



HELBREDSEFFEKTER OG EKSTERNE OMKOSTNINGER AF EMISSIONER FRA HALMFYR

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 322

2019



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

HELBREDSEFFEKTER OG EKSTERNE OMKOSTNINGER AF EMISSIONER FRA HALMFYR

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 322

2019

Steen Solvang Jensen
Jørgen Brandt
Jesper H. Christensen
Lise M. Frohn
Marlene Schmidt Plejdrup
Ole-Kenneth Nielsen
Per Løfstrøm

Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 322
Titel:	Helbredseffekter og eksterne omkostninger af emissioner fra halmfyr
Forfattere:	Steen Solvang Jensen, Jørgen Brandt, Jesper H. Christensen, Lise M. Frohn, Marlene Schmidt Plejdrup, Ole-Kenneth Nielsen, Per Løfstrøm
Institution(er):	Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Juni 2019
Redaktion afsluttet:	Juni 2019
Faglig kommentering:	Camilla Geels
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Sproglig kvalitetssikring:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Jensen, S.S., Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Løfstrøm, P. 2019. Helbredseffekter og eksterne omkostninger af emissioner fra halmfyr. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 44 s. - Videnskabelig rapport nr. 322. http://dce2.au.dk/pub/SR322.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Denne rapport beskriver emissioner fra halmfyr i Danmark, og de helbredseffekter og tilhørende eksterne omkostninger, som emissionerne giver anledning til. Endvidere er beregnet, hvor mange mennesker der bor inden for forskellige afstande af halmfyr, og dette er vurderet i forhold til afstandskrav fra halmfyr til nærmeste nabo. Afstandskrav er opstillet af Miljøstyrelsen for indirekte regulering af skorstenshøjder for halmfyr.
Emneord:	Halmfyr, emission, helbredseffekter, eksterne omkostninger, afstandskrav
Layout:	Majbritt Ulrich
Foto forside:	Colourbox
ISBN:	978-87-7156-406-8
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	44
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR322.pdf

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Formål og baggrund	6
Undersøgelsen	6
Hovedkonklusioner	6
Summary in English	10
Purpose and background	10
The study	10
The main conclusions	11
1. Overordnet metode og datagrundlag	13
1.1 Emissioner fra halmfyr	13
1.2 EVA-systemet – beregning af helbredseffekter og eksterne omkostninger	15
1.3 Mennesker bosat i forskellige afstande af halmfyr	19
2. Helbredseffekter og eksterne omkostninger	21
2.1 Totale helbredseffekter af emissioner fra halmfyr	21
2.2 Litteraturstudie af helbredseffekter af partikler fra halmfyr	22
2.3 Totale eksterne omkostninger af emissioner fra halmfyr	22
2.4 Enhedspriser for luftforurening fra halmfyr fordelt på regioner og by-kategorier	23
3. Beboelse og afstande til halmfyr	26
3.1 Metodebeskrivelse	26
3.2 Antal personer i forskellige afstande til halmfyr	29
4. Afstande fra halmfyr til overholdelse af B-værdier	31
4.1 Afstandskrav for overholdelse af B-værdier	31
4.2 Afstandskrav og beboelse	32
Referencer	37
Bilag 1 Beskrivelse af partikler	41
Størrelsesfordeling af partikler	41
Primære og sekundære partikler	41
Partikler fra halmfyr	43
Bilag 2 Vurdering af halmfyrpartiklers farlighed	44

Forord

Miljøstyrelsen har anmodet DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi under Aarhus Universitet om at gennemføre et projekt omkring helbredseffekter og tilhørende eksterne omkostninger af emissioner fra halmfyr i Danmark. De eksterne omkostninger er de samfundsmæssige omkostninger af helbredseffekterne, som luftforureningen fra halmfyr giver anledning til.

Undersøgelsen bygger på opdaterede emissioner fra halmfyr. Det sker på baggrund af halmforbruget samt opdaterede emissionsfaktorer (Nielsen & Plejdrup, 2017). Emissionsfaktorer er emission af luftforurening pr. forbrugt energienhed.

Luftkvalitetsmodeller er anvendt til at estimere, hvor meget emissioner fra halmfyr i Danmark bidrager til luftens koncentration af forurenende stoffer (baggrundskoncentrationen) beregnet med en geografisk opløsning på 1 km x 1 km. Ud fra dette bidrag kan helbredseffekter og eksterne omkostninger beregnes. Dette er gjort ved en underopdeling på de 5 regioner i Danmark samt forskellige befolkningstætheder. På denne baggrund er det muligt at differentiere de eksterne omkostninger af halmfyr afhængig af deres placering.

Endvidere er det beregnet, hvor mange mennesker der bor inden for forskellige afstande af halmfyr, og dette er vurderet i forhold til afstandskrav fra halmfyr til nærmeste nabo, som er opstillet af Miljøstyrelsen i en tidligere undersøgelse (Løfstrøm, 2017).

Sammenfatning

Formål og baggrund

Formålet med projektet er at estimere helbredseffekter og tilhørende eksterne omkostninger af emissioner fra halmfyr i Danmark. De eksterne omkostninger er de samfundsmæssige omkostninger af helbredseffekterne, som luftforureningen fra halmfyr giver anledning til.

Undersøgelsen

Emissioner fra halmfyr

De totale emissioner fra halmfyr er beregnet for 2016 på baggrund af halmforbruget samt opdaterede emissionsfaktorer (Nielsen & Plejdrup, 2017). Emissionsfaktorer er emission af luftforurening pr. forbrugt energienhed. Emissionerne er geografisk fordelt på 1 km x 1 km ved hjælp af SPREAD modellen (Plejdrup et al., 2018). Heri fordeles emissionerne i den nationale emissionsopgørelse ud fra forskellige geografiske fordelingsnøgler.

Helbredseffekter og eksterne omkostninger

Luftkvalitetsmodeller er anvendt til at estimere, hvor meget emissioner fra halmfyr i Danmark bidrager til baggrundskoncentrationen beregnet med en geografisk opløsning på 1 km x 1 km. De anvendte modeller er DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model) og UBM (Urban Background Model). Ud fra dette bidrag kan helbredseffekter og eksterne omkostninger beregnes med EVA-systemet (Economic Valuation of Air Pollution). Dette er gjort med en underopdeling på de 5 regioner i Danmark samt forskellige befolkningstætheder. På denne baggrund er det muligt at differentiere de eksterne omkostninger af halmfyr afhængig af deres placering, og der er beregnet enhedspriser for emissionerne. Enhedsprisen udtrykker den eksterne omkostning, der er ved at udlede et kg af den pågældende luftforurening ved en given placering. DCE har udviklet ovenstående modeller.

Beboelse og afstande til halmfyr og afstande fra halmfyr til B-værdier

Endvidere er det beregnet, hvor mange mennesker der bor inden for forskellige afstande af halmfyr, og dette er vurderet i forhold til afstandskrav fra halmfyr til nærmeste nabo, som er opstillet af Miljøstyrelsen i en tidligere undersøgelse (Løfstrøm, 2017). Af praktiske grunde formuleres kravene til halmfyrskorstenshøjde indirekte via et afstandskrav til nærmeste nabo i forhold til et konkret halmfyr. Afstandskravet er beregnet med OML-modellen som den maksimale afstand, hvor B-værdien er overholdt. B-værdien (bidragsværdien) er en grænseværdi for den enkelte virksomhed/anlægs maksimale bidrag til luftforureningen i omgivelserne. B-værdier er fastsat i Miljøstyrelsens B-værdivejledning (Miljøstyrelsen, 2016) og retningslinjer for eftervisning af overholdelse fremgår af Luftvejledningen (Miljøstyrelsen 2001).

Hovedkonklusioner

Emissioner fra halmfyr

Det samlede halmforbrug i 2016 er 4.958 TJ fordelt med omkring 60% på boligopvarmning og 40% til landbrugsformål. Emissioner af kvælstofoxider

(NO_x), svovldioxid (SO₂), ammoniak (NH₃), kulmonooxid (CO), flygtige organiske forbindelser (NMVOC'er) samt primært emitterede partikler (PPM_{2,5}) er opgjort, og indgår i de efterfølgende luftkvalitetsberegninger.

Emissionerne fra halmfyr er sammenlignet med emissionerne fra træfyring i husholdninger og landbrug. Andelen af emissioner fra halmfyring i forhold til træfyring udgør 13% for CO, 17% for partikler, 24% for NH₃, 25% for NO_x, 28% for NMVOC, mens SO₂ fra halmfyring er 31% større end træfyring.

Helbredseffekter

Det samlede antal for tidlige dødsfald i Danmark pga. emissioner fra halmfyr i Danmark i 2016 er omkring 100.

Hertil kommer sygelighed i form af hospitalsindlæggelser pga. luftvejslidelser og hjertekarsygdomme, episoder med astma og bronkitis, dage med tabt arbejde, dage med nedsat aktivitet (sygedage), dage med mindre nedsat aktivitet samt lungekræft.

Totale eksterne omkostninger

De totale eksterne omkostninger i Danmark forbundet med emissioner fra halmfyr er 1.757 mio. kr. fordelt på 78 mio. kr. for NO_x-emission, 23 mio. kr. for SO₂-emission og 1.656 mio. kr. for partikelemmission.

De totale eksterne omkostninger fordelt på regioner ligger mellem 261 og 398 mio. kr. Hovedstadsregionen har den højeste totale omkostning, hvilket skyldes en høj befolkningstæthed, selvom emissionen er den laveste. Modsat har Region Midtjylland den laveste totale omkostning pga. lav befolkningstæthed, selvom emissionen er den højeste.

Enhedspriser

Enhedspriser for emission fra halmfyr er opdelt på de 5 danske regioner (dog Bornholm særskilt), samt for 4 kategorier af befolkningstætheder (indbyggere/km²): <100, 100-1.500, 1.500-3.000 og over 3.000. Enhedsomkostningerne er endvidere underopdelt i et lokalt og et regionalt bidrag. Det lokale bidrag er helbredsomkostninger inden for 25 km af de pågældende gitterceller i den pågældende befolkningstæthedskategori beregnet med UBM, mens det regionale bidrag er resten beregnet med DEHM. Det regionale bidrag omfatter både eksterne omkostninger i Danmark og i udlandet. Summen af bidraget fra regionalskala og lokalskala er de totale helbredsomkostninger.

Som forventet stiger enhedsprisen med stigende befolkningstæthed. De højeste enhedspriser er i Region Hovedstaden pga. høj befolkningstæthed, og de laveste på Bornholm pga. lav befolkningstæthed. Den højeste enhedspris fås for partikelemmission i Region Hovedstaden for befolkningstætheder på 100-1.500 indbyggere, hvor den er omkring 38.500 kr. pr. kg partikelemmission.

I mange tilfælde er det lokale bidrag større end det regionale bidrag.

Hvordan den totale enhedspris er fordelt på Danmark og udlandet er beregnet. For NO_x og SO₂ er andelen af den totale enhedspris som kan knyttes til Danmark omkring 1/3, mens den del som falder i udlandet er 2/3. For enhedsprisen for partikelemmission er det omkring 3/4, som er knyttet til Danmark og tilsvarende 1/4 til udlandet.

Beboelse og afstande til halmfyr

I 2017 er der 7.441 halmfyr fordelt på 7.418 adresser. Gennem en rumlig analyse i et geografisk informations system (GIS) er det beregnet, hvor mange personer, der har bopæl inden for hhv. 100 m, 200 m, 300 m og 500 m fra et halmfyr. Antal personer på bopælsadresser stammer fra Det Centrale Personregister (CPR) fra 24. april 2017.

Analysen viste, at der bor omkring 38.000 personer inden for 100 m (0,7% af Danmarks befolkning), 85.000 inden for 200 m (1,5%), 153.000 inden for 300 m (2,7%) og 342.000 inden for 500 m (6,1%).

Nærmere analyse af resultaterne viser, at der er mellem 1 og 2.799 personer med bopæl inden for 500 m af et givent halmfyr, og at der i gennemsnit er 19 adresser inden for 500 m af et givent halmfyr.

Afstande fra halmfyr til overholdelse af B-værdier

DCE har i en tidligere undersøgelse for Miljøstyrelsen udarbejdet et notat med krav til skorstenshøjder for halmfyr med forskellig indfyret effekt med henblik på overholdelse af B-værdierne for støv (massen af partikler under 10 mikrometer) og CO (kulilte) hos nærmeste nabo (Løfstrøm, 2017). B-værdien (bidragsværdien) er en grænseværdi for den enkelte virksomheds maksimale bidrag til luftforureningen i omgivelserne. B-værdier er fastsat i Miljøstyrelsens B-værdivejledning (Miljøstyrelsen, 2016) og retningslinjer for eftervisning af overholdelse fremgår af Luftvejledningen (Miljøstyrelsen 2001).

