONSRATE PÅ 0,1 % P.A.

4.1.2 Variation af CFC-udslip i forbindelse med neddeling af rør til forbrænding

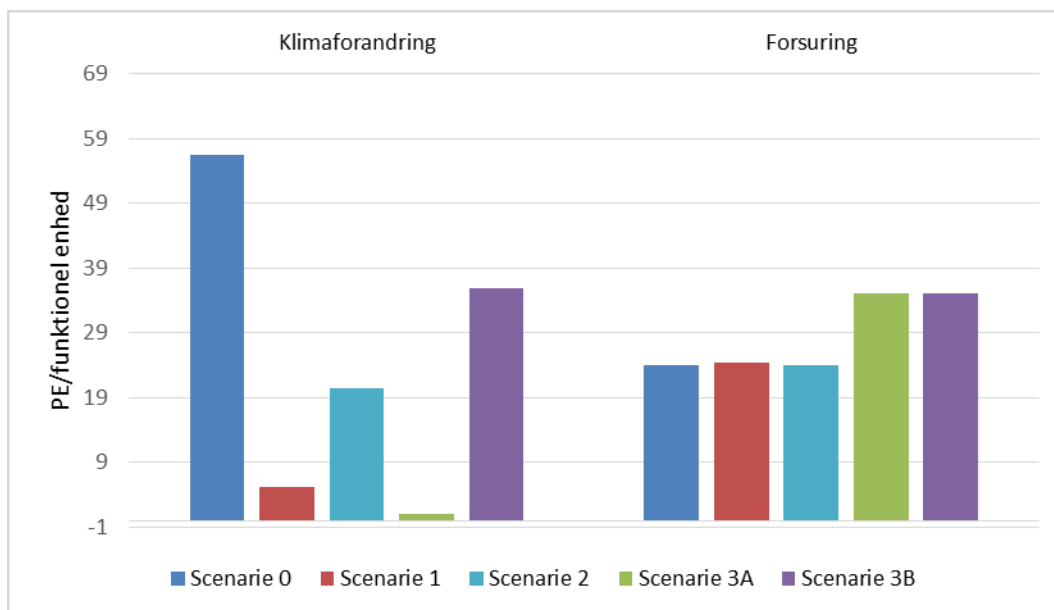
På Figur 45, Figur 46 og Figur 47 ses de potentielle ikke-toksiske miljøpåvirkninger, hvor udledningen af CFC-11 i forbindelse med neddelingen af rør til forbrænding er sat til 10 cm pr. klip, hvorved CFC-gassen afdamper til atmosfæren. Som det også var tilfældet i afsnit 4.1.1, så har den direkte udledning af CFC-11 stor indflydelse på resultaterne, særligt i de to kategorier *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*.

Under neddelingen af rørene til videre behandling, er det i de oprindelige scenarier forudsat, at 5 cm af isoleringsskummet nedbrydes hvorved CFC-11 gassen undslipper til atmosfæren og dermed bidrager til *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Ifølge kortlægningen neddeles rørene i stykker af ca. 30 cm for at kunne forbrændes, og ovenstående forudsætning betyder altså i praksis, at 5 centimeter pr. 30 cm af rørets CFC-holdige isoleringsskum nedbrydes. Som nævnt tidligere, har denne udledning stor relativ betydning for resultaterne i de to kategorier *klimaforandring* og *nedbrydelse af ozonlaget*, men det skal samtidig også pointeres, at en stor del af freonindholdet altså stadig destrueres.

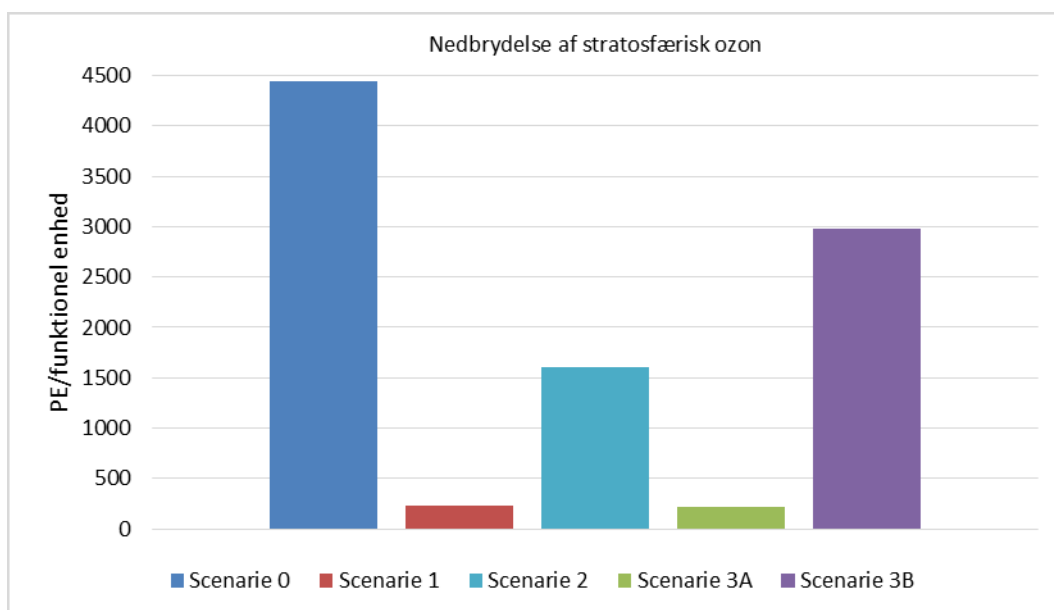
Som det ses på Figur 45 er scenarie 1's bidrag til *klimaforandring* uændret som følge af den ændrede udledning af CFC-11. Dette hænger naturligvis sammen med, at alle rørene i dette scenarie forbliver deponerede i jorden, hvorfor neddelingen ikke finder sted. Det samme gør sig gældende for scenarie 3A, men her hænger den uændrede påvirkning sammen med at den freon der undslipper ved neddelingen forudsættes opsamlet til efterfølgende destruering. Til gengæld ses af figuren, at bidragene til *klimaforandring* i scenarie 2 og scenarie 3B er steget markant. Dette skyldes, at disse to scenarier begge indeholder neddelingsprocessen for en stor del af de udtjente rørstrækninger. Mens der i scenarie 2 opgraves 50 % af de udtjente rørstrækninger, opgraves der i scenarie 3B 100 %, hvorfor bidraget til *klimaforandring* i dette scenarie også er steget mere end i scenarie 2. Der er ingen ændring af betydning i kategorierne fotokemisk ozondannelse, eutrofiering eller ferskvandseutrofiering.

Dette samme billede ses i kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* på Figur 46, hvor bidragene fra de to scenarier 1 og 3A forbliver uændret, og bidragene fra scenarie 2 og scenarie 3B øges. Igen er stigningen større i scenarie 3B end i scenarie 2, men analogt til det som er beskrevet omkring Figur 38 i afsnit 4.1.1.1, så ændrer rangeringen mellem disse to scenarier sig ikke når der fokuseres på kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*.

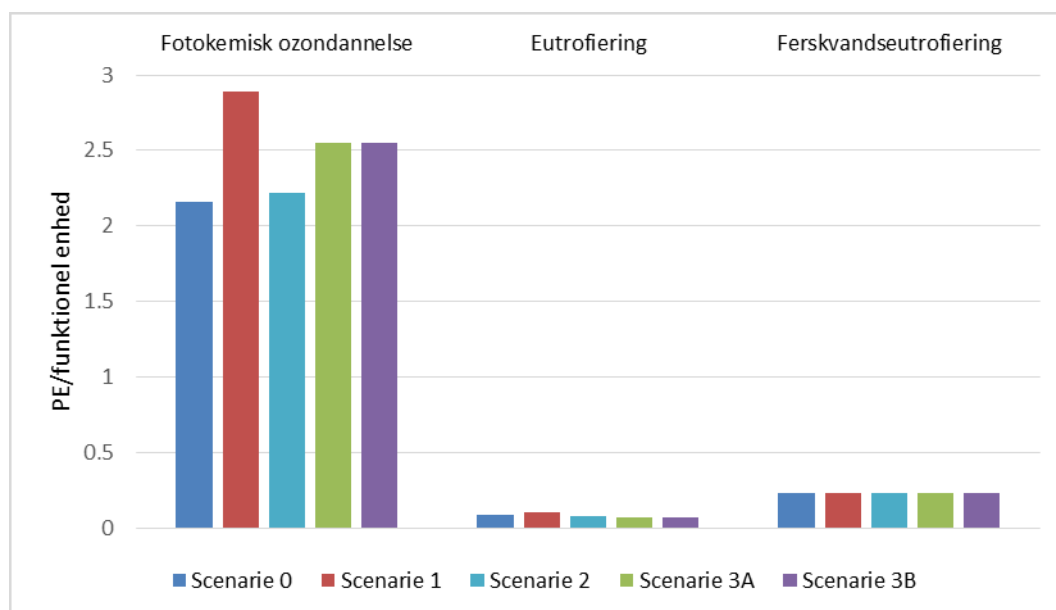
Analogt til Figur 40, ses der på resultaterne for kategorierne udtynding af abiotiske ressourcer på Figur 48, at disse ikke er påvirket af den ændrede emissionsrate. Dette er ligeledes forventeligt, idet det i afsnit 3.2 blev fundet, at neddelingen ikke bidrager til disse kategorier.



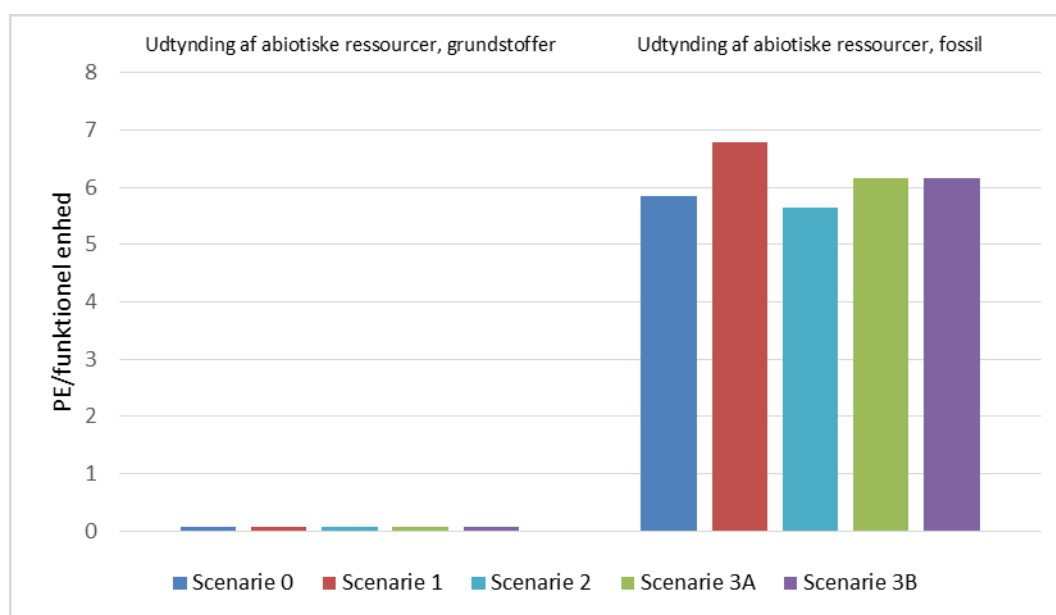
FIGUR 45 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED VARIATION AF CFC-UDSLIP I FORBINDELSE MED NEDDELING AF RØR TIL FORBRÆNDING



FIGUR 46 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED VARIATION AF CFC-UDSLIP I FORBINDELSE MED NEDDELING AF RØR TIL FORBRÆNDING



FIGUR 47 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED VARIATION AF CFC-UDSLIP I FORBINDELSE MED NEDDELING AF RØR TIL FORBRÆNDING