Af praktiske grunde formuleres kravene til skorstenshøjde indirekte via et afstandskrav til nærmeste nabo i forhold til et konkret halmfyr. Afstandskravet er således den mindste afstand, som der skal være mellem halmfyr og beboelse for, at B-værdien er overholdt i afstande større end afstandskravet. Det er altså beboelse, som ligger i afstande større end afstandskravet, som ikke overskrider B-værdien, mens den vil være overskredet i afstande mindre end afstandskravet, men ikke nødvendigvis i alle mindre afstande.

Resultaterne fra disse beregninger af afstandskrav er sammenholdt med resultaterne af analysen af beboelse i forskellige afstande af halmfyr.

Ved et afstandskrav på omkring 300 m fra halmfyr vil der ikke være beboelse, som eksponeres over B-værdien under de mange undersøgte forskellige kombinationer af skorstenshøjder og nominel effekt samt andre forskelle i røggas-temperatur, bevoksning og terrænhældning (bortset fra større terrænhældninger). Det betyder, at de 189.084 personer (3,4% af Danmarks befolkning), som bor mellem 300 m og 500 m fra halmfyr højst sandsynlig ikke udsættes for overskridelser af B-værdien for støv.

Der kan opstilles kombinationer af skorstenshøjder og nominel effekt blandt de undersøgte kombinationer, som gør, at B-værdien ikke overskrides inden for 100 m af halmfyr, hvor 37.851 personer eller 0,7% af befolkningen bor.

Det samme gør sig gældende for personer, som bor inden for 100 m til 200 m. Det drejer sig om 47.600 personer (0,8% af befolkningen), men der vil forekomme overskridelser af B-værdien inden for 100 m af halmfyr.

Der kan også opstilles kombinationer af skorstenshøjder og nominel effekt blandt de undersøgte kombinationer, som gør, at B-værdien ikke overskrides for personer, som bor inden for 200 m til 300 m af halmfyr. Det drejer sig om

67.291 personer eller 1,2% af befolkningen. Men der vil forekomme overskridelser af B-værdien inden for 200 m af halmfyret.

Der vil dog altid kunne opstilles krav om fx en meget høj skorsten, således at B-værdien ikke overskrides i nogen afstand.

Summary in English

Purpose and background

The aim of the project is to estimate the health effects and associated external costs of emissions from straw-fired boilers in Denmark. The external costs are the social costs of health effects due to air pollution from straw-fired boilers.

The study

Emissions from straw-fired boilers

The total emissions from straw-fired boilers are calculated for 2016 based on the straw consumption, as well as updated emission factors (Nielsen & Plejdrup, 2017). An emission factor is the emission of air pollution per unit of energy consumed. Emissions are geographically distributed across 1 km x 1 km grid cells in Denmark using the SPREAD model (Plejdrup et al., 2018). In this way, emissions in the national emission inventory are allocated geographically based on different geographical allocation keys.

Health effects and external costs

Air quality models are used to estimate how much emissions from straw-fired boilers in Denmark contribute to the background concentrations calculated with a spatial resolution of 1 km x 1 km. The used models are DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model) and UBM (Urban Background Model). The health effects and external costs are calculated with the EVA-system (Economic Valuation of Air Pollution) based on the contribution to background concentrations. The calculations are carried out for the five administrative regions in Denmark, as well as different population densities. Hence, it is possible to differentiate the external costs of straw-fired boilers depending on their location and to calculate unit costs of emissions. Unit costs are the external costs per kg emission at a given location. DCE-Danish Centre for Environment and Energy under Aarhus University has developed the above models.

Distances from straw-fired boilers to dwellings and to B-values

How many people that lives within various distances of straw-fired boilers has been calculated, and this is assessed in relation to the distance requirements from straw-fired boilers to the nearest neighbour, as set out of the Danish Environmental Protection Agency in an earlier study (Løfstrøm, 2017). For practical reasons, the requirements for the chimney height of straw-fired boilers have been formulated indirectly as a distance to the nearest neighbour in relation to a specific straw-fired boiler. The distance requirement is calculated with the OML-model as the maximum distance, where the B-value is respected. The B-value (concentration contribution value) is a threshold value for an emitting plant and is the maximum concentration contribution of air pollution to the surroundings. B-values are laid down in a guideline by the Environmental Protection Agency (Miljøstyrelsen, 2016) and guidelines for demonstration of compliance are also described (Miljøstyrelsen, 2001).

As the regulation based on distances and B-value is very specific to Denmark it has not been summarised in the English summary.

The main conclusions

Emission from straw-fired boilers

The total straw consumption in 2016 is 4,958 TJ with approx. 60% on home heating and 40% for agricultural purposes. Emissions of nitrogen oxides (NO_x), sulphur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), ammonia (NH₃), volatile organic compounds (NMVOC) as well as primarily emitted particles (PPM_{2.5}) are compiled and applied for subsequent air quality calculations.

Emissions from straw-fired boilers are compared with the emissions from residential wood combustion. The proportion of emissions from straw burning in relation to wood burning is 13% for CO, 17% for particles, 24% for NH₃, 25% for NO_x, 28% for NMVOC, whereas SO₂ emissions from straw burning is 31% larger than wood burning.

Health effects

The total number of premature deaths in Denmark due to emissions from straw-fired boilers in Denmark in 2016 is about 100.

In addition, morbidity in the form of hospital admissions due to respiratory and cardiovascular diseases, episodes of asthma and bronchitis, loss of work days, days with reduced activity (sick days), days with reduced activity, as well as lung cancer.

Total external costs

The total external costs in Denmark associated with emissions from straw-fired boilers are DKK 1,757 mill. It is distributed in the following way: DKK 78 mill. due to NO_x emissions, DKK 23 mill. due to SO₂ emissions and DKK 1,656 mill. due to particle emissions. The total external costs across administrative regions are between DKK 261 and DKK 398 mill. The Capital Region of Denmark has the highest total cost due to a high population density, though emissions are the lowest. The lowest total cost is in the Central Denmark Region due to low population density, although emissions are the highest.

Unit costs

Unit costs of emissions from straw-fired boilers are calculated for the 5 Danish administrative regions (the island of Bornholm separately), as well as for 4 categories of population densities (inhabitants/km²): <100, 100-1,500, 1,500-3,000 and over 3,000. Unit costs are subdivided into a local and a regional contribution. The local contribution is health effect costs within 25 km of those grid cells in a given population density category calculated with UBM, while the regional contribution is the rest calculated with the DEHM. The regional contribution includes both external costs in Denmark and abroad. The sum of the contribution from the regional scale and local scale is the total health costs.

As expected, the unit costs increase with increasing population density. The highest unit cost is in the Capital Region of Denmark due to high population density, and the lowest is at the island of Bornholm due to low population density. The highest unit cost is for the emission of particles in the Capital Region of Denmark for population densities of 100-1500 inhabitants per km², approx. DKK 38,500 per kg of particulate emission.

In many cases, the local contribution is greater than the regional contributions.

The total unit costs for emissions in Denmark have been distributed to costs in Denmark and to costs abroad. For NO_x and SO₂ approx. 1/3 of the total unit

costs are attributed to Denmark and 2/3 falls in foreign countries. For the unit cost of particulate matter, it is approx. 3/4 in Denmark and 1/4 abroad.

Distances from straw-fired boilers to dwellings

7,441 straw-fired boilers are distributed at 7,418 addresses in 2017. How many persons who live within respectively 100 m, 200 m, 300 m and 500 m from a straw-fired boiler has been calculated in a spatial analysis using a geographical information system (GIS). Number of persons at place of residence originates from the Danish Civil Registration System (CPR) from 24. April 2017. Approx. 38,000 people lives within 100 m (0.7% of Denmark's population), 85,000 within 200 m (1.5%), 153,000 within 300 m (2.7%) and 342,000 within 500 m (6.1%). Detailed analysis of the results shows that there are between 1 and 2,799 persons living within 500 metres of straw-fired boilers, and on average 19 addresses within 500 metres of straw-fired boilers.

1. Overordnet metode og datagrundlag

Undersøgelsen bygger på opdaterede emissioner fra halmfyr. Det sker på baggrund af halmforbruget samt opdaterede emissionsfaktorer (Nielsen & Plejdrup, 2017). Emissionsfaktorer er emission af luftforureninger pr. forbrugt energienhed.

Luftkvalitetsmodeller er anvendt til at estimere, hvor meget emissioner fra halmfyr i Danmark bidrager til luftens koncentration af forurenende stoffer (baggrundskoncentrationen) beregnet med en geografisk opløsning på 1 km x 1 km. De anvendte modeller er DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model) og UBM (Urban Background Model). Ud fra dette bidrag kan helbredseffekter og eksterne omkostninger beregnes med EVA-systemet (Economic Valuation of Air Pollution). Dette er gjort med en underopdeling på de 5 regioner i Danmark samt forskellige befolkningstætheder. På denne baggrund er det muligt at differentiere de eksterne omkostninger af halmfyr afhængig af deres placering, og der er beregnet enhedspriser for emissionerne. Enhedsprisen udtrykker den eksterne omkostning, der er ved at udlede et kg af den pågældende luftforurening ved en given placering. DCE har udviklet ovenstående modeller.

Endvidere er det beregnet hvor mange mennesker, der bor inden for forskellige afstande af halmfyr, og dette er vurderet i forhold til beregninger af afstandskrav fra halmfyr til nærmeste nabo, hvor B-værdier for støv hos nærmeste nabo er overholdt (Løfstrøm, 2017).

1.1 Emissioner fra halmfyr

Halmfyr bruges til boligopvarmning i husholdninger og fx til driftsformål inden for landbruget, fx opvarmning af produktionsbygninger til kyllingeopdræt.

Emissioner fra halmfyr opgøres for dels husholdninger og dels landbrugsjendomme. Emissionerne beregnes som en simpel multiplikation af halmforbruget med en emissionsfaktor. Der er ikke i emissionsopgørelsen regnet med forskellige typer af halmfyr. Dette er i modsætning til f.eks. træfyring, hvor der regnes med en række forskellige teknologier og alderstrin. For halmfyr er der ikke tilstrækkelig oplysninger p.t. til, at det er muligt at underopdele kategorien. Derfor regnes der ikke med forskelle i emissionskarakteristik mellem forskellige halmfyr.

Totale emissioner fra halmfyr

Halmforbruget stammer fra den officielle energistatistik, som offentliggøres af Energistyrelsen. Baggrunden er beskrevet i et notat udarbejdet af EA Energianalyse for Energistyrelsen (ENS, 2018). Data anvendt i dette projekt er fra Energistatistik 2016 (ENS, 2017). Udvalgte år er vist i Tabel 1.1. I 2016 er halmforbruget i TJ fordelt med omkring 60% på boligopvarmning og 40% til landbrugsformål.

Tabel 1.1. Halmforbrug i husholdninger og landbrug, TJ.

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Husholdninger	5.087	4.077	3.112	2.901	2.905	2.891	2.891	2.893	2.893	2.949	2.975
Landbrug	3.391	2.718	2.074	1.934	1.937	1.927	1.928	1.929	1.929	1.966	1.983
Samlet forbrug	8.478	6.795	5.186	4.836	4.842	4.818	4.819	4.822	4.822	4.914	4.958

Emissionsfaktorerne anvendt til beregningen baserer sig på forskellige kilder, og er dokumenteret i *Nielsen & Plejdrup (2017)* og *Nielsen et al. (2018b)*. I forbindelse med en vurdering af emissionsfaktorer for partikler for halmfyr i 2017 blev den anvendte emissionsfaktor i den nationale emissionsopgørelse opdateret. Tidligere blev anvendt en emissionsfaktor på 234 g/GJ, som nu er opdateret til 433 g/GJ (*Nielsen & Plejdrup, 2017*).

Emissionsopgørelsen omfatter alle stoffer, der rapporteres under konventionen om langtransporteret grænseoverskridende luftforurening. Emissionsfaktorerne for de stoffer, som indgår i helbredseffekterne og de tilhørende eksterne omkostninger, er vist i Tabel 1.2. Det drejer sig om emissioner af kvælstofoxider (NO_x), svovldioxid (SO₂), ammoniak (NH₃), kulmonoxid (CO), flygtige organiske forbindelser (NMVOC'er) samt primært emitterede partikler (PPM_{2,5}), som er massen af partikler under 2,5 mikrometer.

Tabel 1.2. Emissionsfaktorer for halmfyr, g pr. GJ.

Sektor	NO _x	PPM _{2,5}	NMVOC	SO ₂	NH ₃	CO
Husholdninger	154	433	600	115	70	2.000
Landbrug	154	433	600	115	70	2.000

De beregnede emissioner er vist i Tabel 1.3.

Tabel 1.3. Emissioner fra halmfyr i 2016, ton.

Sektor	NO _x	PPM _{2,5}	NMVOC	SO ₂	NH ₃	CO
Husholdninger	458	1.288	1.785	342	208	5.950
Landbrug	305	859	1.190	228	139	3.967
Total	764	2.147	2.975	570	347	9.917

Til sammenligning er emissionerne fra træfyring i husholdninger og landbrug vist i Tabel 1.4.

Tabel 1.4. Emissioner fra træfyring i husholdninger og landbrug i 2016, ton.

Sektor	NO _x	PPM _{2,5}	NMVOC	SO ₂	NH ₃	CO
Husholdninger	3.038	12.243	10.430	433	1.444	74.774
Landbrug	18	27	11	2	8	49
Total	3.057	12.270	10.441	435	1.452	74.823

Det ses, at andelen af emissionerne fra halmfyring i forhold til træfyring udgør 13% for CO, 17% for partikler, 24% for NH₃, 25% for NO_x, 28% for NMVOC, mens SO₂ fra halmfyring er 31% større end træfyring.

Geografisk fordeling af emissioner fra halmfyr

Emissionerne er geografisk fordelt ved anvendelse af SPREAD-modellen (*Plejdrup et al., 2018*). Heri fordeles emissionerne i den nationale emissionsopgørelse ud fra forskellige geografiske fordelingsnøgler. Modellen anvender

primært oplysninger om placering af halmfyr modtaget af Skorstensfejerlauget (SFL). Dette er suppleret med data for Bygnings- og Boligregisteret (BBR) for geografiske områder, hvor data fra SFL ikke er komplette. Se *Nielsen & Plejdrup (2018)* for en beskrivelse af metoden anvendt til suppleret af SFL data.

Det er antaget, at alle halmfyr bidrager ligeligt til det samlede halmforbrug, da der ikke foreligger oplysninger om halmforbrug på enkeltanlæg, der kan bidrage til en mere nøjagtig geografisk fordeling.

1.2 EVA-systemet – beregning af helbredseffekter og eksterne omkostninger

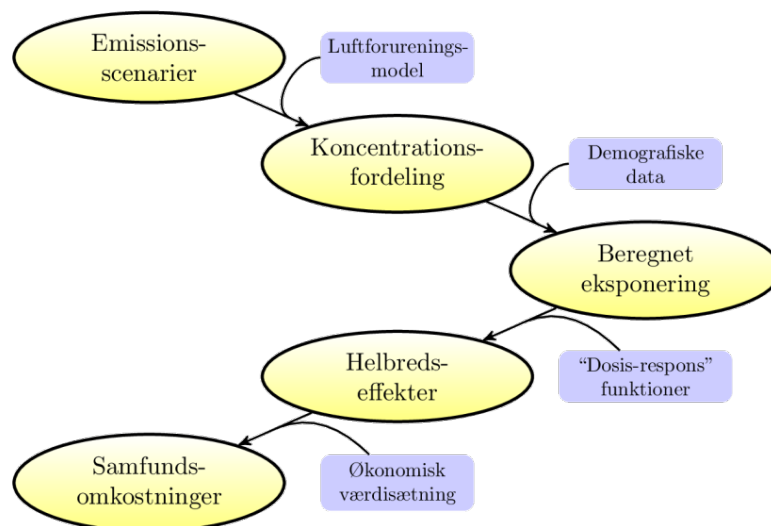
EVA-systemet (Economic Valuation of Air pollution) kan bruges til at undersøge hvilke kilder, der bidrager mest til luftforurening i et område. Ud over en kvantificering af helbredseffekterne, beregnes den indirekte (eller eksterne) omkostning af disse effekter, sådan at effekterne fra forskellige typer af kilder kan sammenlignes direkte med en fælles enhed (penge).

I nærværende projekt er EVA-systemet anvendt til at beregne helbredseffekter og eksterne omkostninger af emissioner fra halmfyr. Dette er gjort med en underopdeling på de 5 regioner i Danmark samt forskellige befolkningstætheder. På denne baggrund er det muligt at differentiere de eksterne omkostninger af halmfyr afhængig af deres placering. Endvidere er beregnet enhedspriser, dvs. den eksterne omkostning, der er knyttet til at udlede et kg af den pågældende luftforurening ved en given placering. Dette er gennemført for emissioner af NO_x , SO_2 og partikler ($\text{PPM}_{2,5}$).

Impact-pathway metoden

Det integrerede modelsystem, EVA (Economic Valuation of Air pollution) (Brandt et al., 2011a, b; 2013a, b; 2016) er baseret på den såkaldte "impact-pathway" metode, og har til formål at opgøre helbredsrelaterede eksterne omkostninger fra luftforureningen og estimere, hvordan helbredsomkostningerne er fordelt på de forskellige typer af luftforurening og emissionssektorer.

Det grundlæggende princip bag EVA-systemet er at bruge de bedst mulige videnskabelige metoder i alle leddene af "impact-pathway" - kæden (se Figur 1.1) baseret på den bedst tilgængelige viden.



Figur 1.1. Et skematisk diagram over "impact-pathway" - metoden. En emission fra en forurenende kilde et bestemt sted resulterer (via atmosfærisk transport og kemiske omdannelser) i en fordeling af koncentrationen i luften, som sammen med detaljerede befolkningsdata kan bruges til at beregne eksponeringen af befolkningen. Effekter på menneskers helbred findes ved brug af eksponering-responsfunktioner og til sidst værdisættes de individuelle effekter for at finde de totale eksterne omkostninger.

"Impact-pathway" - kæden dækker alle leddene fra udslip af kemiske stoffer fra specifikke kilder, over spredning og kemisk omdannelse i atmosfæren, eksponering af befolkningen, beregning af helbredseffekter, til den økonomiske værdisætning af disse helbredseffekter. Den økonomiske værdisætning af effekter kaldes også for indirekte omkostninger eller eksternaliteter (eksterne omkostninger). Der er direkte omkostninger forbundet med produktionen af fx elektricitet i form af opførelse af kraftværker og forbrug af kul, hvorimod de helbredsrelaterede omkostninger fra luftforureningen, der kommer fra kraftværket, ikke er relateret direkte til produktion og forbrug, og derfor betegnes som indirekte eller eksterne omkostninger. De indirekte omkostninger er knyttet til fx sygdom, for tidlige dødsfald eller sygedage med deraf tabt arbejdsfortjeneste eller omkostninger for samfundet i form af tabt omsætning eller øgede sygehusomkostninger.

Baggrundsforurening med høj geografisk opløsning

Luftkvalitetsmodeller er anvendt til at estimere, hvor meget halmfyr i Danmark bidrager til baggrundskoncentrationen beregnet med en geografisk opløsning på 1 km x 1 km. De anvendte modeller er den regionale model DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model) (Christensen, 1997; Brandt et al., 2012) og en baggrundmodel med høj geografisk opløsning UBM (Urban Background Model). Der er anvendt samme model setup og tilhørende internationale og nationale emissioner og meteorologi som i modelberegninger gennemført for 2016 i Det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet (Eltermann et al., 2017).

Luftforurening

Helbredseffekter for de kemiske stoffer, som er medtaget i EVA-systemet er: De primært emitterede partikler (PPM_{2,5}), de sekundært dannede uorganiske partikler: SO₄²⁻ (sulfatpartikler), NO₃⁻ (nitratpartikler) og NH₄⁺ (ammoniumpartikler), samt SOA (sekundære organiske partikler) og havsalt. Endvidere gasserne: NO₂ (kvælstofdioxid), SO₂ (svovldioxid), CO (kulilte) og O₃ (ozon).

Deltakonzentrationer

Mange atmosfærekemiske processer er ikke lineære, hvilket betyder, at en ændring af emissionen af et stof kan medføre endnu større ændringer i koncentrationen af andre stoffer i atmosfæren. For at vurdere den marginale ændring i den årlige middelkoncentration, som skyldes udledningen fra en specifik kildetype, foretages beregningerne med den regionale model og bybaggrundsmodellen to gange: Med og uden emissionerne fra kilden. Denne marginale ændring kaldes delta-konzentrationen, og det er den, som anvendes til at beregne befolkningseksposeringen relateret til den specifikke kilde, og de tilhørende helbredseffekter og eksterne omkostninger.

I nærværende projekt er deltakonzentrationerne beregnet for emissioner af halmfyrr i Danmark underopdelt på de 5 regioner (dog Bornholm særskilt) samt forskellige kategorier af befolkningstæthed. Der er 4 kategorier af befolkningstæthed (indbyggere/km²): <100, 100-1.500, 1.500-3.000 og over 3.000. En scenarieberegning er fx alle 1 km x 1 km gitterceller i Region Sjælland, som har en befolkningstæthed på 100-1.500 indbyggere pr. kvadratkilometer. Sammenlagt er der således 5+1 gange 4, i alt 24 beregningsscenarier. Metoden er parallelt til et tidligere projekt for De Økonomiske Råd (DØRS), hvor fokus var beregning af enhedspriser for emissioner fra brændeovne (Brandt et al., 2016a).

Befolkningsdata

Danmark er i den unikke position, at vi har et centralt register med information vedrørende adresse, køn og alder for alle personer i landet (det Centrale Persondata Register, CPR). I forbindelse med nærværende projekt er der anvendt et tidligere erhvervet CPR-datasæt fra Sundhedsstyrelsen for hele Danmark fra 24. april 2017, som indeholder oplysninger om fødselsdag, køn og adresse for samtlige personer i Danmark. CPR-datasættet er koordinatsat ved at matche datasættet med det nationale adresseregister. Befolkningsdata og kobling til adresseregister er nærmere beskrevet i Jensen et al. (2018).

Helbredseffekter

De helbredseffekter, som p.t. er beskrevet i EVA-systemet, er følgende:

- Bronkitis hos voksne
- Astma og bronkitis hos børn
- Sygedage
- Hospitalsindlæggelser for åndedrætsbesvær og hjertekarsygdomme
- Lungekræft
- Akutte dødsfald (som følge af korttidseksposering)
- Tabte leveår (YOLL) (kroniske dødsfald som følge af langtidseksposering)
- Total antal dødsfald (=kroniske tabte leveår/10,6 + akutte dødsfald)

Antallet af for tidlige dødsfald relateret til NO₂- og partikelforurening beregnes ud fra YOLL (Years of Lives Lost) divideret med en faktor for det typiske antal af tabte leveår i gennemsnit. I de nuværende EVA-beregninger er denne faktor 10,6 år, og den er baseret på et Europæisk gennemsnit fra Clean Air for Europe (CAFÉ; Watkiss et al. 2005). Et for tidligt dødsfald svarer således til 10,6 tabte leveår i gennemsnit.

Eksponerings-responsfunktioner og enhedspriser

Delta-koncentrationerne kobles til befolkningsdata for hver gittercelle for at beregne befolkningseksponeringen i eksponerings-respons beregningen.

Eksponerings-responsfunktioner er typisk tilgængelige på formen: $R = \alpha \cdot \Delta c \cdot P$, hvor R er responset (fx lungekræft eller akutte dødsfald) målt i en passende enhed (fx tilfælde af lungekræft eller antal tilfælde). Δc er delta-koncentrationen, det vil sige den marginale koncentrationsændring, som skyldes emissionerne fra den specifikke kilde, P er den berørte befolkningsdel og α er en empirisk bestemt konstant for den specifikke funktion, typisk tilvejebragt fra publicerede studier af større befolkningsgrupper (kohorter).

Der er bred enighed om, at eksponerings-responsfunktionerne og de tilhørende enhedspriser er lande-specifikke, bl.a. fordi helbredsudfald hænger sammen med en række forskellige forhold, hvoraf levevis er en vigtig parameter. Desuden er befolkningernes almene helbredstilstand og landenes økonomier forskellige. De funktioner, der på nuværende tidspunkt er inkluderet i EVA (Tabel 1.5), er derfor så vidt muligt tilpasset til danske betingelser. Som det kan ses i Tabel 1.5 er nogle af helbredseffekterne kun relevante for specifikke aldersgrupper.

For referencer vedrørende eksponerings-responsfunktionerne og værdisætning henvises til Andersen et al. (2019) om miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 3.0. I forhold til tidligere versioner af EVA-systemet (Andersen & Brandt, 2014) er der nu inkluderet helbredseffekter af NO₂ ud fra anbefalinger fra WHO (WHO, 2013). Af betydning for resultaterne er endvidere, at WHO særskilt har identificeret eksponerings-responsfunktioner for akut mortalitet for PM_{2,5} og NO₂ mod tidligere kun SO₂ og ozon. De tabte leveår ved kronisk mortalitet for PM_{2,5} (som følge af langtidseksponering) er herefter opgjort netto for akut mortalitet for derved at imødegå eventuelle dobbelttællinger. Endvidere er effekter på voksne astmatikere udgået, idet disse ikke er medtaget af WHO. Ved værdisætningen er anvendt en opdateret værdi for statistisk liv på 31,6 mio. kr. som opgjort af Det Økonomiske Råd (DØRS, 2016) og anbefalet af Finansministeriet (Finansministeriet, 2017). Denne værdisætning er omkring dobbelt så højt som den tidligere anvendte i EVA-systemet. Notatet Andersen et al. (2019) erstatter således beregningspriserne i notat om miljøøkonomiske beregningspriser 2.0 (Andersen, 2018).