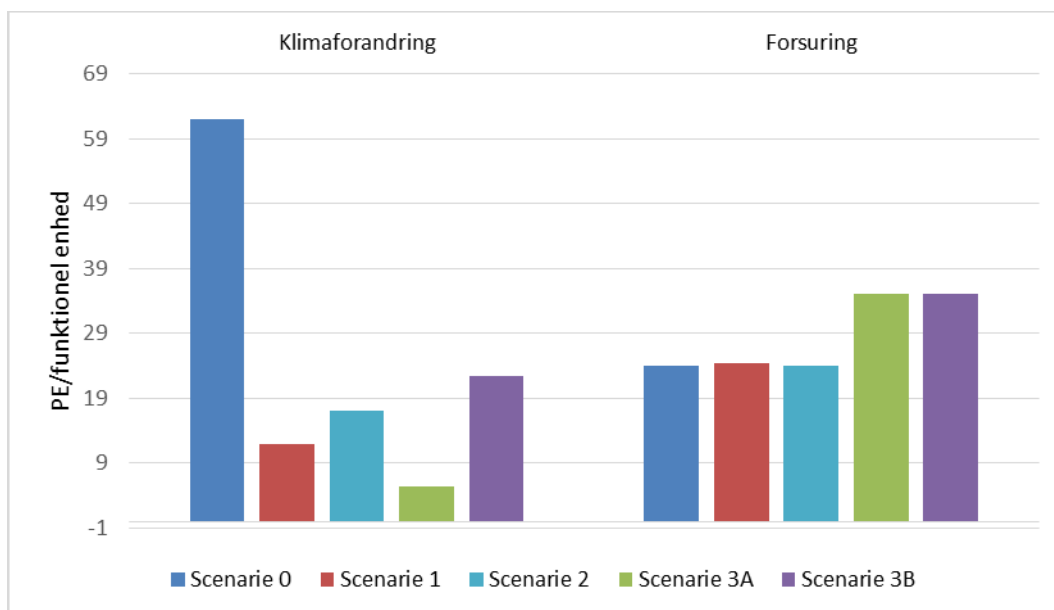


FIGUR 48 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER MED VARIATION AF CFC-UDSLIP I FORBINDELSE MED NEDDELING AF RØR TIL FORBRÆNDING

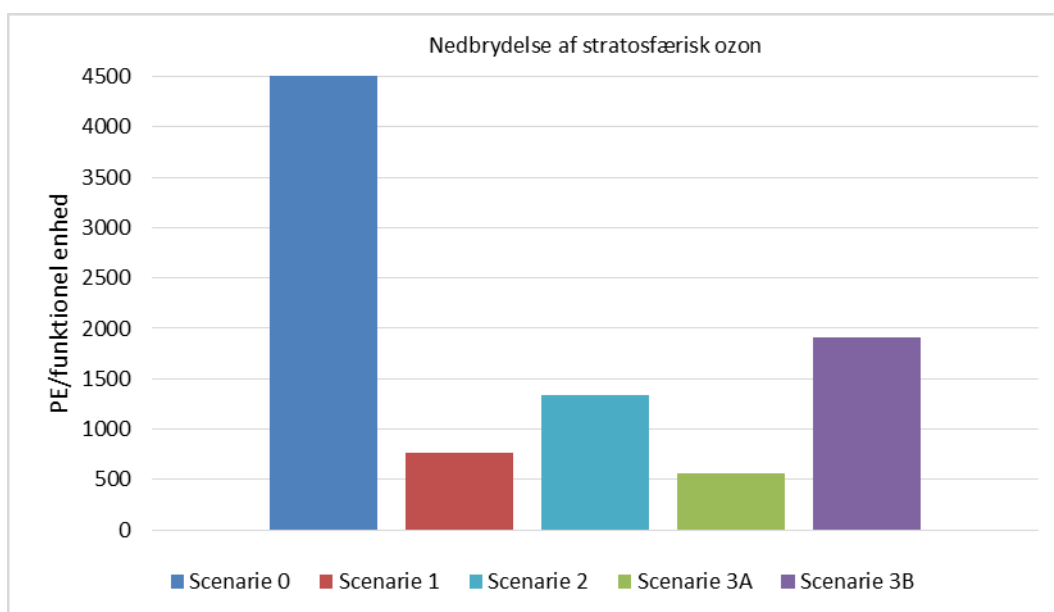
4.1.3 100 % diffunderet CFC-11 til atmosfæren

På Figur 49 til Figur 51 ses de potentielle ikke-toksiske miljøpåvirkninger som de er beregnet under forudsætning af, at 100 % af den diffunderede CFC når atmosfæren.

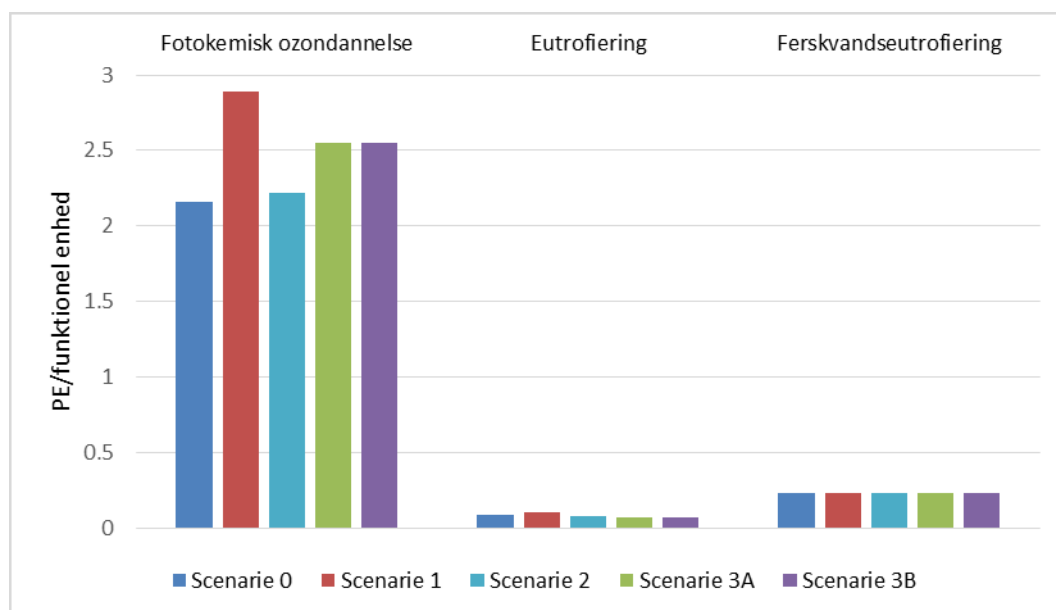
Der ses samme tendens som på resultaterne under forudsætning af, at diffusionsraten er øget til 1,0 %. Dette giver selvfølgelig også god mening, idet det for beregningernes vedkommende er det samme der sker; en øget diffusion fra rørene, som ender i atmosfæren, og dermed bidrager til, primært, *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Det ses af figurerne, at en øget diffusionsrate til 1,0 % giver et højere udslip af CFC end en 100 % afgivelse til atmosfæren. De to følsomhedsanalyser, der er gennemført med en forøgelse af diffusionen af CFC, viser meget klart den samme tendens og rangering af scenarierne i forhold til basisforudsætningerne.



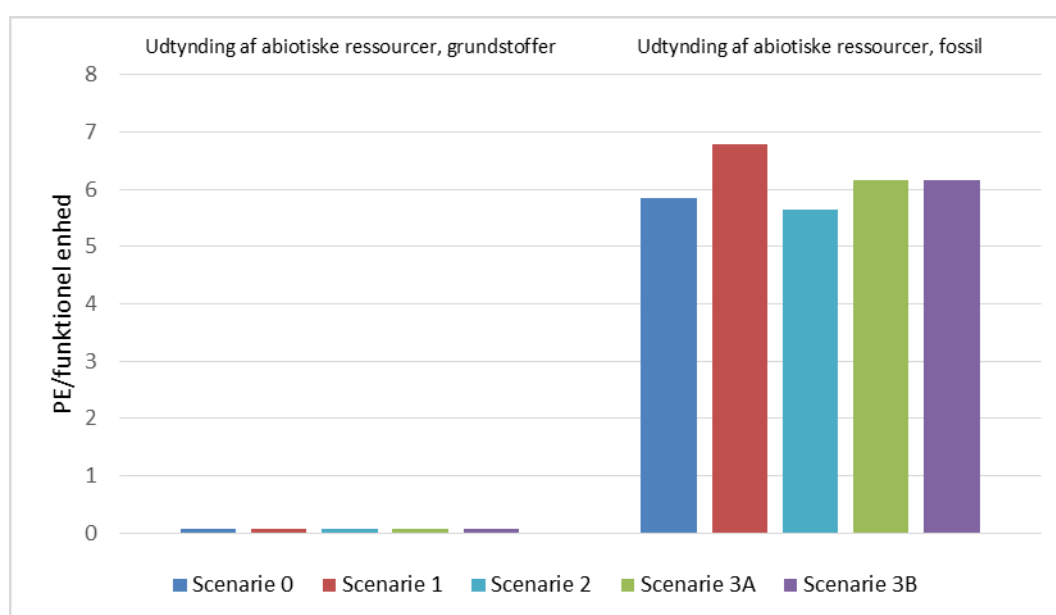
FIGUR 49 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED VARIATION AF CFC-DIFFUSION



FIGUR 50 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED VARIATION AF CFC-DIFFUSION



FIGUR 51 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED VARIATION AF CFC-DIFFUSION



FIGUR 52 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER MED VARIATION AF CFC-DIFFUSION

4.1.4 Anvendelse af 100 % kul som marginal el-produktion

På Figur 53 til Figur 55 ses de potentielle ikke-toksiske miljøpåvirkninger, når den marginale el-produktion udelukkende baseres på kul frem til 2050, i forhold til de oprindelige scenarier, hvor den marginale el-produktion fra 2020 til 2050 bestod af 50 % kulkraft og 50 % vindkraft.

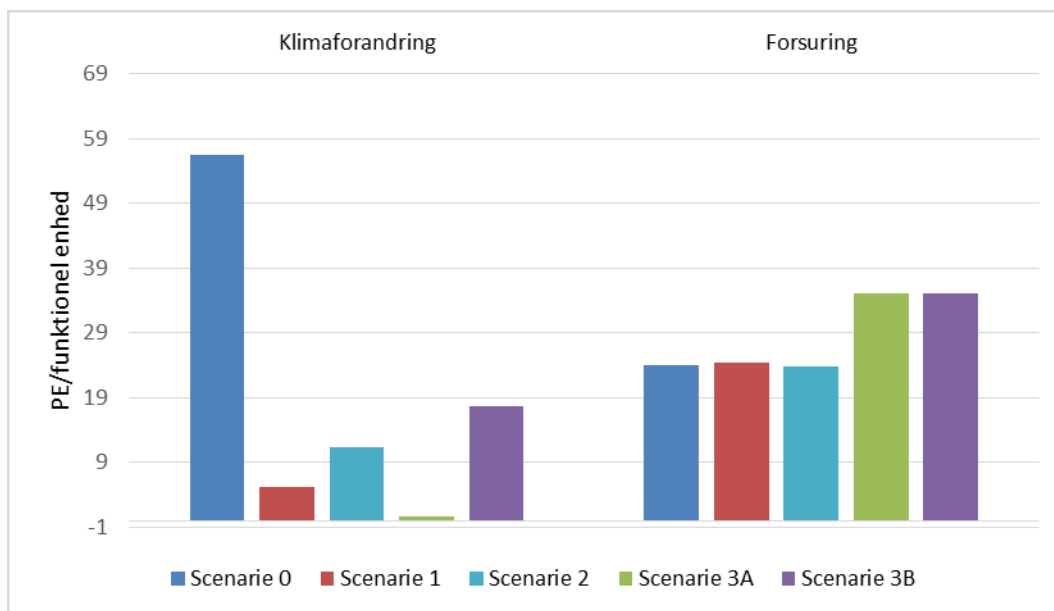
Overordnet set har variationer af de marginale energiteknologier betydning for de scenarier hvor der substitueres en energiproduktion, fx som følge af affaldsforbrændingsprocesser, hvorunder der genvindes energi, som sendes ud i det offentlige energisystem. I nærværende projekt forekommer substitueret energiproduktion i de scenarier hvor hele eller dele af de udtjente rørstrækninger sendes til bortskaffelse på forbrændingsanlæg. Dette forekommer i scenarie 2, hvor 50 % af de udtjente rørstrækninger opgraves, neddeles og forbrændes samt i scenarie 3A og 3B hvor 100 % af

de udtjente rørstrækninger opgraves, neddeles og forbrændes. Dette kan også ses af resultaterne når figurerne sammenlignes med Figur 17 og Figur 18 (dog er forskellene meget små, og svære at registrere visuelt på figurerne). Her er påvirkningerne i kategorien *klimaforandring* reduceret for scenarie 2, scenarie 3A og scenarie 3B, hvorimod bidraget fra scenarie 1 i samme kategori er uændret.