Tabel 1.5. Sundhedseffekter i EVA. De anførte eksponerings-responsfunktioner refererer til årsmiddelværdien, medmindre andet er angivet. Tabel gengivet fra *Andersen et al. (2019)*.

Sundhedseffekt Slutpunkter	Eksponerings-respons funktioner	Værdisætning DKK (2016-priser)
MORBIDITET (PM_{2,5})		
Bronkitis (voksne)	7,02E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³	293.863 pr. tilfælde
Indlæggelser		
- åndedrætsbesvær	2,75E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³	74.053 pr. tilfælde
- hjertekarsygdomme	1,93E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³	119.194 pr. tilfælde
Lungekræft, morbiditet	1,62E-6 tilfælde pr. µgm ⁻³ (> 30 år)	162.502 pr. tilfælde
Astma (9,4%; < 19 år) og bronkitis (<18 år) hos børn		
- astma symptomer	4,05E-4 pr. µgm ⁻³	9.873 pr. år
- bronkitis (hoste)	1,37E-3 pr. µgm ⁻³	1.206 pr. år
Sygedage		
- arbejdsdage (20-65 år)	3,93E-5 dage pr. µgm ⁻³	2.031 pr. dag
- alle dage, netto	6,9E-2 dage pr. µgm ⁻³	1.105 pr. dag
MORBIDITET (NO₂)		
Indlæggelser		
- åndedrætsbesvær	2,6E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³	74.053 pr. tilfælde
MORBIDITET (O₃>35ppb)		
Indlæggelser		
- åndedrætsbesvær	1,95E-5*SOMO35 [‡] dage/år (>65 år)	74.053 pr. tilfælde
- hjertekarsygdomme	6,33E-5*SOMO35 [‡] dage/år (>65 år)	119.194 pr. tilfælde
Sygedage		
- MRAD [*] ozon (O ₃ >35ppb)	3,29E-5*SOMO35 [‡] dage/år	584 pr. tilfælde
MORTALITET		
Akut mortalitet		
- PM _{2,5}	1,19E-5 pr. µgm ⁻³ minus SO ₂ /NO ₂	31.600.000
- SO ₂	6,97E-7 pr. µgm ⁻³	31.600.000
- NO ₂ [*]	2,61E-6 pr. µgm ⁻³	31.600.000
- PM _{2,5} spædbørn (3-12m)	6,15E-6 pr. µgm ⁻³	47.400.000
- ozon (O ₃ >35ppb)	2,81E-6*SOMO35 [‡] tilfælde pr. µgm ⁻³	31.600.000
Kronisk mortalitet		
- PM _{2,5}	0,932E-3 YOLL [#] pr. µgm ⁻³ (>30 år)	1.115.000 pr. YOLL [#]
- NO ₂ (>20µg/m ³)	0,625E-3 YOLL [#] pr. µgm ⁻³ (>30 år)	1.115.000 pr. YOLL [#]

[‡]SOMO35 beregnes ud fra summen af de højeste ozonkoncentrationer, og angiver summen af 8-timers daglige maksimum middelværdier over 35 ppb på et år.

^{*}NO₂ beregnes ud fra daglige max-timeværdi.

[#]YOLL er en forkortelse for "Years Of Life Lost" (tabte leveår).

^{*}Minor Restricted Activity Days (dage med mindre restriktioner i aktivitet).

I lighed med anbefalingerne for WHO er det i EVA-beregningerne antaget, at alle partikler er lige farlige, idet PM_{2,5} anvendes som indikator for partikler. I bilag 1 er der en kort beskrivelse af partikler, hvordan de kan karakteriseres efter størrelse og kemisk sammensætning, og hvad kilderne til partikler er.

1.3 Mennesker bosat i forskellige afstande af halmfyr

Det er beregnet, hvor mange mennesker der bor inden for forskellige afstande af halmfyr, og dette er vurderet i forhold til afstandskrav fra halmfyr til nærmeste nabo, som er opstillet af Miljøstyrelsen i en tidligere undersøgelse (Løfstrøm, 2017). Af praktiske grunde formuleres kravene til halmfyrs skorstenshøjde indirekte via et afstandskrav til nærmeste nabo i forhold til et konkret halmfyr. Afstandskravet er beregnet med OML-modellen som den maksimale afstand, hvor B-værdien er overholdt. B-værdien (bidragsværdien) er en

grænseværdi for den enkelte virksomhed/anlægs maksimale bidrag til luftforureningen i omgivelserne. B-værdier er fastsat i Miljøstyrelsens B-værdivejledning (Miljøstyrelsen, 2016) og retningslinjer for eftervisning af overholdelse fremgår af Luftvejledningen (Miljøstyrelsen 2001).

2. Helbredseffekter og eksterne omkostninger

Dette kapitel beskriver de totale helbredseffekter og tilhørende eksterne omkostninger af emissioner fra halmfyr i Danmark baseret på EVA-beregninger. Endvidere er beregnet enhedspriser for emission fra halmfyr opdelt på regioner og by-kategorier. Dette illustrerer den geografiske variation i de eksterne omkostninger pr. kg udledt emission fra halmfyr.

2.1 Totale helbredseffekter af emissioner fra halmfyr

Tabel 2.1 viser for tidlige dødsfald og sygelighed i Danmark som følge af emissioner fra halmfyr i 2016.

Det samlede antal for tidlige dødsfald pga. emissioner fra halmfyr er omkring 100, hvilket primært stammer fra langtidseksposering.

Hertil kommer sygelighed i form af hospitalsindlæggelser, sygedage mv. Bemærk at "Dage med mindre nedsat aktivitet (O_3)" er negativ (-1), som i denne sammenhæng indikerer en benefit. Dette skyldes, at NO_x -emission fra halmfyr vil reducere O_3 lidt som følge af fotokemi mellem NO , NO_2 og O_3 . Lidt mindre O_3 vil give lidt færre dage med nedsat aktivitet.

Tabel 2.1. Helbredseffekter i Danmark som følge af emissioner fra halmfyr i 2016.

Bidraget fra Halmfyr i DK til helbredseffekter i DK 2016	Antal tilfælde
Mortalitet	
For tidlige dødsfald fra korttidseksposering ($PM_{2,5}$, SO_2 , NO_2 , O_3)	19
For tidlige dødsfald fra langtidseksposering ($PM_{2,5}$, NO_2)	84
Dødsfald blandt spædbørn ($PM_{2,5}$)	0
Totalt antal for tidlige dødsfald ($PM_{2,5}$, NO_2, O_3, SO_2)	103
Morbiditet	
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser ($PM_{2,5}$, NO_2 , O_3)	53
Hospitalsindlæggelser for hjertekarsygdomme ($PM_{2,5}$, O_3)	28
Episoder med astma blandt børn ($PM_{2,5}$)	10
Episoder med bronkitis ($PM_{2,5}$)	82
Episoder med bronkitis børn ($PM_{2,5}$)	313
Dage med tabt arbejde ($PM_{2,5}$)	35
Dage med nedsat aktivitet (sygedage) ($PM_{2,5}$)	102.000
Dage med mindre nedsat aktivitet (O_3)	-1
Lungekræft ($PM_{2,5}$)	2

Tabel 2.1 viser de helbredseffekter, som er i Danmark, men emissionerne fra halmfyr i Danmark vil også bidrage til helbredseffekter i udlandet, da luftforurening langtransporteres. I de efterfølgende beregninger af enhedspriserne er omkostningerne underopdelt på Danmark og udlandet.

2.2 Litteraturstudie af helbredseffekter af partikler fra halmfyr

Institut for Folkesundhedsvidenskab under Københavns Universitet har for Miljøstyrelsen udført et litteraturstudie om vurdering af halmpartiklers farlighed (Danielsen et al., 2018). Dette har været et parallelt projekt til nærværende projekt. I Bilag 2 er hovedresultaterne fra dette litteraturstudie opsummeret.

Baggrunden var at en rapport, udarbejdet af Teknologisk Institut for Miljøstyrelsen om luftemissioner fra halmfyr (Miljøstyrelsen, 2017), som konkluderer, at op imod 80 % af partikeludledningen fra halmfyr består af alkaliske, primært i form af kaliumklorid, der dannes og fordampes under forbrændingen og kondenserer i røggassen.

Litteraturstudiet konkluderede, at "det er vanskeligt med sikkerhed at afgøre betydningen og toksiciteten af alkaliske fra forbrænding af halm", og "Der er ikke meget evidens for at de rene alkaliske er toksiske i samme grad som diesel- eller brænderøgspartikler fra konventionelle/private brændeovne ved indånding, men der er ingen epidemiologiske studier til at bekræfte dette og ligeledes baseres det på et meget lille antal studier".

I EVA-systemet forudsættes det, at alle partikler (PM_{2,5}) er lige farlige ifølge anbefalinger for WHO, da en lang række epidemiologiske undersøgelser har vist systematisk sammenhæng mellem udsættelse for PM_{2,5} og helbredseffekter. Der skelnes således pt. ikke mellem toksicitet mellem forskellige kemiske stoffer i PM_{2,5} eller PM_{2,5} fra forskellige emissionskilder i EVA-systemet.

2.3 Totale eksterne omkostninger af emissioner fra halmfyr

I Tabel 2.2 er vist de totale emissioner og tilhørende eksterne omkostninger i 2016 fordelt på regioner (dog Bornholm særskilt).

Tabel 2.2. Emissioner fra halmfyr og eksterne omkostninger fordelt på regioner i 2016.

Region	NO _x -emission (tons)	SO ₂ -emission (tons)	PPM _{2,5} -emission (tons)	Ekstern omkostning for NO _x (mio. kr.)	Ekstern omkostning for SO ₂ (mio. kr.)	Ekstern omkostning for PPM _{2,5} (mio. kr.)	Total ekstern omkostning (mio. kr.)
Hovedstaden	15	12	43	19	6	398	422
Sjælland	124	93	350	17	5	357	378
Syddanmark	178	133	501	14	4	301	320
Midtjylland	261	195	733	12	4	261	277
Nordjylland	175	131	493	16	5	339	359
Bornholm	10	7	28	0	0	0	0
Hele Danmark	764	570	2.147	78	23	1.656	1.757

De totale eksterne omkostninger i Danmark forbundet med emissioner fra halmfyr er 1.757 mio. kr. fordelt på 78 mio. kr. for NO_x-emission, 23 mio. kr. for SO₂-emission og 1.656 mio. kr. for partikelemmission.

De totale eksterne omkostninger fordelt på regioner ligger mellem 261 og 398 mio. kr. Hovedstadsregionen har den højeste totale omkostning, hvilket skyldes en høj befolkningstæthed, selvom emissionen er den laveste. Modsat har

Region Midtjylland den laveste totale omkostning pga. lav befolkningstæthed, selvom emissionen er den højeste.

2.4 Enhedspriser for luftforurening fra halmfyr fordelt på regioner og by-kategorier

I Tabel 2.3 opsummeres beregnede enhedspriser for luftforurening fra halmfyr opdelt på de 5 danske regioner (dog Bornholm særskilt), samt for 4 kategorier af befolkningstætheder. Den gennemsnitlige enhedspris for de forskellige stoffer er vist for hver region (Alle) samt for hele landet (Hele Danmark).

Enhedsomkostningerne er endvidere underopdelt i et lokalt og et regionalt bidrag. Det lokale bidrag er helbredsomkostninger inden for 25 km af de pågældende gitterceller i den pågældende befolkningstæthedskategori beregnet med UBM, mens det regionale bidrag er resten beregnet med DEHM. Det regionale bidrag omfatter både eksterne omkostninger i Danmark og i udlandet. Summen af bidraget fra regionalskala og lokalskala er de totale helbredsomkostninger. Der er en lille smule dobbelttælling i beregningsmåden, da det lokale område også er indeholdt i den regionale model, men vi anser dette for at være af minimal betydning for resultaterne, og det kræver et væsentligt andet model-setup for helt at undgå denne dobbelttælling.

Som forventet stiger enhedsprisen med stigende befolkningstæthed. De højeste enhedspriser er i Region Hovedstaden pga. høj befolkningstæthed, og de laveste på Bornholm pga. lav befolkningstæthed. Den højeste enhedspris fås for partikelemission i Region Hovedstaden for befolkningstætheder på 100-1.500 indbyggere pr. kvadratkilometer (indb./km²), hvor den omkring 38.500 kr. pr. kg partikelemission.

I mange tilfælde er det lokale bidrag større end det regionale bidrag.

For befolkningstætheder over 1.500 indbyggere er der for få data til pålideligt at kunne beregne en enhedspris. Dette afspejler, at der er få halmfyr, der ligger i områder med disse befolkningskategorier.

Table 2.3. Enhedspriser for emissioner fra halmfyr fordelt på regioner og befolkningstæthed i 2016 (Kr./kg). Det regionale bidrag er ens for hele landet for det enkelte stof, og gengivet i tabellen for at tydeliggøre det regionale og lokale bidrag for hver by-kategori.