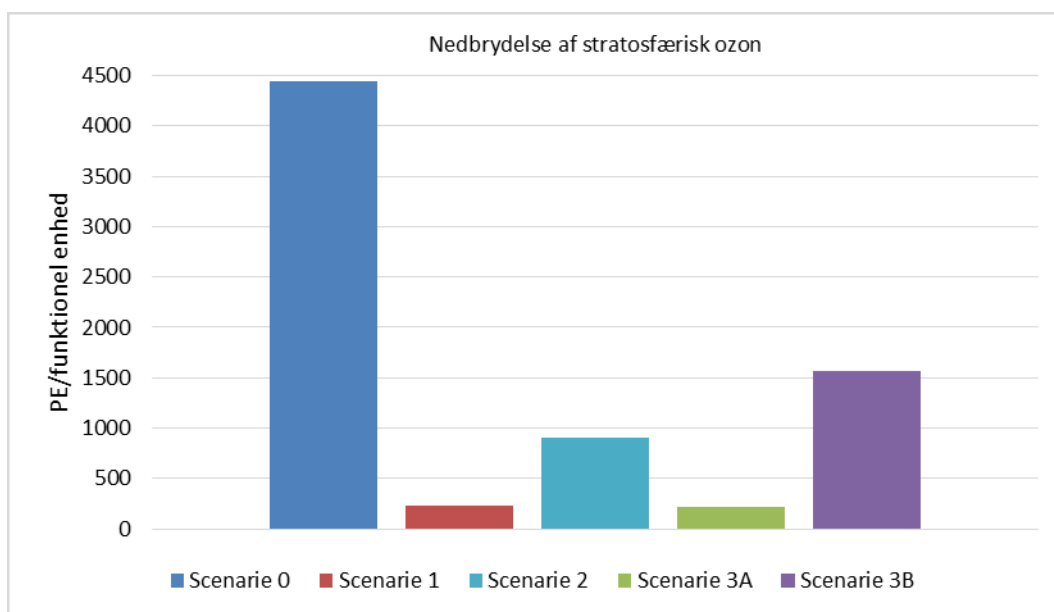
Med hensyn til rangeringen af scenarierne, så ses det af figurerne, at scenarie 3A+3B nu er bedre end scenarie 0 i kategorien *udtynding af abiotiske fossile ressourcer*, hvilket skyldes forbrændingsprocessen. I de andre kategorier ændres der ikke på rangeringen i forhold til de oprindelige forudsætninger. Dette skyldes primært den samtidige udledning af CFC-11 i de scenarier, hvor der substitueres energiproduktion, og hvor miljøpåvirkningerne således reduceres. I kategorien *klimaforandring*, som påvirkes mest af en anden marginal teknologi, kommer det største bidrag netop fra udledningen af CFC-11. Derfor vil en lille reduktion, som følge af en ny el-marginal, ikke betyde det store for det samlede resultat.

På Figur 54 og Figur 55 ses resultaterne for bl.a. kategorierne *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* og *forsuring*. Til forskel fra kategorien *klimaforandring*, ændrer en ny el-marginal ikke mærkbart på resultaterne i disse to kategorier. Som det er beskrevet i afsnit 3.2, så hidrører tæt på 100 % af bidragene til *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* fra neddelingen og CFC-11 emissioner mens røret er i jorden, hvorfor en ændring af de substituerede produktioner ingen større indflydelse har.

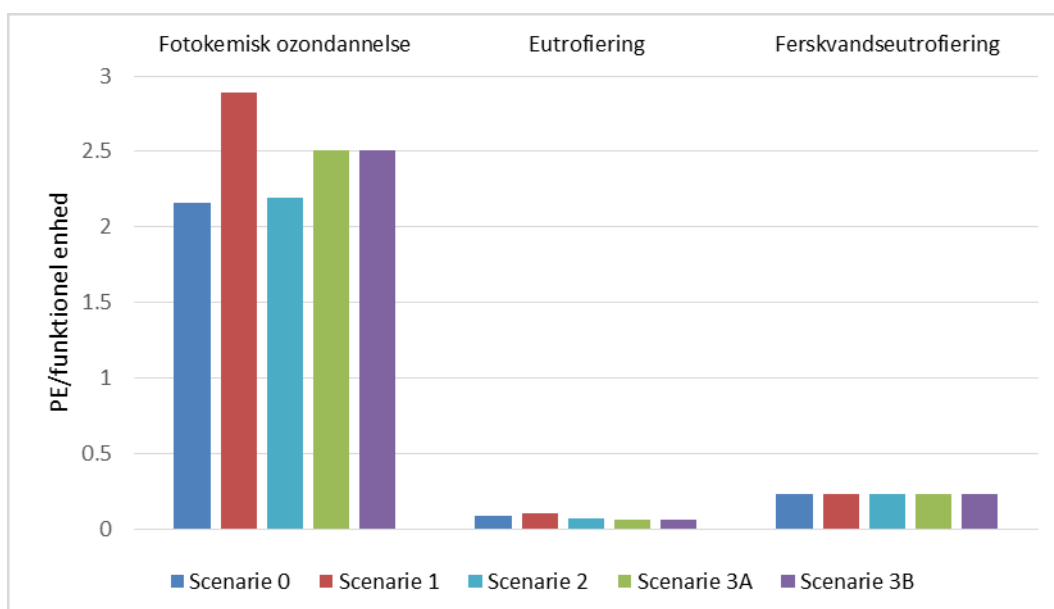
Til gengæld ses en reduktion af påvirkningerne i kategorien *udtynding af abiotiske fossile ressourcer*, jf. Figur 56. Da størstedelen af de emissioner, der bidrager til *klimaforandring* kommer fra afbrænding af fossile ressourcer, er det også forventeligt, at mønstret er det samme i disse to kategorier, når der ændres på den marginale energiproduktion. Analogt til resultaterne i kategorien *klimaforandring*, er der således også en reduktion i bidragene for scenarie 2, scenarie 3A samt scenarie 3B, men ikke for scenarie 0 og 1.



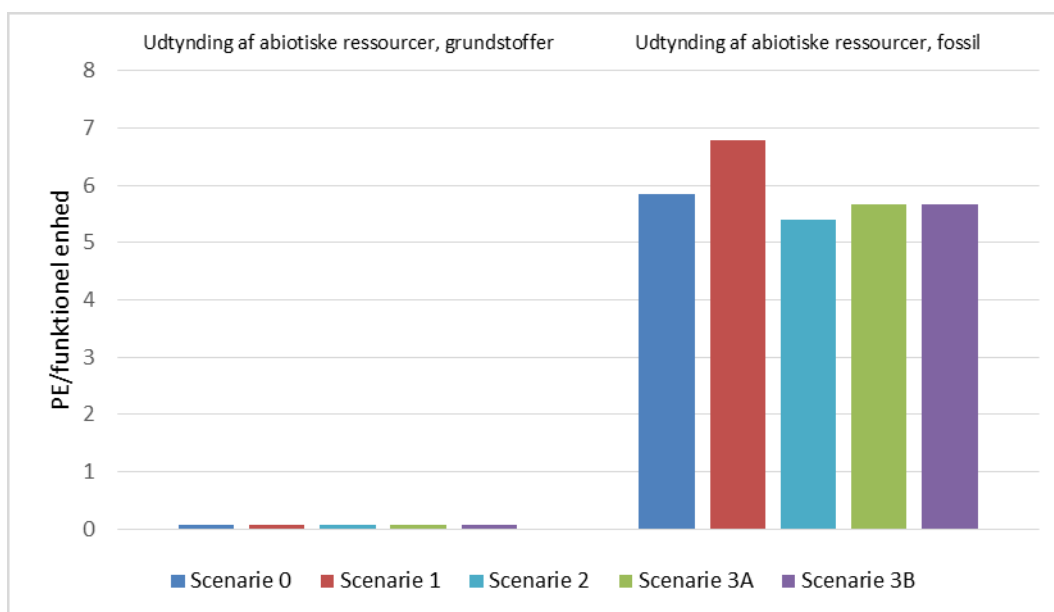
FIGUR 53 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED KUL SOM MARGINAL EL-PRODUKTION



FIGUR 54 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED KUL SOM MARGINAL EL-PRODUKTION



FIGUR 55 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED KUL SOM MARGINAL EL-PRODUKTION



FIGUR 56 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER MED KUN SOM MARGINAL EL-PRODUKTION

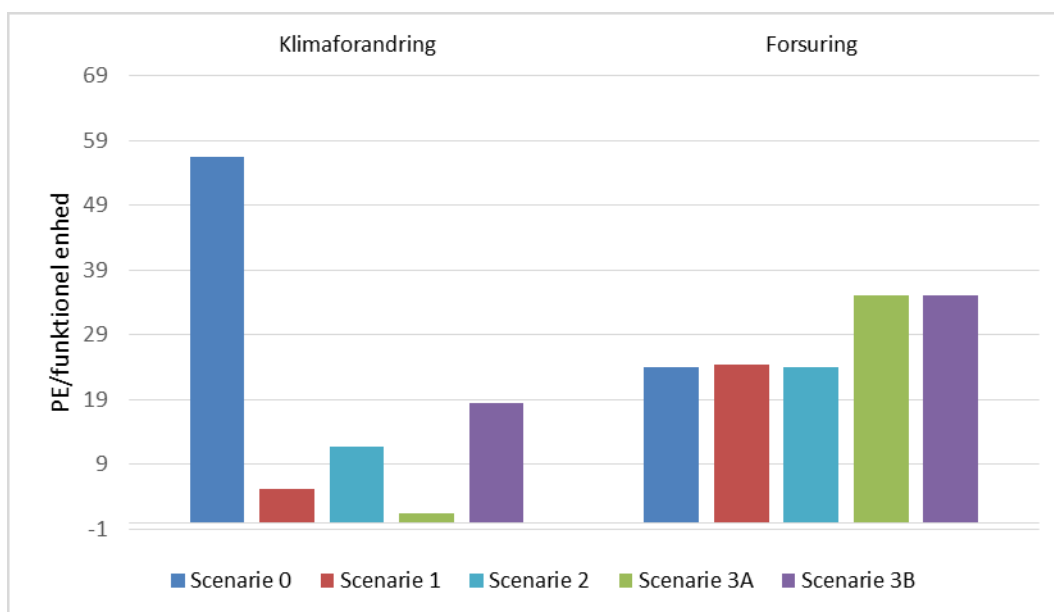
4.1.5 Anvendelse af 100 % vindkraft som marginal el-produktion efter 2020

På Figur 57 til Figur 59 ses de potentielle ikke-toksiske miljøpåvirkninger, når den marginale el-produktion udelukkende baseres på vindkraft fra 2020 til 2050, i stedet for et mix af 50 % kulkraft og 50 % vindkraft frem til 2050.

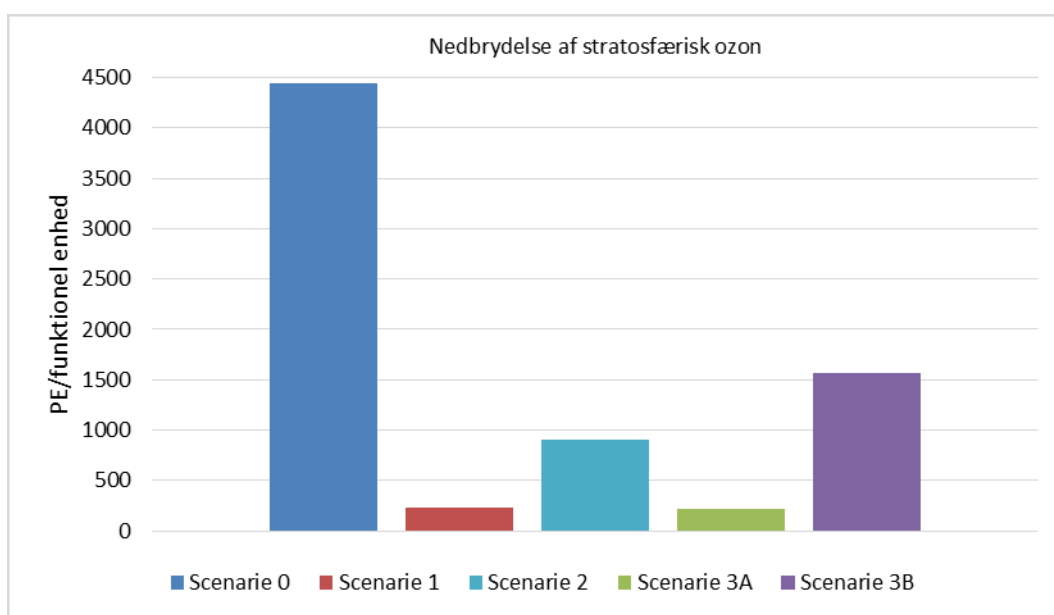
Det ses af Figur 57, at der er sket en (ganske lille) stigning i bidragene til kategorien *klimaforandring* for scenarie 2, scenarie 3A og scenarie 3B, hvorimod scenarie 0+1 forbliver uændret. Dette er analogt til tendensen i afsnit 4.1.4, blot er det nu en stigning i stedet for en reduktion. Forklaringen på dette skyldes de samme mekanismer, som er beskrevet i 4.1.4, hvor den substituerede energiproduktion nu er renere (baseret på vindkraft) og dermed godskrives der færre emissioner, som ville have bidraget til *klimaforandring*, hvilket resulterer i et nettoresultat, der er højere end i de oprindelige scenarier.

Ligeledes ændrer den nye el-marginal heller ikke mærkbart på resultaterne i de to kategorier angivet på de andre figurer. Som det er beskrevet i afsnit 3.2, så hidrører tæt på 100 % af bidragene til *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* fra neddelingen og CFC-11 emissioner mens røret er i jorden, hvorfor en ændring af de substituerede produktioner ingen større indflydelse har.

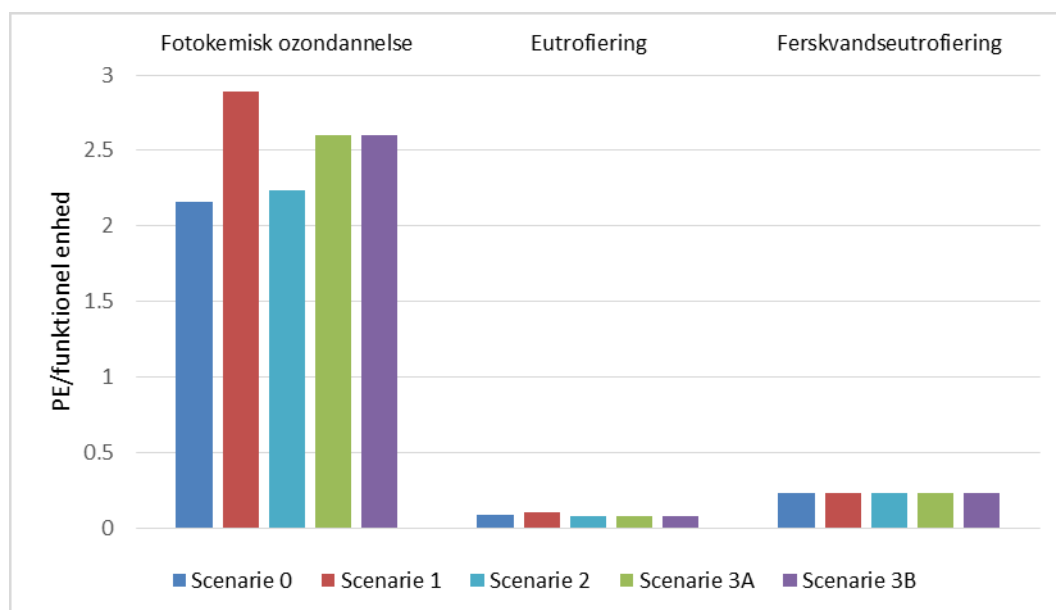
Det samme som på gør sig gældende for udtynding af abiotiske ressourcer, som ses på Figur 60, hvor de scenarier, der indeholder substituerede energiproduktioner baseret på afbrænding af fossile ressourcer, påvirkes af den ændrede marginal. Her ses en stigning i bidragene til *udtynding af abiotiske fossile ressourcer* for scenarie 2, scenarie 3A og scenarie 3B, men ikke for scenarie 0+1.



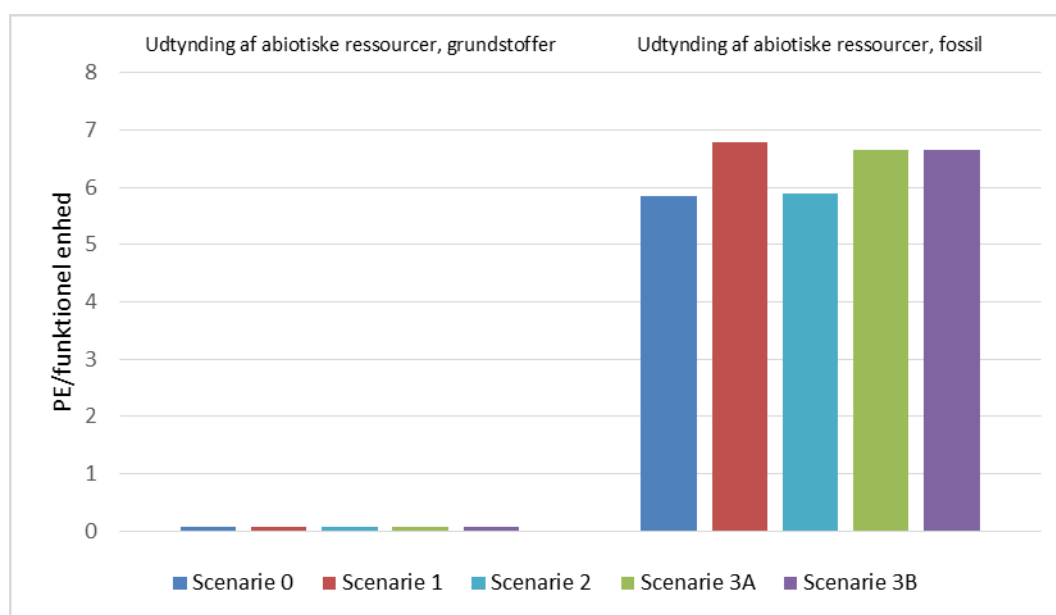
FIGUR 57 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED VINDKRAFT SOM MARGINAL EL-PRODUKTION



FIGUR 58 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED VINDKRAFT SOM MARGINAL EL-PRODUKTION



FIGUR 59 POTENTIELLE IKKE-TOKSISKE MILJØPÅVIRKNINGER MED VINDKRAFT SOM MARGINAL EL-PRODUKTION



FIGUR 60 UDTYNDING AF ABIOTISKE RESSOURCER MED VINDKRAFT SOM MARGINAL EL-PRODUKTION

4.2 Konklusioner på baggrund af følsomhedsanalyserne

Gennem følsomhedsanalyserne som er beskrevet i afsnit 4.1.1 til 4.1.5 er miljøvurderingens robusthed over for ændringer i udvalgte forudsætninger blevet belyst. Med robusthed menes, om scenariernes indbyrdes rangering ændrede sig, som følge af variation i forudsætningerne.

På Tabel 9 og Tabel 10 er der givet et overblik over konklusionerne fra disse følsomhedsanalyser, hvad angår rangeringen af scenarierne. Som det kan ses af disse to tabeller, er miljøvurderingen ganske robust over for ændringer i forudsætningerne. I kun tre tilfælde sker en ændring. I kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* bytter de to scenarier 3A og 1 plads, når diffusionsraten ændres til 0,1. Og i kategorien *Udtynding af abiotiske fossile ressourcer* er scenarie 0 nu værre end 3A og 3B når den marginale elproduktion kommer fra kulkraft, og scenariene 0 og 2 bytter ligeledes plads når den marginale elproduktion kommer fra vindkraft.

TABEL 9 RANGERING AF SCENARIERNE PÅ BAGGRUND AF ÆNDRERE FORUDSÆTNINGER (SCENARIET MED DEN MINDSTE MILJØPÅVIRKNING RANGERER ØVERST)

	Klimaforandring	Nedbrydelse af stratosfærisk ozon	Udtynding af abiotiske fossile ressourcer
Basisforudsætninger	3A	3A	2
	1	1	0
	2	2	3A
	3B	3B	3B
	0	0	1
Diffusionsrate på 1,0 % p.a.	3A	3A	2
	1	1	0
	2	2	3A
	3B	3B	3B
	0	0	1
Diffusionsrate på 0,1 % p.a.	3A	1	2
	1	3A	0
	2	2	3A
	3B	3B	3B
	0	0	1
CFC-udslip fra 10 cm pr klip	3A	3A	2
	1	1	0
	2	2	3A
	3B	3B	3B
	0	0	1
100 % diffusion til atmosfæren	3A	3A	2
	1	1	0
	2	2	3A
	3B	3B	3B
	0	0	1
Marginal el med kul som brændsel indtil 2050	3A	3A	2
	1	1	3A
	2	2	3B
	3B	3B	0
	0	0	1
Marginal el-produktion fra vindkraft fra 2020 til 2050	3A	3A	0
	1	1	2
	2	2	3A
	3B	3B	3B
	0	0	1

TABEL 10 OVERBLIK OVER HVOR RANGERINGEN HAR ÆNDRET SIG I FORHOLD TIL BASISFORUDSÆTNINGERNE

	Klimaforandring	Nedbrydelse af stratosfærisk ozon	Udtynding af abiotiske fossile ressourcer
Diffusionsrate på 1,0 % p.a.			
Diffusionsrate på 0,1 % p.a.		X	
CFC-udslip fra 10 cm pr klip			
100 % diffunderet CFC-11 til atmosfæren			
Marginal el med kul som brændsel indtil 2050			X
Marginal el-produktion fra vindkraft fra 2020 til 2050			X

Udover ovenstående overblik over ændringer i rangeringen, kan følgende konklusioner også drages på baggrund af de gennemførte følsomhedsanalyser:

- Ændres diffusionsraten til 1,0 % p.a. sker der en væsentlig forhøjelse af resultaterne i kategorien *klimaforandring* i forhold til de oprindelige scenarier. Det har dog ingen indflydelse på rangeringen, og scenarie 3A er stadig den bedste løsning når der fokuseres på *klimaforandring*.
- Ved ændring af diffusionsraten til 1,0 % p.a. får scenarie 1 en større procentuel stigning end de andre scenarier når der fokuseres på *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*.
- Ved ændring af diffusionsraten til 0,1 % p.a. ændres rangeringen af scenarierne i kategorien *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*, hvor scenarie 3A før havde den mindste påvirkning, er det nu scenarie 1. Resten er uændret i forhold til de oprindelige scenarier.
- Den direkte udledning af CFC-11 stor har indflydelse på resultaterne, særligt i de to kategorier *klimaforandring* og *nedbrydelse af stratosfærisk ozon*. Når CFC-udslippet ved neddeling øges, stiger bidragene til *klimaforandring* fra scenarie 2 og scenarie 3B markant. Scenarie 1 og scenarie 3A forbliver uændret. Der sker ingen ændring af rangeringen.
- Når der anvendes 100 % kul som marginal el-produktion er påvirkningerne i kategorien *klimaforandring* reduceret for scenarie 2, scenarie 3A og scenarie 3B, hvorimod bidraget fra scenarie 1 i samme kategori er uændret. Der sker ingen ændring af rangeringen.
- Anvendelsen af 100 % kul som marginal el-produktion ændrer ikke mærkbart på resultaterne for de to kategorier *nedbrydelse af stratosfærisk ozon* og *forsuring*. Til gengæld ses en reduktion af påvirkningerne i kategorien *udtynding af abiotiske fossile ressourcer*. Scenarie 0 er nu værre end 3A og 3B i denne kategori.

- Anvendelsen af 100 % vindkraft som marginal el-produktion efter 2020 betyder en stigning i bidragene til kategorien *klimaforandring* for scenarie 2, scenarie 3A og scenarie 3B, hvorimod scenarie 0+1 forbliver uændret. Ligeledes ses en stigning i bidragene til *udtynding af abiotiske fossile ressourcer* for scenarie 2, scenarie 3A og scenarie 3B, men ikke for scenarie 0+1. Scenarie 0 og 2 bytter plads i kategorien *udtynding af abiotiske fossile ressourcer*.

Referencer

A/S, U. (2014).

EMU, Department of Civil Engineering. (u.d.). <http://civil.emu.edu.tr>. Hentet fra <http://civil.emu.edu.tr/courses/civl392/CIVL%20392%20-%20Chapter%203%20-%20Excavating%20Machines.pdf>

Europa-Parlamentet og Rådets forordning. (Maj 2014). www.eu-ophlysningen.dk. Hentet fra <http://www.eu-ophlysningen.dk/>

Hansen, H. (2014).

Kjeldsen, P. (September 2004). Udgør fjernvarmenettet en trussel mod grundvandet? *Vand og Jord*(3), s. 105-108.

Kjeldsen, P. (Oktober 2011). Freon fra fjernvarmerør - en overset trussel for indeklimate og grundvand? *ATV Jord & Grundvand*, s. 32-41.

Larsen, H. F. (2005). *Baggrundsdokument for miljøvejledning for fjernvarmerør*. Miljøstyrelsen. Miljøministeriet. (Maj 2014). www.retsinformation.dk. Hentet fra <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=12553&exp=1#FN501>

Mogensen, S. B. (2013). *Undersøgelse af frigivelse af freon ved fjernvarmerør*. Region Midtjylland.

Mogensen, S. B., Langeland, M., Andersen, K. M., & Jensen, P. E. (2013). Freon - en ny spiller på banen. *Jordforurening.info*(3), s. 13-26.

Poulsen, T. S., Lauridsen, J., & Nielsen, J. M. (2006). *Kortlægning af CFC- og HCFC affald i Danmark*. COWI. Miljøstyrelsen.

Rambøll. (2004). *Vurdering af restlevetid af præisolerede fjernvarmerør*. Danske Fjernvarmeværkers Forening.



Introduction

The aim of this critical review is to optimise the quality and to strengthen the credibility of the life cycle assessment of different waste management scenarios of old district heating pipes that contain CFC in Denmark, performed by Teknologisk Institut / Danish Technological Institute.