Region	Befolknings- tæthed	Regi+			Reg+			Reg+		
		Regional NO _x	Lokal NO _x	Lokal NO _x	Regional SO ₂	Lokal SO ₂	Lokal SO ₂	Regional PPM _{2,5}	Lokal PPM _{2,5}	Lokal PPM _{2,5}
Indb./km ²		Kr./kg-NO ₂ -emission			Kr./kg SO ₂ -emission			Kr./kg PPM _{2,5} -emission		
Hovedstaden	Alle	308	1227	1536	219	483	702	591	9229	9821
Hovedstaden	<100 indb.	308	1702	2010	219	672	890	591	12833	13425
Hovedstaden	100-1500 indb.	308	5011	5320	219	1982	2200	591	37864	38455
Hovedstaden	1500-3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Hovedstaden	>3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Sjælland	Alle	308	136	444	219	54	272	591	1019	1610
Sjælland	<100 indb.	308	165	473	219	65	284	591	1238	1830
Sjælland	100-1500 indb.	308	1066	1374	219	423	641	591	8072	8663
Sjælland	1500-3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Sjælland	>3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Syddanmark	Alle	308	80	388	219	32	250	591	601	1192
Syddanmark	<100 indb.	308	101	409	219	40	258	591	762	1353
Syddanmark	100-1500 indb.	308	715	1023	219	283	502	591	5410	6001
Syddanmark	1500-3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Syddanmark	>3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Midtjylland	Alle	308	46	354	219	19	237	591	357	948
Midtjylland	<100 indb.	308	57	365	219	23	242	591	443	1034
Midtjylland	100-1500 indb.	308	619	927	219	246	464	591	4707	5299
Midtjylland	1500-3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Midtjylland	>3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Nordjylland	Alle	308	90	399	219	36	254	591	687	1278
Nordjylland	<100 indb.	308	103	411	219	41	259	591	782	1374
Nordjylland	100-1500 indb.	308	1106	1414	219	439	657	591	8382	8973
Nordjylland	1500-3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Nordjylland	>3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Bornholm	Alle	308	0	308	219	0	219	591	1	592
Bornholm	<100 indb.	308	1	309	219	0	219	591	6	597
Bornholm	100-1500 indb.	308	174	482	219	57	275	591	1175	1766
Bornholm	1500-3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Bornholm	>3000 indb.	308	-	-	219	-	-	591	-	-
Hele Danmark	Alle	308	102	410	219	40	259	591	771	1362

Fordeling af enhedsomkostningerne mellem Danmark og udlandet

I Tabel 2.4 er vist, hvordan den totale enhedspris er fordelt lokalt (< 25 km), øvrige Danmark (> 25 km) og udlandet.

For NO_x og SO₂ er andelen af den totale enhedspris, som er knyttet til Danmark omkring 1/3, mens den del, som er knyttet til udlandet, er 2/3. For enhedsprisen for partikelemmission er det omkring 3/4, som er knyttet til Danmark og tilsvarende 1/4 til udlandet.

Tabel 2.4. Den totale enhedspris fordelt på eksterne omkostninger lokalt (< 25 km), øvrige DK (> 25 km) og udlandet.

Enhedspris:	kr.kg-NO₂	%	kr.kg-SO₂	%	kr./kg-PPM_{2,5}	%
Andel af enhedspris lokalt (<25 km)	102	25	40	16	771	57
Andel af enhedspris DK (> 25 km)	43	11	32	12	256	19
Andel af enhedspris i udlandet	265	65	187	72	335	25
Total enhedspris DK + udland	410	100	259	100	1362	100

3. Beboelse og afstande til halmfyr

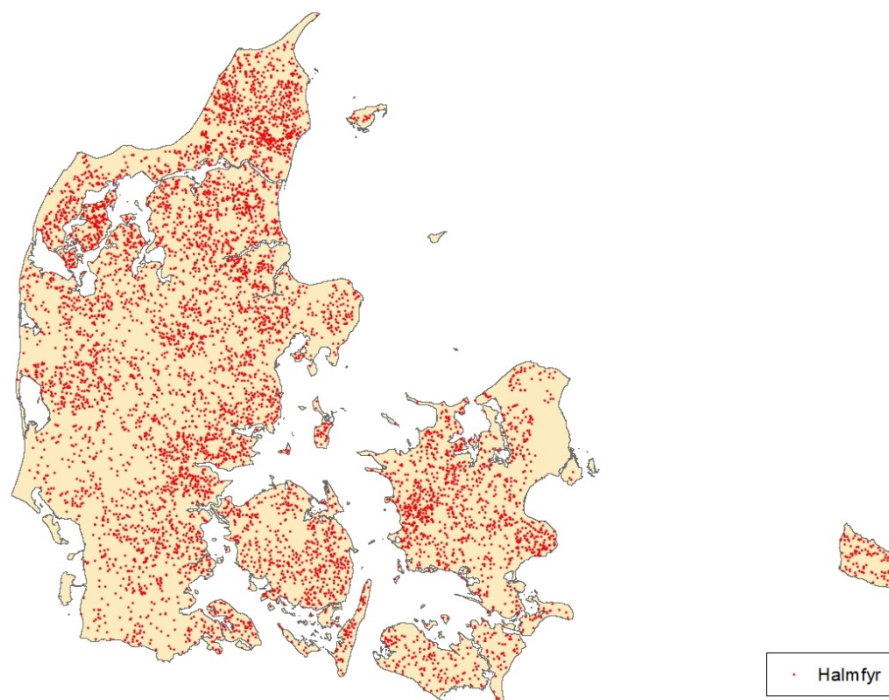
3.1 Metodebeskrivelse

Det ønskes undersøgt hvor mange personer, der har bopæl inden for en given afstand fra et halmfyr. Antal og placering af halmfyr baseres hovedsageligt på detaljerede data fra Skorstensfejerlauget (SFL). SFL-data omfatter langt hovedparten af de danske halmfyr, med undtagelse af enkelte områder, som ikke indgår i SFL-data. Dette skyldes enten, at området hører under fejere, som ikke er med i Skorstensfejerlauget, eller fejere, som ikke ønsker at optræde i de udleverede data. For de områder, som ikke indgår i SFL-data, er der suppleret med data fra BBR (Bygnings- og Boligregistret). En rumlig analyse af SFL-data har vist, at skorstensfejderdistrikterne i høj grad følger sognegrænserne. Ud fra en tæthedsanalyse af SFL-data, er der udvalgt sogne, som ikke indgår i SFL, eller hvor der er signifikant lavere tæthed end i de omkringliggende sogne. For disse sogne er der anvendt data fra BBR. For yderligere uddybning af metoden henvises til *Nielsen & Plejdrup (2018)*.

BBR indeholder flere parametre vedrørende opvarmning, herunder varmeinstallation (primær opvarmningsform, fx fjernvarme eller centralvarme), opvarmningsmiddel (brændsel, fx halm eller naturgas) og supplerende opvarmning (sekundær opvarmning, fx pejs eller solpaneler). Adresser med halmfyr udvælges i BBR ud fra kriteriet, at opvarmningsmidlet skal være halm. Det er kendt, at BBR er behæftet med væsentlig usikkerhed på varmeoplysninger, da det er boligejerne selv, der skal opdatere registret, og tidligere sammenligning af SFL og BBR (*Nielsen & Plejdrup, 2018*) har vist, at der er omtrent dobbelt så mange halmfyr i BBR, som der er i SFL. Der må derfor antages at være en overestimering af antal halmfyr i de områder, hvor der er anvendt BBR data. Der er ikke lavet en korrektion af antal supplerende halmfyr fra BBR, da det ikke er muligt at vurdere, hvilke anlæg der ikke eksisterer længere.

Den rumlige analyse af personer med bopæl nær et halmfyr er baseret på 6.647 halmfyr fra SFL data og 794 halmfyr fra BBR (i alt 7.441 halmfyr) fordelt på 7.418 adresser.

I Figur 3.1 er vist placeringen af halmfyr i Danmark i 2017.

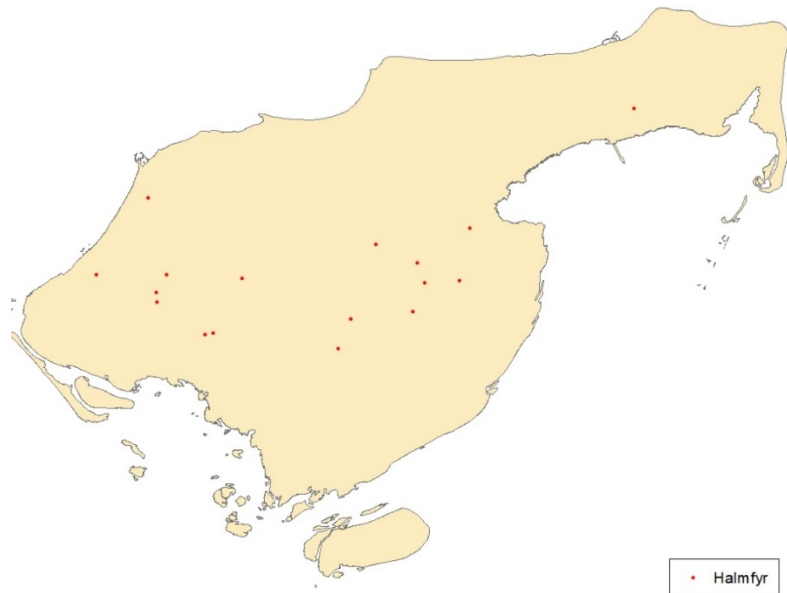


Figur 3.1. Halmfyr i Danmark i 2017.

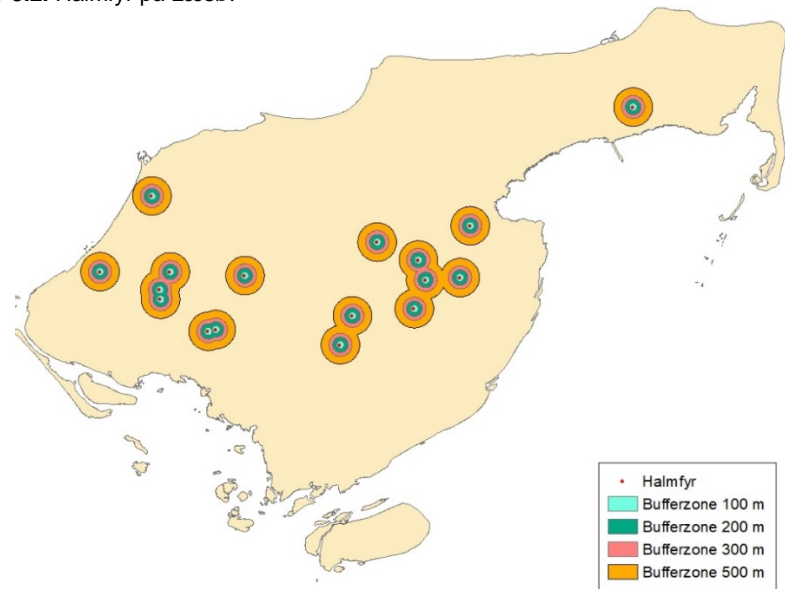
Data fra CPR-registret er fra 24. april 2017, som indeholder XY koordinater for bopælsadresse for personer bosat i Danmark. Dataudtrækket omfatter 5.643.840 personer ud af den samlede befolkning på 5.756.170 personer (Statistikbanken d. 1. april 2017). De manglende personer har enten navne- eller adressebeskyttelse, og indgår derfor ikke i datasættet.

Gennem en rumlig analyse i et geografisk informations system (GIS) belyses det, hvor mange personer, der har bopæl inden for hhv. 100 m, 200 m, 300 m og 500 m fra et halmfyr. Analysen foretages ved at generere bufferzoner omkring halmfyrene, udvælge CPR-bopælspunkter lokaliseret inden for bufferzonerne i de tre afstandskategorier ved brug af overlejringsanalyse, og opgøre antal personer med bopæl inden for bufferzonerne for hver af de tre afstandskategorier.

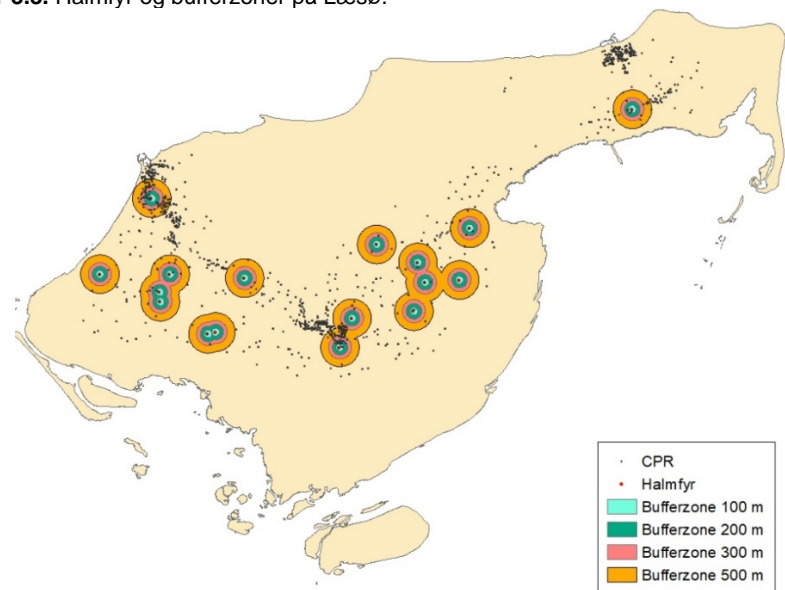
Metoden er visualiseret i Figur 3.2 (halmfyr), Figur 3.3 (halmfyr og bufferzoner) og Figur 3.4 (halmfyr, bufferzoner og beboelse).



Figur 3.2. Halmfyr på Læsø.



Figur 3.3. Halmfyr og bufferzoner på Læsø.



Figur 3.4. Halmfyr, bufferzoner og bopælspunkter på Læsø.

3.2 Antal personer i forskellige afstande til halmfyr

Den rumlige analyse af halmfyrsdata og CPR data viser, at der bor 37.851 personer inden for 100 m's afstand fra et halmfyr. De tilsvarende antal for 200 m, 300 m og 500 m er vist i Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Antal personer og bopælsadresser inden for 100 m, 200 m, 300 m og 500 m fra et halmfyr.

Afstand fra halmfyr	Antal personer	Andel af befolkning*	Antal adresser	Gennemsnitligt antal adresser pr. bufferzone
100 m	37.851	0,7%	14.386	2
200 m	85.451	1,5%	34.235	5
300 m	152.742	2,7%	61.983	8
500 m	341.826	6,1%	138.160	19

*Befolkningstal baseret på CPR-udtræk

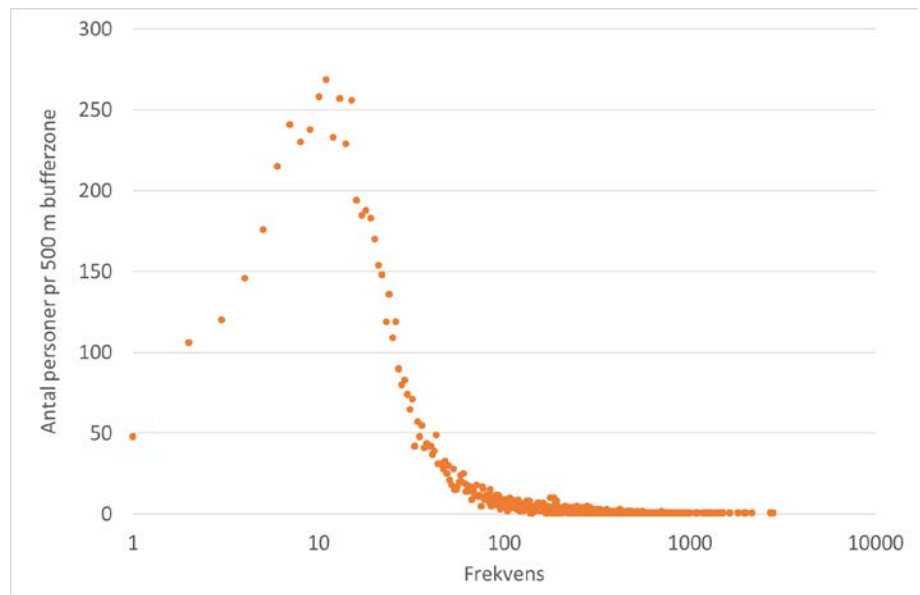
Resultaterne er behæftet med en vis usikkerhed pga. den forventede overestimering af antal halmfyr i BBR og pga. de manglende personer i CPR-udtrækket.

Analysen er baseret på 6.647 halmfyr fra SFL data og 794 halmfyr fra BBR (i alt 7.441 halmfyr). Ud fra antagelse om at overestimeringen af halmfyr i BBR er ensartet fordelt over hele landet, må det forventes, at der optræder ca. 400 halmfyr for meget i områder dækket af BBR, svarende til ca. 5 % af det samlede antal halmfyr.

For halmfyr der er placeret nær hinanden, vil effekten på antal personer inden for en given afstand være mindre, da bufferzonerne omkring halmfyrene overlapper i varierende omfang. Jo nærmere halmfyrene er på hinanden, og jo større afstand der analyseres indenfor, jo mindre vil usikkerheden være.

Usikkerheden på CPR-udtrækket er ca. 2 %, svarende til det antal personer, der ikke indgår i datasættet. Generelt er usikkerheden på analysen derfor lav, og det estimerede antal personer kan forventes at være retvisende, når der fokuseres på landstotal.

Nærmere analyse af resultaterne viser, at der er mellem 1 og 2.799 personer med bopæl inden for 500 m af et givent halmfyr, og at der i gennemsnit er 19 adresser inden for 500 m af et givent halmfyr. Figur 3.5 viser frekvensen af antal personer inden for 500 m fra et halmfyr. Figuren viser, at det hyppigst er få personer, som bor inden for 500 m fra et halmfyr, og det er relativt få gange, at det er mange personer. Det højeste antal personer, som bor inden for 500 m fra et halmfyr, er omkring 275 personer.



Figur 3.5. Frekvens af antal personer inden for 500 m fra et halmfyr.

4. Afstande fra halmfyr til overholdelse af B-værdier

Forrige kapital belyste hvor mange mennesker, der bor inden for forskellige afstande af halmfyr. I dette kapitel vurderes, hvordan dette relaterer sig til beregnede afstande til overholdelse af B-værdier fra halmfyr baserede på en tidligere undersøgelse (Løfstrøm, 2017). B-værdier er grænseværdier for det koncentrationsbidrag, som en forureningskilde maksimalt må påføre omgivelserne. B-værdier er fastsat i Miljøstyrelsens B-værdivejledning (Miljøstyrelsen, 2016) og retningslinjer for eftervisning af overholdelse fremgår af Luftvejledningen (Miljøstyrelsen 2001).

4.1 Afstandskrav for overholdelse af B-værdier

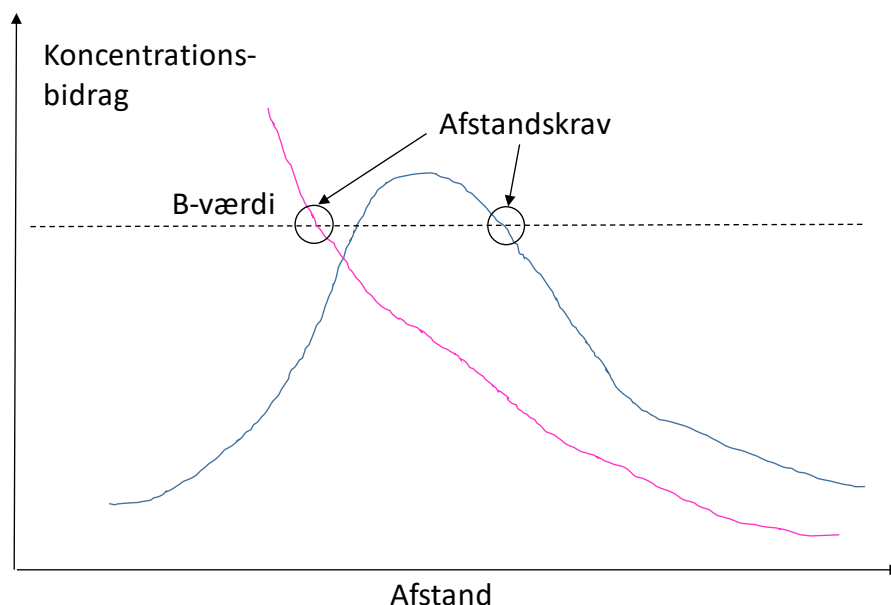
DCE har i en tidligere undersøgelse for Miljøstyrelsen udarbejdet et notat med krav til skorstenshøjder for halmfyr med forskellig indfyret effekt med henblik på overholdelse af B-værdierne for støv (massen af partikler under 10 mikrometer) og CO (kulilte) hos nærmeste nabo (Løfstrøm, 2017). Anbefalingerne tager udgangspunkt i gennemførte OML-beregninger i landzone. OML-modellen anvendes også i forbindelse med regulering af virksomheder/anlæg jf. Luftvejledningen (Miljøstyrelsen 2001) og Lugtvejledningen (Miljøstyrelsen, 1985). Af praktiske grunde formuleres kravene til skorstenshøjde indirekte via et afstandskrav til nærmeste nabo i forhold til et konkret halmfyr.

Beregninger er gennemført på baggrund af reviderede emissionsfaktorer for halmfyr op til 1.000 kW uden rensning. Der er taget udgangspunkt i et manuelt indfyret halmfyr opstillet i landzone. For de forskellige effektstørrelser er der gennemført beregninger med en række forskellige kombinationer af skorstens- og bygningshøjder i landbrugsområde med fladt terræn. Der er ligeledes udført beregninger til belysning af betydningen af forskellige grader af bevoksning i omgivelserne (ruhed) og betydningen af terræn. Endvidere er gennemført beregninger med forskellige røggas-temperaturer for at illustrere betydningen af usikkerheden på denne parameter.

OML beregner såkaldte maksimale månedlige 99 % fraktiler af luftkoncentrationen (timeværdi) i omgivelserne (Olesen et al., 2007). I sammenhæng med Luftvejledningen sker det normalt på basis af meteorologiske data fra Kastrup 1976. Disse 99 %-fraktiler må ikke overskride B-værdier, som er fastsat for en lang række stoffer, blandt andet for støv og CO. B-værdierne for støv og CO er henholdsvis 0,08 og 1 mg/m³. Den maksimale månedlige 99 % fraktil svarer til værdien af den omkring 7. højeste time i en måned, og disse må ikke overskride B-værdien.

For hver af de nominelle effekter op til 1.000 kW er den største afstand fundet, hvor B-værdien for støv eller CO ikke længere overskrides. Denne afstand er afstandskravet, og er således den mindste afstand, som der skal være mellem halmfyr og beboelse for, at B-værdien er overholdt i afstande større end afstandskravet. Det er altså beboelse, som ligger i afstande større end afstandskravet, som ikke overskrider B-værdien, mens den vil være overskredet i afstande mindre end afstandskravet, men ikke nødvendigvis i alle mindre afstande.

I Figur 4.1 er det meget skematisk vist, hvordan koncentrationsbidraget fra en kilde kan afhænge af afstanden fra kilden, og den største afstand, hvor B-værdien ikke længere er overskredet, er vist. Denne afstand kaldes afstandskravet, og vil sikre at beboelse beliggende uden for denne afstand af et halmfyrt ikke vil udsættes for overskridelse af B-værdien.

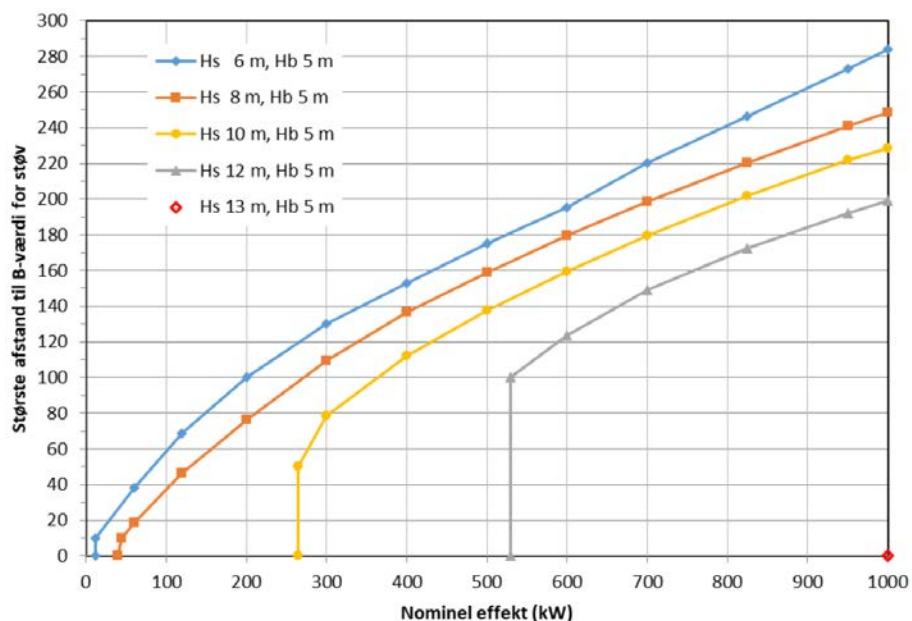


Figur 4.1. Skematisk oversigt over hvordan koncentrationsbidraget afhænger af afstanden fra en kilde med relativ lav bygning (blå) og relativ høj bygning (lilla).

4.2 Afstandskrav og beboelse

I nærværende rapport vil vi kort sammenstille afstandskravet for overholdelse af B-værdien med antallet af mennesker, som bor inden for forskellige afstande af halmfyrt. Vi har været nødt til at afgrænse det til et eksempel, da der i notatet om afstandskrav er opstillet en lang række kombinationer af forskellige effektstørrelser, skorstenshøjder, bygningshøjder, bevoksning, terræn og røggastemperatur.

I Figur 4.2 er vist afstandskrav som funktion af den nominelle effekt for de forskellige skorstenshøjder med en bygningshøjde på 5 m gengivet fra Løfstrøm (2017). En bygningshøjde på 5 m vil være typisk for mange landbrugsbygninger. Som det fremgår af figuren, afhænger afstandskravet af halmfyrtets nominelle effekt og af skorstenshøjden over terrænet. Generelt stiger afstandskravet jo lavere skorstenen er for samme nominelle effekt, da det giver højere koncentrationsbidrag i nærområdet. Omvendt gælder det, at jo højere skorsten jo bedre, og ved en skorstenshøjde på 13 m er det ikke nødvendigt med et afstandskrav ved en nominel effekt under 1.000 kW. I den lave ende af den nominelle effekt er kurverne 'lodrette', hvilket viser, at for lavere nominelle effekter er B-værdien overholdt uanset afstand, og der er ikke behov for et afstandskrav.



Figur 4.2. Afstandskrav (største afstand, hvor B-værdien for støv tangeres) for halmfyr med forskellige nominel effekt og forskellige skorstenshøjder (Hs) med bygningshøjde (Hb) på 5 m. (Gengivet fra Løfstrøm, 2017).

Hvis vi tager udgangspunkt i en skorstenshøjde på 10 m, hvor bygningen er 5 m høj, er der ikke noget afstandskrav for en nominel effekt under omkring 260 kW. Ved nominel effekt over 260 kW stiger afstandskravet fra omkring 50 m, til omkring 100 m ved 375 kW, til 200 m ved 820 kW, og til 230 m ved 1.000 kW. Som det fremgår af figuren, vil afstandskravet være højere ved en lavere skorsten, og afstandskravet vil være mindre ved en højere skorsten for den samme nominelle effekt af halmfyret.

I forrige kapitel viste vi, at omkring:

37.851 personer eller 0,7% af befolkningen bor inden for 100 m af et halmfyr
 85.451 personer eller 1,5% af befolkningen bor inden for 200 m af et halmfyr
 152.742 personer eller 2,7% af befolkningen bor inden for 300 m af et halmfyr
 341.826 personer eller 6,1% af befolkningen bor inden for 500 m af et halmfyr

Der bor således 47.600 personer (0,8%) mellem 100 m og 200 m, 67.291 personer (1,2%) mellem 200 m og 300 m, og 189.084 personer (3,4%) mellem 300 m og 500 m.

I det følgende vil vi sammenstille antal personer inden for forskellige afstande af halmfyr med kurverne i Figur 4.2.

Beboelse inden for 100 m

Et afstandskrav på 100 m betyder, at der som minimum skal være 100 m fra halmfyr til beboelse for at B-værdien er overholdt. For beboelse længere væk end 100 m fra halmfyret er B-værdien således overholdt, men ikke for beboelse under 100 m.

Hvis beboelse inden for 100 m af halmfyret ikke skal eksponeres over B-værdien, skal afstandskravet derfor være nul. Dette er det kun i følgende situationer:

- skorstenshøjde på 6 m og nominel effekt lig med eller under 10 kW
- skorstenshøjde på 8 m og nominel effekt lig med eller under 40 kW
- skorstenshøjde på 10 m og nominel effekt lig med eller under 260 kW
- skorstenshøjde på 12 m og nominel effekt lig med eller under 530 kW
- skorstenshøjde på 13 m og nominel effekt lig med eller under 1.000 kW

Under disse forudsætninger af skorstenshøjde og nominel effekt af halmfyret samt en bygningshøjde på 5 m vil B-værdien være overholdt i alle afstande.

Beboelse mellem 100 m og 200 m

Hvis beboelse beliggende mellem 100 m og 200 m fra halmfyret ikke skal være eksponeret over B-værdien, skal afstandskravet være minimum 100 m. Dette er det i følgende situationer:

- skorstenshøjde på 6 m og nominel effekt lig med eller under 200 kW
- skorstenshøjde på 8 m og nominel effekt lig med eller under 275 kW
- skorstenshøjde på 10 m og nominel effekt lig med eller under 375 kW
- skorstenshøjde på 12 m og nominel effekt lig med eller under 530 kW
- skorstenshøjde på 13 m og nominel effekt lig med eller under 1.000 kW

Under disse forudsætninger af skorstenshøjde og nominel effekt af halmfyret samt en bygningshøjde på 5 m vil beboelse inden for 100-200 m ikke være eksponeret over B-værdien, og det vil også gælde for større afstande, men der vil forekomme overskridelser inden for 100 m af halmfyret.

Beboelse mellem 200 m og 300 m

Hvis beboelse mellem 200 m og 300 m fra halmfyret ikke skal eksponeres over B-værdien, skal afstandskravet være minimum 200 m. Dette er det i følgende situationer:

- skorstenshøjde på 6 m og nominel effekt lig med eller under 620 kW
- skorstenshøjde på 8 m og nominel effekt lig med eller under 700 kW
- skorstenshøjde på 10 m og nominel effekt lig med eller under 820 kW
- skorstenshøjde på 12 m og nominel effekt lig med eller under 1.000 kW
- skorstenshøjde på 13 m og nominel effekt lig med eller under 1.000 kW

Under disse forudsætninger af skorstenshøjde og nominel effekt af halmfyret samt en bygningshøjde på 5 m ville beboelse inden for 200-300 m ikke være eksponeret over B-værdien, og det vil også gælde for større afstande, men der vil forekomme overskridelser inden for 200 m af halmfyret.

Beboelse mellem 300 m og 500 m

Hvis beboelse mellem 300 m og 500 m fra halmfyret ikke skal være eksponeret over B-værdien, skal afstandskravet være minimum 300 m. Dette gælder for alle kombinationer af skorstenshøjde og nominel effekt, men der vil forekomme overskridelser inden for 300 m af halmfyret.

Afstandskrav i andre situationer

I Løfstrøm (2017) er der gennemført en følsomhedsanalyse af, hvad forskelle i røggasttemperatur, bevoksning (ruhed) og terrænhældning betyder for afstandskravet for en skorstenshøjde på 6 m og en bygningshøjde på 5 m.

Denne følsomhedsanalyse viste, at røggasttemperaturen spiller en mindre rolle for afstandskravet, idet det kun øges med op til 40 m ved lavere temperatur og mindskes med op til 20 m for højere temperaturer for de højeste nominelle effekter. Det maksimale afstandskrav er 320 m.

Øget bevoksning (øget ruhed) fører til lavere afstandskrav med op til 50-60 m, og igen for de højeste nominelle effekter. Det maksimale afstandskrav er 280 m.

Ændring i terrænhældning har stor betydning, idet afstandskravet kan øges med op til 300 m ved en stor hældning på 10 %, og igen for de højeste nominelle effekter. Det maksimale afstandskrav er omkring 600 m.

Der er også foretaget en følsomhedsanalyse af betydningen af forskelle i skorstenshøjder og bygningshøjder for fladt terræn i landbrugsområde.

For en bygningshøjde på 8 m og skorstenshøjder på 9-16 m er det maksimale afstandskrav 250 m, dog nul for kombinationen 16 m skorsten og 1.000 kW.

For en bygningshøjde på 11 m og skorstenshøjder på 12-18 m er det maksimale afstandskrav 220 m, dog nul for kombinationen 18 m skorsten og 1.000 kW.

For en bygningshøjde på 15 m og skorstenshøjder på 16-22 m er det maksimale afstandskrav 170 m, dog nul for kombinationen 22 m skorsten og 1.000 kW.

I ovenstående er det maksimale afstandskrav mellem 170 m og 320 m, hvis der ses bort fra betydningen af terrænhældning. Maksimalværdien på 600 m er under usædvanlige forhold med en hældning på 10 grader.

Samlet vurdering

Ved et afstandskrav på omkring 300 m fra halmfyr vil der ikke være beboelse, som eksponeres over B-værdien under de mange undersøgte forskellige kombinationer af skorstenshøjder og nominel effekt samt andre forskelle i røggasttemperatur, bevoksning og terrænhældning (bortset fra større terrænhældninger).

Det betyder, at de 189.084 personer (3,4% af befolkningen), som bor mellem 300 m og 500 m fra halmfyr højst sandsynlig ikke udsættes for overskridelser af B-værdien for støv (massen af partikler under 10 mikrometer).

Der vil dog altid kunne opstilles krav om fx en meget høj skorsten, således at B-værdien ikke overskrides i nogen afstand.

Der kan opstilles kombinationer af skorstenshøjder og nominel effekt blandt de undersøgte kombinationer, som gør at B-værdien ikke overskrides inden for 100 m af halmfyr, hvor 37.851 personer eller 0,7% af befolkningen bor.

Det samme gør sig gældende for personer, som bor inden for 100 m til 200 m. Det drejer sig om 47.600 personer (0,8% af befolkningen), men der vil forekomme overskridelser af B-værdien inden for 100 m af halmfyret.

Der kan også opstilles kombinationer af skorstenshøjder og nominel effekt blandt de undersøgte kombinationer, som gør, at B-værdien ikke overskrides for personer, som bor inden for 200 m til 300 m af halmfyret. Det drejer sig om 67.291 personer eller 1,2% af befolkningen. Men der vil forekomme overskridelser af B-værdien inden for 200 m af halmfyret.

Referencer

Andersen, M.S. (2018): Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 2.0. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Dato: 19. juni 2018.

Andersen, M.S., Frohn, L.M., Brandt, J. (2019): Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 3.0. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Dato: 14. marts 2019.

Berkowicz, R. (2000): A Simple Model for Urban Background Pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* Vol. 65, Issue 1/2, pp. 259-267.

Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Palmgren, F., Berkowicz, R., Zlatev, Z. (2001): Operational air pollution forecasts from European to local scale. *Atmospheric Environment*, Vol. 35, Sup. No. 1, pp. S91-S98, 2001.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2011a): Assessment of Health-Cost Externalities of Air Pollution at the National Level using the EVA Model System. CEEH Scientific Report No 3, Centre for Energy, Environment and Health Report series, March 2011, p. 98.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. H. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2011b): EVA- en metode til kvantificering af sundhedseffekter og eksterne omkostninger. Temanummer om helbredseffekter af vedvarende energi. Sundhedsstyrelsens Rådgivende Videnskabelige Udvalg for Miljø og Sundhed. *Formidlingsblad* 17. årgang, suppl. 1, okt. 2011, pp 3-10.

Brandt, J., J. D. Silver, L. M. Frohn, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, C. A. Skjøth, H. Villadsen, A. Zare, and J. H. Christensen (2012): An integrated model study for Europe and North America using the Danish Eulerian Hemispheric Model with focus on intercontinental transport. *Atmospheric Environment*, Volume 53, June 2012, pp. 156-176, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.01.011.

Brandt, J., Silver, J. D., Christensen, J. H., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Sigsgaard, T., Geels, C., Gross, A., Hansen, A. B., Hansen, K. M., Hedegaard, G. B., Kaas, E., and Frohn, L. M. (2013a): Assessment of past, present and future health-cost externalities of air pollution in Europe and the contribution from international ship traffic using the EVA model system, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 7747-7764, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7747-2013>.

Brandt, J., Silver, J. D., Christensen, J. H., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Sigsgaard, T., Geels, C., Gross, A., Hansen, A. B., Hansen, K. M., Hedegaard, G. B., Kaas, E., and Frohn, L. M. (2013b): Contribution from the ten major emission sectors in Europe and Denmark to the health-cost externalities of air pollution using the EVA model system - an integrated modelling approach, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 7725-7746, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7725-2013>.

Brandt, J., Jensen, S.S., Andersen, M.S., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.K. (2016a): Helbredseffekter og helbredsomkostninger fra emissionssektorer i Danmark. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 182. <http://dce2.au.dk/pub/SR182.pdf>

Brandt, J., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Christensen, J. H., Ellermann, T., Hansen, K. M., Hertel, O., Im, U., Jensen, A., Jensen, S. S., Ketzel, M., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M. S., Sigsgaard, T., Geels, C. (2016b): Helbredseffekter og eksterne omkostninger fra luftforurening i Danmark over 37 år (1979-2015). Miljø og sundhed, 22. årgang, nr. 1, september 2016.

Christensen, J.H. (1997): The Danish Eulerian Hemispheric Model - a three-dimensional air pollution model used for the Arctic. Atmospheric Environment., 31, 4169-4191.

DØRS, 2016: Økonomi og miljø 2016. København.

Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A., Bossi, R. & Jensen, S.S. 2017. The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2016. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 78 pp. Scientific Report from DCE - Danish Centre for Environment and Energy No. 234. <http://dce2.au.dk/pub/SR234.pdf>.

Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A., Bossi, R. & Jensen, S.S. 2018. The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2017. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 83 pp. Scientific Report from DCE - Danish Centre for Environment and Energy No. 281. <http://dce2.au.dk/pub/SR281.pdf>

ENS, 2017. Energistatistik 2016. Udgivet i november 2017 af Energistyrelsen, Amaliegade 44, 1256 København K.

ENS, 2018. Biomass Statistics: Straw. Update: 7th edition, March 2018. Prepared for Danish Energy Agency by Ea Energy Analyses.

Danielsen, P.H, Møller, P., Loft, S. (2018): Vurdering af halmpartiklers farlighed. Internt notat udarbejdet for Miljøstyrelsen af Institut for Folkesundhedsvidenskab, Københavns Universitet. Marts 2018.

Finansministeriet (2017): Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger. København.

Jensen, S.S., Brandt, J., Christensen, J.H., Geels, C., Ketzel, M., Plejdrup, M. S., Nielsen, O.-K. (2018): Kortlægning af luftforureningens helbreds- og miljøeffekter i Region Hovedstaden, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 127 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 254 <http://dce2.au.dk/pub/SR254.pdf>.

Løfstrøm, P. (2017): Halmfyr og afstandskrav. Teknisk notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Dato: 30. november 2017.

- Miljøstyrelsen (2001): Begrænsning af luftforurening fra virksomheder. Vejledning fra miljøstyrelsen Nr. 2, 2001.
- Miljøstyrelsen (2016): Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20, august 2016, Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen (2017): Luftemissioner fra halmfyr. Miljøprojekt nr. 1958 September 2017.
- Nielsen, M. & Plejdrup, M.S. (2017): Små halmfyrede anlæg. Opdatering af eksisterende viden om partikelemissioner og geografisk placering. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 14. september 2017.
- Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Hjelgaard, K., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R. & Thomsen, M. (2018a): Fremskrivning af emissioner. SO₂, NO_X, NMVOC, NH₃, PM_{2,5} og sod. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 75 s. - Videnskabelig rapport nr. 298 <http://dce2.au.dk/pub/SR298.pdf>
- Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Fauser, P., Albrektsen, R., Hjelgaard, K.H., Bruun, H.G. & Thomsen, M. (2018b): Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE. Emission inventories from the base year of the protocols to year 2016. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 495 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 267 <http://dce2.au.dk/pub/SR267.pdf>
- Nielsen, O.-K., Plejdrup (2018): Antal og placering af små fyringsanlæg i Danmark. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 24. januar 2018.
- Olesen, H.R., Berkowicz, R. & Løfstrøm, P. (2007). OML: Review of model formulation. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. - NERI Technical Report 609: 130 pp. (electronic). Available at: <http://www.dmu.dk/Pub/FR609.pdf>.
- Palmgren et al. (2009): Luftforurening med partikler – et Sundhedsproblem. Miljøbiblioteket 14.
- Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Gyldenkerne, S. & Bruun, H.G. 2018. Spatial high-resolution distribution of emissions to air – SPREAD 2.0. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 186 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 131 <http://dce2.au.dk/pub/TR131.pdf>
- Watkiss, Paul, Steve Pye and Mike Holland (2005): CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020. Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the clean Air for Europe (CAFE) Programme. April 2005. http://www.cafecba.org/assets/baseline_analysis_2000-2020_05-05.pdf.
- Winther, M. 2018: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until the year 2016. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 127pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 277. <http://dce2.au.dk/pub/SR277.pdf>.

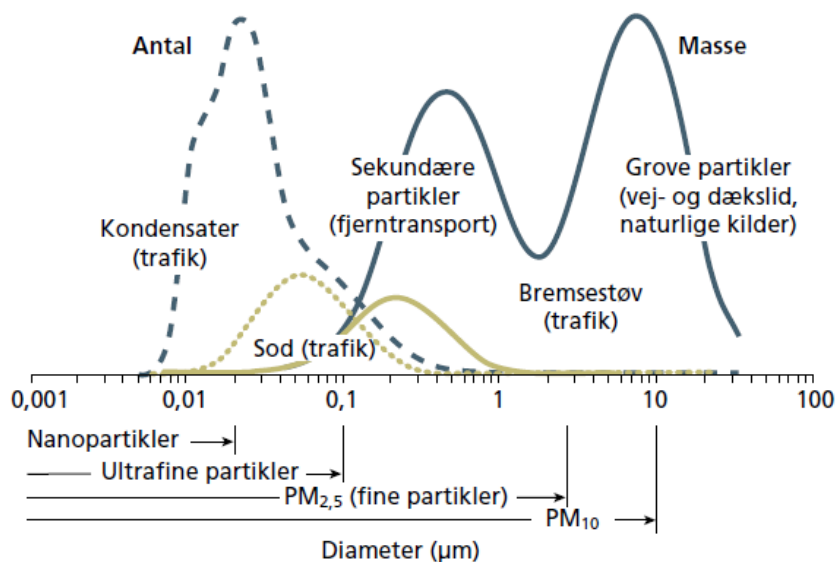
WHO, 2013. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Health risks of air pollution in Europe - HRAPIE project. Copenhagen

Bilag 1 Beskrivelse af partikler

Partikler i luften kan have vidt forskellige former og størrelser. Partiklerne kan bestå af væske eller fast stof, og de kan være alt fra kugle- og nåleformede (asbest er fx nåleformet) til uregelmæssige sammenhængende samlinger af mindre partikler.

Størrelsesfordeling af partikler

Det er almindeligt at opdele partikler efter størrelse: Partikler med en diameter under $0,1 \mu\text{m}$ (eller 100 nm) betegnes ultrafine partikler (partikelmassen (vægten) af disse partikler betegnes $\text{PM}_{0,1}$), partikler med en diameter under $2,5 \mu\text{m}$ kaldes fine partikler ($\text{PM}_{2,5}$), mens partikler mellem $2,5$ og $10 \mu\text{m}$ i diameter betegnes grove partikler ($\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2,5}$, hvor PM_{10} er partikler med diameter under $10 \mu\text{m}$). De ultrafine partikler har en meget kort levetid i atmosfæren, da de hurtigt sætter sig på overfladen af andre partikler, eller andre overflader de kommer i kontakt med. Fine partikler kan derimod transporteres over meget store afstande (over 1.000 km), da de afsættes meget langsomt til overfladen. Dog er det sådan, at de fine partikler fjernes effektivt af sky- og regndråber. De grove partikler er så store, at de afsættes ved tyngdekraftens indvirkning (gravitation), og derfor har også disse partikler en kort levetid i atmosfæren. TSP (total suspended particles) betegner massen af partikler i udeluften, også kaldet svævestøv, som er partikler med en diameter op til $30\text{-}50$ mikrometer.



Figur 1. Den typiske størrelsesfordeling af partikler ved en trafikeret bygade. Bemærk at x-aksen er logaritmisk, og at der ikke er angivet en y-akse, da denne er relativ for både antal og masse. De stipledede kurver viser fordelingen af partikler målt som antal. De fuldt optrukne linjer angiver den samme fordeling men i dette tilfælde for massen af partikler (vægten). Sodpartikler fra trafikken (lys farve) har betydning for såvel den samlede partikelmasse som det totale antal partikler. Kilde: Palmgren et al. (2009).

Primære og sekundære partikler

Man kan ligeledes foretage en opdeling i primære og sekundære partikler. De primære partikler udledes direkte til luften, mens sekundære partikler dannes

fra udledte gasser ved fysiske og kemiske processer i atmosfæren. En lang række menneskelige aktiviteter fører til udledning af primære partikler, bl.a. vejtrafik og boligopvarmning. Partikler med et stort sodindhold udledes eksempelvis fra dieselmotorer og benzindrivne motorer, som anvender en mager benzin/luft blanding. De sekundære partikler dannes blandt andet ved oxidation af svovldioxid (SO_2) til sulfat (SO_4^{2-}), ved ammoniaks reaktion med sure gasser, fx salpetersyre (HNO_3) saltsyre (HCl) og sure partikler som fx svovlsyre (H_2SO_4). Samtidig kan salpetersyre (HNO_3) optages på overfladen af eksisterende partikler. Ved de nævnte reaktioner dannes nitrat (NO_3^-), sulfat (SO_4^{2-}) og ammonium (NH_4^+) i den fine partikelfraktion ($\text{PM}_{2.5}$).

En række studier har vist, at sod (uforbrændt kulstof) er stærkere koblet til helbredseffekter end fx den fine partikelfraktion ($\text{PM}_{2.5}$). Umiddelbart skulle man tro, at ultrafine partikler på grund af deres lille størrelse vil være tæt koblet til helbredseffekter, men det har været vanskeligt at påvise en sådan kobling i epidemiologiske studier. Det skyldes muligvis, at det er vanskeligt at bestemme, hvor meget folk udsættes for ultrafine partikler. Vi opholder os indendørs en stor del af tiden, og ultrafine partikler har kort opholdstid i luften og transporteres kun i mindre opfang ind i boligen. Mange studier har kunnet påvise sammenhæng mellem helbredseffekter og $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} , men præcis hvad det er ved partiklerne, der giver disse effekter, er ikke fuldt afklaret. Derfor forskes der fortsat meget i helbredseffekter af partikelforurening.

Eksempler på kilder til primære partikler:

Forbrændingsprocesser:

- Udstødning fra vejtransport og landbrugsmaskiner
- Afkast fra kraftværker, industri og boligopvarmning (især brændeovne)
- Skovbrande, markafbrænding

Støv:

- Slid af dæk, bremses og vejbelægning
- Industri, kullagre og husdyrproduktion
- Havsprøjt, jordstøv og vulkaner

Planter:

- pollen og svampespore.

Eksempler på kilder til sekundære partikler:

Forbrændingsprocesser:

- Svovldioxid (SO_2)
- Kvælstofoxider (NO_x)
- Flygtige organiske forbindelser (VOC)

Landbrug:

- Ammoniak (NH_3)
- Flygtige organiske forbindelser (VOC)

Opløsningsmidler:

- Kulbrinter

Planter:

- Kulbrinter
- Dimetylsulfid (DMS) fra nedbrydning af havets alger.

Partikler fra halmfyr

Ifølge rapport om luftemissioner fra halmfyr (Miljøstyrelsen, 2017) består op imod 80 % af partikeludledningen fra halmfyr af alkalisaltes, primært i form af kaliumklorid, der dannes og fordamper under forbrændingen og kondenserer i røggassen. Alkalisaltes består af K^+ , Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} . Resten af partikelemissionen består af sod, aske og delvis forkullet halm. Partikler fra halmfyring er i størrelsesintervallet 0,01-1,4 μm med en geometrisk gennemsnitlig diameter på 0,37-0,44 μm (Danielsen et al., 2018).

Bilag 2 Vurdering af halmpartiklers farlighed

Institut for Folkesundhedsvidenskab under Københavns Universitet har for Miljøstyrelsen udført et litteraturstudie, hvor de har vurderet halmpartiklers farlighed (Danielsen et al., 2018). Baggrunden var at en rapport, udarbejdet af Teknologisk Institut for Miljøstyrelsen om luftemissioner fra halmfyr (Miljøstyrelsen, 2017), som konkluderer, at op imod 80 % af partikeludledningen fra halmfyr består af alkalisaltes, primært i form af kaliumklorid, der dannes og fordampes under forbrændingen og kondenserer i røggassen. Alkalisaltes består af K^+ , Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} . Partikelemissionen består også af sod, aske og delvis forkullet halm. Partikler fra halmfyring er i størrelsesintervallet 0,01-1,4 μm med en geometrisk gennemsnitlig diameter på 0,37-0,44 μm .

Litteraturstudiet konkluderede, at "det er vanskeligt med sikkerhed at afgøre betydningen og toksiciteten af alkalisaltes fra forbrænding af halm", og "Der er ikke meget evidens for at de rene alkalisaltes er toksiske i samme grad som diesel- eller brænderøgspartikler fra konventionelle/private brændeovne ved indånding, men der er ingen epidemiologiske studier til at bekræfte dette og ligeledes baseres det på et meget lille antal studier". Endvidere "Selvom størstedelen af partikelmassen fra halmfyring er alkalisaltes, er der et restindhold af uopløselige kulstofpartikler eksempelvis EC og OC", "hvilket muligvis kan have betydning for toksiciteten", og at "Det er vigtigt at påpege at den uopløselige fraktion af partikelmassen fra halmfyring, der ikke udgøres af alkalisaltes, måske kan udgøre en helbredsrisiko." (Danielsen et al., 2018). EC står for Elemental Carbon og OC for Organic Carbon.

[Tom side]

HELBREDSEFFEKTER OG EKSTERNE OMKOSTNINGER AF EMISSIONER FRA HALMFYR

Denne rapport beskriver emissioner fra halmfyr i Danmark, og de helbredseffekter og tilhørende eksterne omkostninger, som emissionerne giver anledning til. Endvidere er beregnet, hvor mange mennesker der bor inden for forskellige afstande af halmfyr, og dette er vurderet i forhold til afstandskrav fra halmfyr til nærmeste nabo. Afstandskrav er opstillet af Miljøstyrelsen for indirekte regulering af skorstenshøjder for halmfyr.