The critical review was carried out by a review team with experts from different scientific backgrounds suitable for the challenges of this LCA study:

- Adrian Tan, Senior Manager at BIO by Deloitte, expert in resource efficiency
- Charlotte Petiot, Senior Manager at BIO by Deloitte, expert in LCA
- Clément Tostivint, Manager at BIO by Deloitte, expert in LCA

Michael Hauschild, DTU Management, also performed a review of the principal approach and observations of the LCA.

Following ISO 14 044 and the ILCD Handbook guidelines, the review team checked if:

- the methods used to carry out the LCA were consistent with the International Standard and the ILCD recommendations,
- the methods used to carry out the LCA were scientifically and technically valid,
- the data used were appropriate and reasonable in relation to the goal of the study,
- the interpretations of the results reflected the limitations identified and the goal of the study,
- the study report was transparent and consistent.

The critical review was conducted between June and November 2014. Based on a first version of the LCA report the review team discussed the LCA and provided comments to Teknologisk Institut. A revised report was then sent in return together with responses to all comments. The review team discussed some of the comments with Michael Hauschild. Based on the revised report and the responses, the review team formulated their opinion of the LCA.

The exhaustive list of comments from the reviewing team and the responses from Teknologisk Institut are presented at the end of this report.

The following sections present the summary of the critical review.

Summary of the critical review

Consistency with ISO standards and ILCD guidelines

The LCA report is compliant with the requirements of the standards ISO 14040 and 14044 as well as the ILCD guidelines.

The objective of the study (support decisions in potential legislation) is clearly stated.

The LCA claims to follow a consequential LCA approach, but the LCA does not apply the consequential approach fully, e.g. it does not take into consideration the full consequences of a decision and marginal process, e.g. establishing CFC-11 waste treatment centres in Denmark. The LCA does however take into account certain consequential aspects and the overall approach is nonetheless considered to be appropriate for the study.

The functional unit has been defined together with the client, the Danish Environmental Protection Agency (Miljøstyrelsen): 'waste management of 1 km district heating pipe containing CFC over 36 years'. We question whether the functional unit over 36 years (to cover the period 2014 - 2050) is appropriate. The LCA does not take into consideration any potential CFC emissions from old district heating pipes still in the ground after 2050. We find this a major limitation of the study and biases the comparison of the scenarios.

While the scope of the study and the system boundaries are clearly defined, there is a lack of transparency of the CFC emissions in the various processes and system models. It is not clear what happens to all the CFC initially in the district heating pipes.

The interpretation of the results follows the recommendations of the standards concerning transparency of assumptions, sensitivity analysis and limitations. Results are mainly shown after normalisation, but non-normalised results are also provided.

Concerning the limitations, the reviewing team points out that the main limitations of the study are the following:

- Not all CFC initially in the district heating pipes emissions are accounted for.
- Although the scope of the LCA is until 2050, the long term effects (after 2050) of CFC emissions in the pipes left in the ground are not taken into consideration.

Scientific and technical validity of the methods

The methodology used for estimating inputs, outputs and emissions is clearly detailed in the report.

The allocation of substituted products and processes for each waste management process is also clearly described and considered appropriate given the goal and scope of the study.

Appropriateness of data

LCA used available relevant data from literature and complemented this with inputs from industry actors.

Besides data on the amount of CFC remain in the pipes after 2050, the data represented the time scale covered and both the geographical and technological scope. The data used was from publications by the Danish EPA, soil and water experts and the district heating industry association in Denmark as well as from EASETECH and ecoinvent databases.

Assessment of the interpretation in view of limitations and goal and scope

The review team checked whether the LCA results were logical, seemed to be the right order of magnitude and corresponded to expectations, but they did not check any calculations. The reviewers did not notice any errors or results that led to concern.

Regarding the sensitivity analysis, the choice of sensitive parameters is clearly explained and the effects of parameter variations on results are detailed. The sensitivity analysis allowed the robustness of the results to be confirmed.

The results were presented:

- comparing the different scenarios by environmental impact category
- the contribution of each process to the overall impact for each environmental impact category

The presentation of results was improved following comments from the review team.

Transparency and consistency of the report

The report is clearly structured and well written. It is acknowledged as transparent and consistent.

Conclusion of the critical review

The critical review was constructive and helped enhance the quality of the LCA report.

Following this process, the reviewing committee certifies that:

- the LCA report complies with the requirements of the ISO standards 14040 and 14044;
- the goal and scope are appropriately defined;
- the methods used are scientifically and technically valid;
- the data used are appropriate and reasonable in view of the goal and scope of the study;
- the conclusion is consistent with the results, the sensitivity analysis and the limitations mentioned in the report;
- the report is complete, clearly structured and well-written.

For the update of the study, the reviewing committee recommends:

- a clear mass-balanced substance flow analysis of all the CFC initially in the pipe through each of the waste processes;
- providing more information on the impacts of CFC emissions from pipes left in the ground after 2050.

November 2014

The reviewing team:

- Adrian Tan
- Charlotte Petiot
- Clément Tostivint

Bilag 2: Akkumulerede miljøpåvirkninger for scenarierne 0, 1, 2, 3A og 3B

SCENARIO 0

År	Klimaforandring	Nedbrydelse af stratosfærisk ozon	Fotokemisk ozondannelse	Forsuring	Eutrofiering	Ferskvands eutrofiering	Udt. af abiotiske ressourcer, grundstoffer	Humantoksicitet, cancerteffekter	Humantoksicitet, ikke-cancereffekter	Økotoksicitet	Udt. af abiotiske ressourcer, fossil	Partikler
2015	5.237E-01	4.122E+01	1.772E-02	1.960E-01	7.156E-04	1.903E-03	6.432E-04	2.463E-01	9.561E-03	2.364E-02	4.796E-02	4.890E-02
2016	1.047E+00	8.241E+01	3.545E-02	3.921E-01	1.431E-03	3.806E-03	1.286E-03	4.927E-01	1.912E-02	4.727E-02	9.592E-02	9.779E-02
2017	1.570E+00	1.236E+02	5.317E-02	5.881E-01	2.147E-03	5.710E-03	1.930E-03	7.390E-01	2.868E-02	7.091E-02	1.439E-01	1.467E-01
2018	2.093E+00	1.647E+02	7.090E-02	7.842E-01	2.862E-03	7.613E-03	2.573E-03	9.854E-01	3.824E-02	9.455E-02	1.918E-01	1.956E-01
2019	2.615E+00	2.058E+02	8.862E-02	9.802E-01	3.578E-03	9.516E-03	3.216E-03	1.232E+00	4.779E-02	1.182E-01	2.398E-01	2.445E-01
2020	3.137E+00	2.469E+02	1.063E-01	1.176E+00	4.293E-03	1.142E-02	3.859E-03	1.478E+00	5.735E-02	1.418E-01	2.878E-01	2.934E-01
2021	3.659E+00	2.880E+02	1.241E-01	1.372E+00	5.009E-03	1.332E-02	4.503E-03	1.724E+00	6.690E-02	1.655E-01	3.357E-01	3.423E-01
2022	4.180E+00	3.290E+02	1.418E-01	1.568E+00	5.725E-03	1.523E-02	5.146E-03	1.971E+00	7.646E-02	1.891E-01	3.837E-01	3.912E-01
2023	4.701E+00	3.700E+02	1.595E-01	1.764E+00	6.440E-03	1.713E-02	5.789E-03	2.217E+00	8.601E-02	2.127E-01	4.317E-01	4.401E-01
2024	5.222E+00	4.110E+02	1.772E-01	1.960E+00	7.156E-03	1.903E-02	6.432E-03	2.463E+00	9.556E-02	2.364E-01	4.796E-01	4.890E-01
2025	5.742E+00	4.519E+02	1.950E-01	2.156E+00	7.871E-03	2.094E-02	7.076E-03	2.710E+00	1.051E-01	2.600E-01	5.276E-01	5.379E-01
2026	6.262E+00	4.929E+02	2.127E-01	2.353E+00	8.587E-03	2.284E-02	7.719E-03	2.956E+00	1.147E-01	2.836E-01	5.755E-01	5.868E-01
2027	6.782E+00	5.338E+02	2.304E-01	2.549E+00	9.302E-03	2.474E-02	8.362E-03	3.202E+00	1.242E-01	3.073E-01	6.235E-01	6.357E-01
2028	7.301E+00	5.746E+02	2.481E-01	2.745E+00	1.002E-02	2.665E-02	9.005E-03	3.449E+00	1.337E-01	3.309E-01	6.715E-01	6.846E-01
2029	7.820E+00	6.155E+02	2.659E-01	2.941E+00	1.073E-02	2.855E-02	9.649E-03	3.695E+00	1.433E-01	3.546E-01	7.194E-01	7.335E-01
2030	8.339E+00	6.563E+02	2.836E-01	3.137E+00	1.145E-02	3.045E-02	1.029E-02	3.942E+00	1.528E-01	3.782E-01	7.674E-01	7.824E-01
2031	1.076E+01	8.468E+02	3.775E-01	4.175E+00	1.524E-02	4.053E-02	1.370E-02	5.247E+00	2.022E-01	5.034E-01	1.021E+00	1.041E+00
2032	1.318E+01	1.037E+03	4.714E-01	5.214E+00	1.903E-02	5.062E-02	1.711E-02	6.552E+00	2.516E-01	6.286E-01	1.276E+00	1.300E+00
2033	1.560E+01	1.227E+03	5.653E-01	6.252E+00	2.282E-02	6.070E-02	2.051E-02	7.857E+00	3.010E-01	7.539E-01	1.530E+00	1.559E+00
2034	1.802E+01	1.417E+03	6.592E-01	7.291E+00	2.661E-02	7.078E-02	2.392E-02	9.162E+00	3.503E-01	8.791E-01	1.784E+00	1.819E+00
2035	2.044E+01	1.607E+03	7.531E-01	8.330E+00	3.040E-02	8.086E-02	2.733E-02	1.047E+01	3.997E-01	1.004E+00	2.038E+00	2.078E+00
2036	2.285E+01	1.797E+03	8.470E-01	9.368E+00	3.419E-02	9.095E-02	3.074E-02	1.177E+01	4.490E-01	1.130E+00	2.292E+00	2.337E+00
2037	2.527E+01	1.987E+03	9.409E-01	1.041E+01	3.798E-02	1.010E-01	3.415E-02	1.308E+01	4.984E-01	1.255E+00	2.546E+00	2.596E+00
2038	2.768E+01	2.176E+03	1.035E+00	1.145E+01	4.178E-02	1.111E-01	3.755E-02	1.438E+01	5.477E-01	1.380E+00	2.800E+00	2.855E+00
2039	3.009E+01	2.366E+03	1.129E+00	1.248E+01	4.557E-02	1.212E-01	4.096E-02	1.569E+01	5.970E-01	1.505E+00	3.054E+00	3.114E+00
2040	3.249E+01	2.555E+03	1.223E+00	1.352E+01	4.936E-02	1.313E-01	4.437E-02	1.699E+01	6.464E-01	1.630E+00	3.308E+00	3.373E+00
2041	3.490E+01	2.744E+03	1.316E+00	1.456E+01	5.315E-02	1.414E-01	4.778E-02	1.830E+01	6.957E-01	1.756E+00	3.562E+00	3.632E+00
2042	3.730E+01	2.933E+03	1.410E+00	1.560E+01	5.694E-02	1.514E-01	5.118E-02	1.960E+01	7.450E-01	1.881E+00	3.816E+00	3.891E+00
2043	3.971E+01	3.122E+03	1.504E+00	1.664E+01	6.073E-02	1.615E-01	5.459E-02	2.091E+01	7.943E-01	2.006E+00	4.070E+00	4.150E+00
2044	4.211E+01	3.311E+03	1.598E+00	1.768E+01	6.452E-02	1.716E-01	5.800E-02	2.221E+01	8.436E-01	2.131E+00	4.325E+00	4.409E+00
2045	4.450E+01	3.499E+03	1.692E+00	1.872E+01	6.831E-02	1.817E-01	6.141E-02	2.352E+01	8.929E-01	2.257E+00	4.579E+00	4.668E+00
2046	4.690E+01	3.688E+03	1.786E+00	1.975E+01	7.210E-02	1.918E-01	6.481E-02	2.482E+01	9.422E-01	2.382E+00	4.833E+00	4.927E+00
2047	4.930E+01	3.876E+03	1.880E+00	2.079E+01	7.589E-02	2.019E-01	6.822E-02	2.613E+01	9.915E-01	2.507E+00	5.087E+00	5.186E+00
2048	5.169E+01	4.064E+03	1.974E+00	2.183E+01	7.968E-02	2.119E-01	7.163E-02	2.743E+01	1.041E+00	2.632E+00	5.341E+00	5.445E+00
2049	5.408E+01	4.252E+03	2.068E+00	2.287E+01	8.347E-02	2.220E-01	7.504E-02	2.874E+01	1.090E+00	2.757E+00	5.595E+00	5.704E+00
2050	5.647E+01	4.440E+03	2.162E+00	2.391E+01	8.726E-02	2.321E-01	7.844E-02	3.004E+01	1.139E+00	2.883E+00	5.849E+00	5.963E+00

SCENARIO 1

År	Klimaforandring	Nedbrydelse af stratosferisk ozon	Fotokemisk ozondannelse	Forsuring	Eutrofiering	Ferskvands eutrofiering	Udt. af abiotiske ressourcer, grundstoffer	Humantoksicitet, cancerteffekter	Humantoksicitet, ikke-cancereffekter	Økotoksicitet	Udt. af abiotiske ressourcer, fossil	Partikler
2015	9.904E-02	6.384E+00	2.367E-02	1.993E-01	8.768E-04	1.903E-03	6.430E-04	2.463E-01	7.120E-03	2.337E-02	5.558E-02	5.086E-02
2016	1.981E-01	1.277E+01	4.735E-02	3.986E-01	1.754E-03	3.806E-03	1.286E-03	4.927E-01	1.424E-02	4.674E-02	1.112E-01	1.017E-01
2017	2.971E-01	1.915E+01	7.102E-02	5.979E-01	2.630E-03	5.710E-03	1.929E-03	7.390E-01	2.136E-02	7.011E-02	1.668E-01	1.526E-01
2018	3.961E-01	2.554E+01	9.470E-02	7.972E-01	3.507E-03	7.613E-03	2.572E-03	9.853E-01	2.848E-02	9.347E-02	2.223E-01	2.034E-01
2019	4.952E-01	3.192E+01	1.184E-01	9.965E-01	4.384E-03	9.516E-03	3.215E-03	1.232E+00	3.560E-02	1.168E-01	2.779E-01	2.543E-01
2020	5.942E-01	3.831E+01	1.420E-01	1.196E+00	5.261E-03	1.142E-02	3.858E-03	1.478E+00	4.272E-02	1.402E-01	3.335E-01	3.052E-01
2021	6.933E-01	4.469E+01	1.657E-01	1.395E+00	6.137E-03	1.332E-02	4.501E-03	1.724E+00	4.984E-02	1.636E-01	3.891E-01	3.560E-01
2022	7.923E-01	5.107E+01	1.894E-01	1.594E+00	7.014E-03	1.523E-02	5.144E-03	1.971E+00	5.696E-02	1.869E-01	4.447E-01	4.069E-01
2023	8.913E-01	5.746E+01	2.131E-01	1.794E+00	7.891E-03	1.713E-02	5.787E-03	2.217E+00	6.408E-02	2.103E-01	5.003E-01	4.578E-01
2024	9.904E-01	6.384E+01	2.367E-01	1.993E+00	8.768E-03	1.903E-02	6.430E-03	2.463E+00	7.120E-02	2.337E-01	5.558E-01	5.086E-01
2025	1.089E+00	7.023E+01	2.604E-01	2.192E+00	9.645E-03	2.094E-02	7.073E-03	2.710E+00	7.832E-02	2.571E-01	6.114E-01	5.595E-01
2026	1.188E+00	7.661E+01	2.841E-01	2.392E+00	1.052E-02	2.284E-02	7.717E-03	2.956E+00	8.544E-02	2.804E-01	6.670E-01	6.103E-01
2027	1.287E+00	8.300E+01	3.078E-01	2.591E+00	1.140E-02	2.474E-02	8.360E-03	3.202E+00	9.256E-02	3.038E-01	7.226E-01	6.612E-01
2028	1.387E+00	8.938E+01	3.314E-01	2.790E+00	1.227E-02	2.665E-02	9.003E-03	3.449E+00	9.968E-02	3.272E-01	7.782E-01	7.121E-01
2029	1.486E+00	9.576E+01	3.551E-01	2.990E+00	1.315E-02	2.855E-02	9.646E-03	3.695E+00	1.068E-01	3.505E-01	8.338E-01	7.629E-01
2030	1.585E+00	1.021E+02	3.788E-01	3.189E+00	1.403E-02	3.045E-02	1.029E-02	3.941E+00	1.139E-01	3.739E-01	8.893E-01	8.138E-01
2031	1.764E+00	1.085E+02	5.042E-01	4.245E+00	1.867E-02	4.053E-02	1.370E-02	5.246E+00	1.504E-01	4.977E-01	1.184E+00	1.083E+00
2032	1.943E+00	1.149E+02	6.296E-01	5.300E+00	2.332E-02	5.062E-02	1.710E-02	6.551E+00	1.869E-01	6.215E-01	1.478E+00	1.353E+00
2033	2.122E+00	1.213E+02	7.550E-01	6.356E+00	2.796E-02	6.070E-02	2.051E-02	7.856E+00	2.233E-01	7.453E-01	1.773E+00	1.622E+00
2034	2.301E+00	1.277E+02	8.804E-01	7.412E+00	3.261E-02	7.078E-02	2.391E-02	9.161E+00	2.598E-01	8.691E-01	2.067E+00	1.892E+00
2035	2.480E+00	1.341E+02	1.006E+00	8.468E+00	3.725E-02	8.086E-02	2.732E-02	1.047E+01	2.963E-01	9.929E-01	2.362E+00	2.161E+00
2036	2.659E+00	1.405E+02	1.131E+00	9.524E+00	4.190E-02	9.095E-02	3.073E-02	1.177E+01	3.327E-01	1.117E+00	2.656E+00	2.430E+00
2037	2.838E+00	1.468E+02	1.257E+00	1.058E+01	4.654E-02	1.010E-01	3.413E-02	1.308E+01	3.692E-01	1.240E+00	2.951E+00	2.700E+00
2038	3.017E+00	1.532E+02	1.382E+00	1.164E+01	5.119E-02	1.111E-01	3.754E-02	1.438E+01	4.057E-01	1.364E+00	3.245E+00	2.969E+00
2039	3.196E+00	1.596E+02	1.508E+00	1.269E+01	5.583E-02	1.212E-01	4.095E-02	1.569E+01	4.422E-01	1.488E+00	3.539E+00	3.239E+00
2040	3.375E+00	1.660E+02	1.633E+00	1.375E+01	6.048E-02	1.313E-01	4.435E-02	1.699E+01	4.786E-01	1.612E+00	3.834E+00	3.508E+00
2041	3.554E+00	1.724E+02	1.758E+00	1.480E+01	6.512E-02	1.414E-01	4.776E-02	1.830E+01	5.151E-01	1.736E+00	4.128E+00	3.778E+00
2042	3.733E+00	1.788E+02	1.884E+00	1.586E+01	6.977E-02	1.514E-01	5.117E-02	1.960E+01	5.516E-01	1.859E+00	4.423E+00	4.047E+00
2043	3.912E+00	1.852E+02	2.009E+00	1.691E+01	7.441E-02	1.615E-01	5.457E-02	2.091E+01	5.880E-01	1.983E+00	4.717E+00	4.317E+00
2044	4.091E+00	1.915E+02	2.135E+00	1.797E+01	7.906E-02	1.716E-01	5.798E-02	2.221E+01	6.245E-01	2.107E+00	5.012E+00	4.586E+00
2045	4.270E+00	1.979E+02	2.260E+00	1.903E+01	8.370E-02	1.817E-01	6.139E-02	2.352E+01	6.610E-01	2.231E+00	5.306E+00	4.855E+00
2046	4.449E+00	2.043E+02	2.385E+00	2.008E+01	8.835E-02	1.918E-01	6.479E-02	2.482E+01	6.974E-01	2.355E+00	5.601E+00	5.125E+00
2047	4.628E+00	2.107E+02	2.511E+00	2.114E+01	9.299E-02	2.019E-01	6.820E-02	2.613E+01	7.339E-01	2.478E+00	5.895E+00	5.394E+00
2048	4.807E+00	2.171E+02	2.636E+00	2.219E+01	9.764E-02	2.119E-01	7.161E-02	2.743E+01	7.704E-01	2.602E+00	6.190E+00	5.664E+00
2049	4.986E+00	2.235E+02	2.762E+00	2.325E+01	1.023E-01	2.220E-01	7.501E-02	2.874E+01	8.069E-01	2.726E+00	6.484E+00	5.933E+00
2050	5.165E+00	2.299E+02	2.887E+00	2.431E+01	1.069E-01	2.321E-01	7.842E-02	3.004E+01	8.433E-01	2.850E+00	6.779E+00	6.203E+00

SCENARIO 2

År	Klimaforandring	Nedbrydelse af stratosferisk ozon	Fotokemisk ozondannelse	Forsuring	Eutrofiering	Ferskvands eutrofiering	Udt. af abiotiske ressourcer, grundstoffer	Humantoksicitet, cancerteffekter	Humantoksicitet, ikke-cancereffekter	Økotoksicitet	Udt. af abiotiske ressourcer, fossil	Partikler
2015	1.536E-01	1.218E+01	1.797E-02	1.956E-01	6.038E-04	1.903E-03	6.430E-04	2.462E-01	7.576E-03	2.367E-02	4.429E-02	4.922E-02
2016	3.069E-01	2.434E+01	3.594E-02	3.912E-01	1.208E-03	3.806E-03	1.286E-03	4.924E-01	1.515E-02	4.734E-02	8.858E-02	9.844E-02
2017	4.598E-01	3.647E+01	5.391E-02	5.867E-01	1.812E-03	5.710E-03	1.929E-03	7.386E-01	2.273E-02	7.100E-02	1.329E-01	1.477E-01
2018	6.124E-01	4.858E+01	7.187E-02	7.823E-01	2.415E-03	7.613E-03	2.572E-03	9.848E-01	3.030E-02	9.467E-02	1.772E-01	1.969E-01
2019	7.647E-01	6.066E+01	8.984E-02	9.779E-01	3.019E-03	9.516E-03	3.215E-03	1.231E+00	3.787E-02	1.183E-01	2.214E-01	2.461E-01
2020	9.166E-01	7.271E+01	1.078E-01	1.173E+00	3.623E-03	1.142E-02	3.858E-03	1.477E+00	4.544E-02	1.420E-01	2.657E-01	2.953E-01
2021	1.081E+00	8.474E+01	1.272E-01	1.371E+00	4.448E-03	1.332E-02	4.498E-03	1.723E+00	5.407E-02	1.657E-01	3.242E-01	3.461E-01
2022	1.234E+00	9.674E+01	1.454E-01	1.567E+00	5.084E-03	1.523E-02	5.141E-03	1.970E+00	6.179E-02	1.894E-01	3.705E-01	3.955E-01
2023	1.386E+00	1.087E+02	1.635E-01	1.762E+00	5.719E-03	1.713E-02	5.783E-03	2.216E+00	6.951E-02	2.130E-01	4.168E-01	4.450E-01
2024	1.539E+00	1.207E+02	1.817E-01	1.958E+00	6.355E-03	1.903E-02	6.426E-03	2.462E+00	7.722E-02	2.367E-01	4.631E-01	4.944E-01
2025	1.691E+00	1.326E+02	1.999E-01	2.154E+00	6.990E-03	2.094E-02	7.069E-03	2.708E+00	8.494E-02	2.604E-01	5.094E-01	5.438E-01
2026	1.842E+00	1.445E+02	2.180E-01	2.350E+00	7.626E-03	2.284E-02	7.711E-03	2.954E+00	9.265E-02	2.840E-01	5.557E-01	5.933E-01
2027	1.994E+00	1.564E+02	2.362E-01	2.546E+00	8.261E-03	2.474E-02	8.354E-03	3.200E+00	1.004E-01	3.077E-01	6.021E-01	6.427E-01
2028	2.145E+00	1.682E+02	2.544E-01	2.742E+00	8.897E-03	2.664E-02	8.996E-03	3.447E+00	1.081E-01	3.314E-01	6.484E-01	6.922E-01
2029	2.296E+00	1.800E+02	2.726E-01	2.937E+00	9.532E-03	2.855E-02	9.639E-03	3.693E+00	1.158E-01	3.550E-01	6.947E-01	7.416E-01
2030	2.446E+00	1.918E+02	2.907E-01	3.133E+00	1.017E-02	3.045E-02	1.028E-02	3.939E+00	1.235E-01	3.787E-01	7.410E-01	7.910E-01
2031	2.918E+00	2.285E+02	3.870E-01	4.171E+00	1.353E-02	4.053E-02	1.369E-02	5.243E+00	1.632E-01	5.041E-01	9.863E-01	1.053E+00
2032	3.389E+00	2.651E+02	4.832E-01	5.208E+00	1.690E-02	5.062E-02	1.709E-02	6.547E+00	2.028E-01	6.295E-01	1.232E+00	1.315E+00
2033	3.857E+00	3.015E+02	5.795E-01	6.245E+00	2.027E-02	6.070E-02	2.049E-02	7.852E+00	2.425E-01	7.549E-01	1.477E+00	1.577E+00
2034	4.324E+00	3.377E+02	6.758E-01	7.283E+00	2.363E-02	7.078E-02	2.390E-02	9.156E+00	2.821E-01	8.802E-01	1.722E+00	1.839E+00
2035	4.789E+00	3.739E+02	7.720E-01	8.320E+00	2.700E-02	8.086E-02	2.730E-02	1.046E+01	3.218E-01	1.006E+00	1.968E+00	2.101E+00
2036	5.252E+00	4.099E+02	8.683E-01	9.358E+00	3.037E-02	9.095E-02	3.071E-02	1.176E+01	3.614E-01	1.131E+00	2.213E+00	2.363E+00
2037	5.714E+00	4.457E+02	9.645E-01	1.040E+01	3.373E-02	1.010E-01	3.411E-02	1.307E+01	4.011E-01	1.256E+00	2.458E+00	2.624E+00
2038	6.174E+00	4.815E+02	1.061E+00	1.143E+01	3.710E-02	1.111E-01	3.752E-02	1.437E+01	4.407E-01	1.382E+00	2.704E+00	2.886E+00
2039	6.632E+00	5.170E+02	1.157E+00	1.247E+01	4.047E-02	1.212E-01	4.092E-02	1.568E+01	4.803E-01	1.507E+00	2.949E+00	3.148E+00
2040	7.089E+00	5.525E+02	1.253E+00	1.351E+01	4.383E-02	1.313E-01	4.432E-02	1.698E+01	5.199E-01	1.633E+00	3.194E+00	3.410E+00
2041	7.543E+00	5.878E+02	1.350E+00	1.454E+01	4.720E-02	1.414E-01	4.773E-02	1.829E+01	5.595E-01	1.758E+00	3.440E+00	3.672E+00
2042	7.996E+00	6.230E+02	1.446E+00	1.558E+01	5.057E-02	1.514E-01	5.113E-02	1.959E+01	5.991E-01	1.883E+00	3.685E+00	3.934E+00
2043	8.447E+00	6.580E+02	1.542E+00	1.662E+01	5.393E-02	1.615E-01	5.454E-02	2.089E+01	6.387E-01	2.009E+00	3.930E+00	4.196E+00
2044	8.897E+00	6.929E+02	1.638E+00	1.766E+01	5.730E-02	1.716E-01	5.794E-02	2.220E+01	6.783E-01	2.134E+00	4.176E+00	4.458E+00
2045	9.344E+00	7.276E+02	1.735E+00	1.860E+01	6.067E-02	1.817E-01	6.134E-02	2.350E+01	7.179E-01	2.260E+00	4.421E+00	4.720E+00
2046	9.790E+00	7.622E+02	1.831E+00	1.973E+01	6.403E-02	1.918E-01	6.475E-02	2.481E+01	7.575E-01	2.385E+00	4.666E+00	4.982E+00
2047	1.023E+01	7.967E+02	1.927E+00	2.077E+01	6.740E-02	2.019E-01	6.815E-02	2.611E+01	7.970E-01	2.510E+00	4.912E+00	5.244E+00
2048	1.068E+01	8.314E+02	2.023E+00	2.181E+01	7.076E-02	2.119E-01	7.156E-02	2.741E+01	8.366E-01	2.636E+00	5.157E+00	5.505E+00
2049	1.112E+01	8.653E+02	2.120E+00	2.284E+01	7.413E-02	2.220E-01	7.496E-02	2.872E+01	8.761E-01	2.761E+00	5.402E+00	5.767E+00
2050	1.156E+01	8.993E+02	2.216E+00	2.388E+01	7.750E-02	2.321E-01	7.837E-02	3.002E+01	9.157E-01	2.886E+00	5.648E+00	6.029E+00

SCENARIO 3A

År	Klimaforandring	Nedbrydelse af stratosferisk ozon	Fotokemisk ozondannelse	Forsuring	Eutrofiering	Ferskvands eutrofiering	Udt. af abiotiske ressourcer, grundstoffer	Humantoksicitet, cancerteffekter	Humantoksicitet, ikke-cancereffekter	Økotoksicitet	Udt. af abiotiske ressourcer, fossil	Partikler
2015	6.975E-02	6.915E+00	2.054E-02	2.872E-01	5.085E-04	1.903E-03	6.430E-04	2.461E-01	7.553E-03	2.400E-02	4.654E-02	6.569E-02
2016	1.388E-01	1.378E+01	4.107E-02	5.744E-01	1.017E-03	3.806E-03	1.286E-03	4.921E-01	1.510E-02	4.799E-02	9.308E-02	1.314E-01
2017	2.073E-01	2.059E+01	6.161E-02	8.617E-01	1.525E-03	5.710E-03	1.929E-03	7.382E-01	2.265E-02	7.199E-02	1.396E-01	1.971E-01
2018	2.751E-01	2.734E+01	8.215E-02	1.149E+00	2.034E-03	7.613E-03	2.572E-03	9.842E-01	3.020E-02	9.599E-02	1.862E-01	2.627E-01
2019	3.422E-01	3.405E+01	1.027E-01	1.436E+00	2.542E-03	9.516E-03	3.215E-03	1.230E+00	3.774E-02	1.200E-01	2.327E-01	3.284E-01
2020	4.086E-01	4.070E+01	1.232E-01	1.723E+00	3.051E-03	1.142E-02	3.858E-03	1.476E+00	4.528E-02	1.440E-01	2.793E-01	3.941E-01
2021	4.991E-01	4.730E+01	1.466E-01	2.014E+00	4.003E-03	1.332E-02	4.495E-03	1.722E+00	5.494E-02	1.680E-01	3.541E-01	4.629E-01
2022	5.677E-01	5.385E+01	1.675E-01	2.302E+00	4.574E-03	1.523E-02	5.137E-03	1.968E+00	6.278E-02	1.920E-01	4.047E-01	5.290E-01
2023	6.357E-01	6.035E+01	1.885E-01	2.589E+00	5.146E-03	1.713E-02	5.779E-03	2.214E+00	7.061E-02	2.160E-01	4.553E-01	5.951E-01
2024	7.030E-01	6.679E+01	2.094E-01	2.877E+00	5.718E-03	1.903E-02	6.422E-03	2.460E+00	7.845E-02	2.400E-01	5.059E-01	6.612E-01
2025	7.697E-01	7.318E+01	2.303E-01	3.165E+00	6.290E-03	2.094E-02	7.064E-03	2.706E+00	8.628E-02	2.640E-01	5.565E-01	7.274E-01
2026	8.357E-01	7.952E+01	2.513E-01	3.453E+00	6.861E-03	2.284E-02	7.706E-03	2.953E+00	9.411E-02	2.880E-01	6.071E-01	7.935E-01
2027	9.011E-01	8.581E+01	2.722E-01	3.740E+00	7.433E-03	2.474E-02	8.348E-03	3.199E+00	1.019E-01	3.120E-01	6.576E-01	8.596E-01
2028	9.658E-01	9.204E+01	2.932E-01	4.028E+00	8.005E-03	2.664E-02	8.990E-03	3.445E+00	1.098E-01	3.360E-01	7.082E-01	9.257E-01
2029	1.030E+00	9.822E+01	3.141E-01	4.316E+00	8.577E-03	2.855E-02	9.632E-03	3.691E+00	1.176E-01	3.600E-01	7.588E-01	9.919E-01
2030	1.093E+00	1.044E+02	3.350E-01	4.604E+00	9.149E-03	3.045E-02	1.027E-02	3.937E+00	1.254E-01	3.840E-01	8.094E-01	1.058E+00
2031	1.125E+00	1.127E+02	4.460E-01	6.128E+00	1.218E-02	4.053E-02	1.368E-02	5.240E+00	1.657E-01	5.111E-01	1.077E+00	1.408E+00
2032	1.154E+00	1.208E+02	5.569E-01	7.652E+00	1.521E-02	5.062E-02	1.708E-02	6.544E+00	2.060E-01	6.382E-01	1.345E+00	1.759E+00
2033	1.179E+00	1.286E+02	6.678E-01	9.176E+00	1.824E-02	6.070E-02	2.048E-02	7.847E+00	2.463E-01	7.654E-01	1.613E+00	2.109E+00
2034	1.200E+00	1.361E+02	7.788E-01	1.070E+01	2.126E-02	7.078E-02	2.388E-02	9.150E+00	2.866E-01	8.925E-01	1.881E+00	2.459E+00
2035	1.218E+00	1.434E+02	8.897E-01	1.222E+01	2.429E-02	8.086E-02	2.728E-02	1.045E+01	3.269E-01	1.020E+00	2.149E+00	2.809E+00
2036	1.233E+00	1.503E+02	1.001E+00	1.375E+01	2.732E-02	9.095E-02	3.069E-02	1.176E+01	3.672E-01	1.147E+00	2.417E+00	3.160E+00
2037	1.244E+00	1.570E+02	1.112E+00	1.527E+01	3.035E-02	1.010E-01	3.409E-02	1.306E+01	4.074E-01	1.274E+00	2.685E+00	3.510E+00
2038	1.251E+00	1.634E+02	1.222E+00	1.680E+01	3.338E-02	1.111E-01	3.749E-02	1.436E+01	4.477E-01	1.401E+00	2.953E+00	3.860E+00
2039	1.255E+00	1.696E+02	1.333E+00	1.832E+01	3.641E-02	1.212E-01	4.089E-02	1.567E+01	4.879E-01	1.528E+00	3.221E+00	4.211E+00
2040	1.256E+00	1.754E+02	1.444E+00	1.985E+01	3.944E-02	1.313E-01	4.429E-02	1.697E+01	5.281E-01	1.655E+00	3.489E+00	4.561E+00
2041	1.253E+00	1.810E+02	1.555E+00	2.137E+01	4.247E-02	1.414E-01	4.769E-02	1.827E+01	5.683E-01	1.782E+00	3.757E+00	4.911E+00
2042	1.247E+00	1.863E+02	1.666E+00	2.289E+01	4.550E-02	1.514E-01	5.110E-02	1.958E+01	6.085E-01	1.910E+00	4.025E+00	5.262E+00
2043	1.237E+00	1.914E+02	1.777E+00	2.442E+01	4.853E-02	1.615E-01	5.450E-02	2.088E+01	6.487E-01	2.037E+00	4.293E+00	5.612E+00
2044	1.223E+00	1.961E+02	1.888E+00	2.594E+01	5.156E-02	1.716E-01	5.790E-02	2.218E+01	6.888E-01	2.164E+00	4.561E+00	5.962E+00
2045	1.206E+00	2.006E+02	1.999E+00	2.747E+01	5.458E-02	1.817E-01	6.130E-02	2.349E+01	7.290E-01	2.291E+00	4.829E+00	6.312E+00
2046	1.186E+00	2.048E+02	2.110E+00	2.899E+01	5.761E-02	1.918E-01	6.470E-02	2.479E+01	7.691E-01	2.418E+00	5.097E+00	6.663E+00
2047	1.162E+00	2.087E+02	2.221E+00	3.052E+01	6.064E-02	2.019E-01	6.811E-02	2.610E+01	8.092E-01	2.545E+00	5.365E+00	7.013E+00
2048	1.135E+00	2.124E+02	2.332E+00	3.204E+01	6.367E-02	2.119E-01	7.151E-02	2.740E+01	8.494E-01	2.672E+00	5.633E+00	7.363E+00
2049	1.104E+00	2.157E+02	2.443E+00	3.356E+01	6.670E-02	2.220E-01	7.491E-02	2.870E+01	8.895E-01	2.800E+00	5.901E+00	7.714E+00
2050	1.069E+00	2.188E+02	2.554E+00	3.509E+01	6.973E-02	2.321E-01	7.831E-02	3.001E+01	9.295E-01	2.927E+00	6.169E+00	8.064E+00

SCENARIO 3B

År	Klimaforandring	Nedbrydelse af stratosferisk ozon	Fotokemisk ozondannelse	Forsuring	Eutrofiering	Ferskvands eutrofiering	Udt. af abiotiske ressourcer, grundstoffer	Humantoksicitet, cancereffekter	Humantoksicitet, ikke-cancereffekter	Økotoksicitet	Udt. af abiotiske ressourcer, fossil	Partikler
2015	2.092E-01	1.798E+01	2.054E-02	2.872E-01	5.085E-04	1.903E-03	6.430E-04	2.461E-01	8.047E-03	2.400E-02	4.654E-02	6.569E-02
2016	4.177E-01	3.592E+01	4.107E-02	5.744E-01	1.017E-03	3.806E-03	1.286E-03	4.921E-01	1.609E-02	4.799E-02	9.308E-02	1.314E-01
2017	6.256E-01	5.380E+01	6.161E-02	8.617E-01	1.525E-03	5.710E-03	1.929E-03	7.382E-01	2.413E-02	7.199E-02	1.396E-01	1.971E-01
2018	8.328E-01	7.162E+01	8.215E-02	1.149E+00	2.034E-03	7.613E-03	2.572E-03	9.842E-01	3.217E-02	9.599E-02	1.862E-01	2.627E-01
2019	1.039E+00	8.940E+01	1.027E-01	1.436E+00	2.542E-03	9.516E-03	3.215E-03	1.230E+00	4.021E-02	1.200E-01	2.327E-01	3.284E-01
2020	1.245E+00	1.071E+02	1.232E-01	1.723E+00	3.051E-03	1.142E-02	3.858E-03	1.476E+00	4.824E-02	1.440E-01	2.792E-01	3.941E-01
2021	1.475E+00	1.248E+02	1.466E-01	2.014E+00	4.003E-03	1.332E-02	4.495E-03	1.722E+00	5.840E-02	1.680E-01	3.541E-01	4.629E-01
2022	1.683E+00	1.424E+02	1.675E-01	2.302E+00	4.574E-03	1.523E-02	5.137E-03	1.968E+00	6.673E-02	1.920E-01	4.047E-01	5.290E-01
2023	1.891E+00	1.600E+02	1.885E-01	2.589E+00	5.146E-03	1.713E-02	5.779E-03	2.214E+00	7.506E-02	2.160E-01	4.553E-01	5.951E-01
2024	2.097E+00	1.775E+02	2.094E-01	2.877E+00	5.718E-03	1.903E-02	6.422E-03	2.460E+00	8.339E-02	2.400E-01	5.059E-01	6.612E-01
2025	2.304E+00	1.949E+02	2.303E-01	3.165E+00	6.290E-03	2.094E-02	7.064E-03	2.706E+00	9.171E-02	2.640E-01	5.565E-01	7.274E-01
2026	2.509E+00	2.124E+02	2.513E-01	3.453E+00	6.861E-03	2.284E-02	7.706E-03	2.953E+00	1.000E-01	2.880E-01	6.070E-01	7.935E-01
2027	2.714E+00	2.297E+02	2.722E-01	3.740E+00	7.433E-03	2.474E-02	8.348E-03	3.199E+00	1.084E-01	3.120E-01	6.576E-01	8.596E-01
2028	2.918E+00	2.470E+02	2.932E-01	4.028E+00	8.005E-03	2.664E-02	8.990E-03	3.445E+00	1.167E-01	3.360E-01	7.082E-01	9.257E-01
2029	3.121E+00	2.643E+02	3.141E-01	4.316E+00	8.577E-03	2.855E-02	9.632E-03	3.691E+00	1.250E-01	3.600E-01	7.588E-01	9.919E-01
2030	3.324E+00	2.815E+02	3.350E-01	4.604E+00	9.149E-03	3.045E-02	1.027E-02	3.937E+00	1.333E-01	3.840E-01	8.094E-01	1.058E+00
2031	4.095E+00	3.485E+02	4.460E-01	6.128E+00	1.218E-02	4.053E-02	1.368E-02	5.240E+00	1.762E-01	5.111E-01	1.077E+00	1.408E+00
2032	4.862E+00	4.152E+02	5.569E-01	7.652E+00	1.521E-02	5.062E-02	1.708E-02	6.544E+00	2.192E-01	6.382E-01	1.345E+00	1.759E+00
2033	5.626E+00	4.816E+02	6.678E-01	9.176E+00	1.824E-02	6.070E-02	2.048E-02	7.847E+00	2.621E-01	7.654E-01	1.613E+00	2.109E+00
2034	6.386E+00	5.478E+02	7.788E-01	1.070E+01	2.126E-02	7.078E-02	2.388E-02	9.150E+00	3.050E-01	8.925E-01	1.881E+00	2.459E+00
2035	7.143E+00	6.137E+02	8.897E-01	1.222E+01	2.429E-02	8.086E-02	2.728E-02	1.045E+01	3.479E-01	1.020E+00	2.149E+00	2.809E+00
2036	7.896E+00	6.793E+02	1.001E+00	1.375E+01	2.732E-02	9.095E-02	3.069E-02	1.176E+01	3.908E-01	1.147E+00	2.417E+00	3.160E+00
2037	8.646E+00	7.446E+02	1.112E+00	1.527E+01	3.035E-02	1.010E-01	3.409E-02	1.306E+01	4.336E-01	1.274E+00	2.685E+00	3.510E+00
2038	9.392E+00	8.097E+02	1.222E+00	1.680E+01	3.338E-02	1.111E-01	3.749E-02	1.436E+01	4.765E-01	1.401E+00	2.953E+00	3.860E+00
2039	1.013E+01	8.745E+02	1.333E+00	1.832E+01	3.641E-02	1.212E-01	4.089E-02	1.567E+01	5.193E-01	1.528E+00	3.221E+00	4.211E+00
2040	1.087E+01	9.390E+02	1.444E+00	1.985E+01	3.944E-02	1.313E-01	4.429E-02	1.697E+01	5.622E-01	1.655E+00	3.489E+00	4.561E+00
2041	1.161E+01	1.003E+03	1.555E+00	2.137E+01	4.247E-02	1.414E-01	4.769E-02	1.827E+01	6.050E-01	1.782E+00	3.757E+00	4.911E+00
2042	1.234E+01	1.067E+03	1.666E+00	2.289E+01	4.550E-02	1.514E-01	5.110E-02	1.958E+01	6.478E-01	1.910E+00	4.025E+00	5.262E+00
2043	1.307E+01	1.131E+03	1.777E+00	2.442E+01	4.853E-02	1.615E-01	5.450E-02	2.088E+01	6.906E-01	2.037E+00	4.293E+00	5.612E+00
2044	1.380E+01	1.194E+03	1.888E+00	2.594E+01	5.156E-02	1.716E-01	5.790E-02	2.218E+01	7.334E-01	2.164E+00	4.561E+00	5.962E+00
2045	1.452E+01	1.257E+03	1.999E+00	2.747E+01	5.458E-02	1.817E-01	6.130E-02	2.349E+01	7.761E-01	2.291E+00	4.829E+00	6.312E+00
2046	1.524E+01	1.320E+03	2.110E+00	2.899E+01	5.761E-02	1.918E-01	6.470E-02	2.479E+01	8.189E-01	2.418E+00	5.097E+00	6.663E+00
2047	1.595E+01	1.383E+03	2.221E+00	3.052E+01	6.064E-02	2.019E-01	6.811E-02	2.610E+01	8.616E-01	2.545E+00	5.365E+00	7.013E+00
2048	1.666E+01	1.445E+03	2.332E+00	3.204E+01	6.367E-02	2.119E-01	7.151E-02	2.740E+01	9.044E-01	2.672E+00	5.633E+00	7.363E+00
2049	1.737E+01	1.507E+03	2.443E+00	3.356E+01	6.670E-02	2.220E-01	7.491E-02	2.870E+01	9.471E-01	2.800E+00	5.901E+00	7.714E+00
2050	1.807E+01	1.569E+03	2.554E+00	3.509E+01	6.973E-02	2.321E-01	7.831E-02	3.001E+01	9.898E-01	2.927E+00	6.169E+00	8.064E+00

Bilag 3: Akkumulerede miljøpåvirkninger i kategorien nedbrydelse af stratosfærisk ozon

År	Scenarie 0	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3A	Scenarie 3B
2015	4.122E+01	6.384E+00	1.218E+01	6.915E+00	1.798E+01
2016	8.241E+01	1.277E+01	2.434E+01	1.378E+01	3.592E+01
2017	1.236E+02	1.915E+01	3.647E+01	2.059E+01	5.380E+01
2018	1.647E+02	2.554E+01	4.858E+01	2.734E+01	7.162E+01
2019	2.058E+02	3.192E+01	6.066E+01	3.405E+01	8.940E+01
2020	2.469E+02	3.831E+01	7.271E+01	4.070E+01	1.071E+02
2021	2.880E+02	4.469E+01	8.474E+01	4.730E+01	1.248E+02
2022	3.290E+02	5.107E+01	9.674E+01	5.385E+01	1.424E+02
2023	3.700E+02	5.746E+01	1.087E+02	6.035E+01	1.600E+02
2024	4.110E+02	6.384E+01	1.207E+02	6.679E+01	1.775E+02
2025	4.519E+02	7.023E+01	1.326E+02	7.318E+01	1.949E+02
2026	4.929E+02	7.661E+01	1.445E+02	7.952E+01	2.124E+02
2027	5.338E+02	8.300E+01	1.564E+02	8.581E+01	2.297E+02
2028	5.746E+02	8.938E+01	1.682E+02	9.204E+01	2.470E+02
2029	6.155E+02	9.576E+01	1.800E+02	9.822E+01	2.643E+02
2030	6.563E+02	1.021E+02	1.918E+02	1.044E+02	2.815E+02
2031	8.468E+02	1.085E+02	2.285E+02	1.127E+02	3.485E+02
2032	1.037E+03	1.149E+02	2.651E+02	1.208E+02	4.152E+02
2033	1.227E+03	1.213E+02	3.015E+02	1.286E+02	4.816E+02
2034	1.417E+03	1.277E+02	3.377E+02	1.361E+02	5.478E+02
2035	1.607E+03	1.341E+02	3.739E+02	1.434E+02	6.137E+02
2036	1.797E+03	1.405E+02	4.099E+02	1.503E+02	6.793E+02
2037	1.987E+03	1.468E+02	4.457E+02	1.570E+02	7.446E+02
2038	2.176E+03	1.532E+02	4.815E+02	1.634E+02	8.097E+02
2039	2.366E+03	1.596E+02	5.170E+02	1.696E+02	8.745E+02
2040	2.555E+03	1.660E+02	5.525E+02	1.754E+02	9.390E+02
2041	2.744E+03	1.724E+02	5.878E+02	1.810E+02	1.003E+03
2042	2.933E+03	1.788E+02	6.230E+02	1.863E+02	1.067E+03
2043	3.122E+03	1.852E+02	6.580E+02	1.914E+02	1.131E+03
2044	3.311E+03	1.915E+02	6.929E+02	1.961E+02	1.194E+03
2045	3.499E+03	1.979E+02	7.276E+02	2.006E+02	1.257E+03
2046	3.688E+03	2.043E+02	7.622E+02	2.048E+02	1.320E+03
2047	3.876E+03	2.107E+02	7.967E+02	2.087E+02	1.383E+03
2048	4.064E+03	2.171E+02	8.311E+02	2.124E+02	1.445E+03
2049	4.252E+03	2.235E+02	8.653E+02	2.157E+02	1.507E+03
2050	4.440E+03	2.299E+02	8.993E+02	2.188E+02	1.569E+03

Livscyklusvurdering af behandling af gamle CFC-holdige fjernvarmerør

Denne rapport omfatter en livscyklusbaseret miljøvurdering (LCA) af alternative scenarier for behandling af gamle CFC-holdige fjernvarmerør lagt i perioden indtil 1995, hvor brugen af de ozonnedbrydende CFC-gasser blev forbudt. Miljøvurderingen sammenligner de potentielle miljøpåvirkninger og forbrug af abiotiske ressourcer med et referencescenarie (scenarie 0), som beskriver eksisterende praksis for håndtering af udtjente fjernvarmerør, hvor opgravede rør neddeles, shreds og resterne deponeres. De alternative scenarier inkluderer både deponering i jorden, opgravning og neddeling af fjernvarmerør og efterfølgende forbrænding i kommunalt affaldsforbrændingsanlæg, med eller uden opsamling og destruktion af CFC, samt energiudnyttelse af de brændbare fraktioner og genanvendelse af stål. I behandlingsscenarierne er produktion og nedlægning af nye fjernvarmerør desuden inkluderet.

Det er vigtigt at understrege, at miljøvurderingens resultater er baseret på en række forudsætninger, hvor især antagelsen om diffusion af CFC-11 i rørets levetid samt udslippet af CFC-11 ved neddeling af rørene ved bortskaffelse, er behæftet med nogen usikkerhed. Ved diffusion af CFC-11 i rørets levetid, er det især mængden af CFC-11 som afdamper til atmosfæren, frem for at transporteres ud i jordlag og derfra videre til grundvandet, som er af stor betydning.

Det overordnede resultat af miljøvurderingen er, at behandlingsscenariet med opgravning og opsamling af CFC-11 (scenarie 3A) giver de mindste miljøpåvirkninger i kategorierne klimaforandring samt nedbrydelse af stratosfærisk ozon. Derudover har scenarie 3A også nogle af de laveste påvirkninger i stort set alle andre kategorier. Set ud fra en overordnet miljømæssig betragtning, vil det derfor være mest fordelagtigt, at opgrave udtjente rørstrækninger og i forbindelse med bortskaffelsen sikre sig, at al CFC-11 opsamles og destrueres.



**Miljø- og
Fødevarerministeriet**
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk