METEOROLOGISKE DATASERIER TIL OML-MODELLEN

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 143 2019

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

METEOROLOGISKE DATASERIER TIL OML-MODELLEN

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 143 2019

Per Løfstrøm

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 143
Titel:	Meteorologiske dataserier til OML-modellen
Forfatter(e): Institution(er):	Per Løfstrøm Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver: URL:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi © http://dce.au.dk
Udgivelsesår: Redaktion afsluttet:	Maj 2019 Maj 2019
Faglig kommentering: Kvalitetssikring, DCE:	Lise Marie Frohn Rasmussen Vibeke Vestergaard Nielsen
Finansiel støtte:	Miljø- og Fødevareministeriet
Bedes citeret:	Løfstrøm, P. 2019. Meteorologiske dataserier til OML modellen. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 73 s. - Teknisk rapport nr. 143 http://dce2.au.dk/pub/TR143.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Luftkvalitetsmodellen OML, som anvendes ved regulering af luftemissioner fra virksomheder og stalde med husdyrbrug, anvender meteorologiske data fra Kastrup 1976 og Aalborg 1974-83. Muligheden for anvendelse af andre og nyere danske meteorologiske data er undersøgt. Nuværende data er baseret på manuelle meteorologiske observationer og målinger fra master samt radiosonder, som bearbejdes i mikrometeorologiske modeller. Andre mere direkte måledata anvendelige for OML er spredte og tidsmæssigt usammenhængende. Data fra AU's beregninger med vejrmodellen WRF dækker årene 1979-2017. WRF-data for årene 2008-17 for 17 lokaliteter udviser kun mindre statistiske forskelle. OML-beregninger med disse data giver generelt større immissionskoncentrationer end de nuværende anvendte data. Der er relativt store variationer mellem lokaliteterne, og geografisk set er der kun ringe systematik i variationerne.
Emneord:	OML, meteorologiske data, B-værdier, Luftvejledningen, Lugtvejledningen
Layout: Foto forside:	Majbritt Pedersen-Ulrich Colourbox
ISBN: ISSN (elektronisk):	978-87-7156-408-2 2244-999X
Sideantal:	73
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/TR143.pdf

Indhold

Forord **5**

Sammenfatning **6**

Summary **9**

1. Indledning **12**

2. Meteorologiske data fra målinger **13**
2.1 DMI-Data 13
2.2 Andre overflade målinger 16
2.3 Tilgængelige mastedata 17
2.4 Begrænsninger i datagrundlag 18

3. Meteorologiske data fra vejrmodeller **20**
3.1 WRF og MM5 20

4. Sammenligning af meteorologiske data **21**
4.1 WRF- og OML-data 21
4.2 WRF-data og ultrasonic-data 26

5. OML-beregninger med WRF- og OML-data **28**
5.1 Konstruerede kilder 28
5.2 Maksimale månedlige 99%-fraktiler 28
5.3 Årsmiddelværdier 31
5.4 Delkonklusion 34

6. Geografisk variation af WRF-data **36**
6.1 Klimatologiske data og udvælgelse af lokaliteter 36
6.2 Meteorologiske parametre for 2008-2017 39

7. Konsekvens for immisionskoncentrationer **43**
7.1 Maksimale månedlige 99 %-fraktiler 44
7.2 Maksimale månedlige 99 %-fraktiler – skarp tolkning 44
7.3 Middelværdier 47
7.4 Tidslig udvikling af immisionskoncentrationer 50

8. Konklusion **52**

Referencer **54**

Bilag **56**

Forord

Miljøstyrelsen har bedt DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (AU) om at undersøge mulighederne for at anvende andre danske meteorologiske dataserier i den atmosfæriske spredningsmodel OML end de nuværende data (Kastrup 1976) anvendt i forbindelse med Miljøstyrelsens Luftvejledning for virksomheder og i vejledning om lugtgener fra virksomheder. Det sker på baggrund af, at Dansk industri har efterspurgt mulighed for at anvende lokal meteorologi i stedet for Kastrup 1976 ved OML-beregninger. Undersøgelsen foretages i relation til en kommende revision af vejledningen om lugt fra virksomheder, hvor Miljøstyrelsen ønsker at overgå til anden meteorologi, så der kan opnås et statistisk mere sikkert grundlag for vurdering af luftforurening. Opgaven er udført af Institut for Miljøvidenskab (ENVS).

Sammenfatning

OML er en atmosfærisk lokalskala spredningsmodel, som anvendes til at dokumentere, at virksomheder i Danmark overholder immissionsgrænseværdier (B-værdier) for luftforurenende stoffer, samt at virksomheder og husdyrbrug overholder lugtgrænseværdier.

Meteorologiske data udgør en væsentlig del af datagrundlaget for OML-beregninger. I dag anvendes meteorologiske data fra Kastrup Lufthavn for referenceåret 1976 (Kastrup 1976) for virksomheder i forhold til B-værdier og lugtgrænseværdier. I relation til lugtgrænseværdier for husdyrbrug (stalde) anvendes meteorologiske data fra Aalborg Lufthavn for referenceårene 1974-83 (Aalborg 1974-83).

Efter ønske fra Miljøstyrelsen er det undersøgt hvilke meteorologiske dataserier, der muligvis kan anvendes til OML-beregninger for virksomheder i stedet for Kastrup 1976, og konsekvenserne ved at overgå til andre meteorologiske dataserier.

Meteorologiske data kan dannes ud fra målinger eller vejrmodeller. Data konstrueret fra målinger anvender typisk målinger fra små master (overflademålinger) i kombination med radiosondemålinger (målinger fra ballonopstigninger). Kastrup 1976 og Aalborg 1974-83 er konstrueret på grundlag af sådanne målinger og observationer i lufthavnene (OML-data). Observationerne fra lufthavne giver ikke alle nødvendige mikrometeorologiske parametre til OML, og derfor beregnes de manglende parametre med submodeller, som blandt andet anvender statistiske sammenhænge mellem parametrene. Radiosondemålinger foretages hver 12. time og anvendes til bestemmelse af grænselagshøjden (blandingshøjden). Grænselagsmodeller beregner højder i de mellemliggende timer. I Danmark findes lange meteorologiske tidsserier fra en række lufthavne, og data kan i princippet anvendes til dannelse af andre OML-data.

Mere avancerede overflademålinger fra specielle master findes rundt om i Danmark. Data kan anvendes næsten direkte sammen med radiosondedata til konstruktion af OML-data. Dog er målingerne begrænset til forskellige kortere perioder, og lokaliteterne er ikke jævnt fordelt over Danmark.

DMI er ophørt med at foretage radiosondemålinger, hvilket i princippet umuliggør konstruktionen af dataserier til OML på grundlag af målinger for tiden efter 2006. Målinger er kun udført for to lokaliteter i Danmark.

Udvalgte meteorologiske parametre fra DMI viser ændringer gennem de seneste mange årtier. Meteorologiske data fra vejrmodellen WRF (WRF-data), som ENVS anvender og arkiverer data fra, er tilgængelig for perioden 1979-2017 og dækker Danmark i et 5,6 km net. På den baggrund og da der kun er begrænset tilgængelighed af meteorologiske målinger, er de mere omfattende analyser målrettet anvendelse af WRF-data for længere perioder.

De meteorologiske WRF-data er evalueret mod dels målinger og dels eksisterende OML-data via en sammenligning af hyppighedsfordelinger af centrale parameterværdier. WRF-data har generelt en rimelig god overensstemmelse

med både målinger fra lav mast og med OML-data. WRF-data har dog en relativ stor hyppighed af meget lave grænselagshøjder (blandingshøjder), og de laveste højder er derfor opjusteret i det videre arbejde.

Det er undersøgt, hvor vidt de tilsyneladende meget ens meteorologiske dataserier fra WRF og OML også resulterer i ens immissionskoncentrationer. Hertil er anvendt syv forskellige typer af konstruerede kilder med forskellige skorstens- og bygningshøjder. OML spredningsberegninger er udført for en 5-års periode 1979-83, hvor der findes samtidige WRF- og OML-data, som repræsenterer både Jylland og Sjælland. Der er sammenlignet maksimale månedlige 99 % fraktiler for de enkelte år og årsmiddelværdier for relevante beregningsområder.

I gennemsnit for alle kilder afviger de maksimale månedlige 99 %-fraktiler for de 4 datasæt med -3 % til +16 % i forhold til Kastrup 1976, dog med store variationer på -21 % til + 97 % for enkelte kilder på enkelte år. Gennemsnittet for de maksimale årsmiddelværdier afviger +29 % til +40 % for de 4 datasæt i forhold til Kastrup 1976 med store variationer på -27 % til +128 % for enkelte kilder for enkelte år. På årsbasis er det gennemsnitlige forhold mellem maksimale månedlige 99 %-fraktiler og middelværdier for de 4 datasæt på 22-25 mod 31 for Kastrup 1976. Det er dog ikke til at afgøre hvilken type af meteorologiske datasæt, der er det mest korrekte, idet konstruktionen af begge typer involverer modeller.

Der er også variation i retningerne til den maksimale månedlige 99 %-fraktil og årsmiddelværdien for de enkelte kilder. Det viser behovet for anvendelse af længere tidsserier til OML-beregningerne for at opnå mere stabile værdier.

Sammenligning af vejrdata fra WRF for 10 år (2008-17) viser kun mindre forskelle mellem 17 lokaliteter, som repræsenterer kystnære og ikke kystnære lokaliteter, samt de forskellige landsdele. Tilhørende OML-beregninger viser stort set ingen systematiske variationer i værdierne for den maksimale månedlige 99 % fraktil. Dette gælder for alle kilderne. De usystematiske variationer optræder, både når værdierne betragtes for et beregningsområde og i bestemte afstande fra kilderne. Der er også forskelle i retningerne til maksimum for et område, men kun mindre forskelle i afstanden.

Beregninger af maksimale 10-års middelværdier udviser en smule systematik, idet værdierne er lavest i kystnære områder. Værdierne er højest i indlandet og for lokaliteter, hvor der samtidig er relativ høj hyppighed af en bestemt vindretning.

Da WRF-data repræsenterer et gennemsnit for ca. 30 km^2, hvilket skulle dæmpe meget lokale fluktuationer, var det forventet, at 10 års WRF-data ville resultere i mere systematiske og jævnt varierende værdier hen over Danmark for den maksimale månedlige 99 % fraktil og specielt for 10-års middelværdien. Den konstaterede overvejende usystematiske variation kan være reel og kunne skyldes forskelle i meteorologien for området. Men u-systematikken kan også skyldes begrænsninger eller usikkerheder i WRF-data.

Hvis WRF-data afspejler reelle variationer i Danmark, så er spørgsmålet hvilken geografisk detaljeringsgrad, der skulle anvendes for WRF-data. Med den nuværende WRF-model er de danske landområder dækket af ca. 1.000 punkter, som principielt kunne stilles til rådighed af ENVS. En beregning burde således benytte sig af data fra det nærmeste WRF-punkt. Dette vil måske

kunne give nogle praktiske problemer i den daglige sagsbehandling i Danmark.

Af praktiske grunde kunne man reducere antallet af lokaliteter til én i hver kommune, altså 98 lokaliteter. Men for kommunerne i kystområderne vil der alligevel være en forskel mellem kyst og indland i forhold til middelværdier.

De maksimale månedlige 99 % fraktiler beregnet med 10 års WRF-data for et beregningsområde er generelt højere end værdierne beregnet med data fra Kastrup 1976. Det skyldes dels, at der er 10 gange flere måneder i WRF-data, hvorfor der er større sandsynlighed for 'uheldige' meteorologiske forhold, og dels at WRF-data generelt giver lidt større månedlige 99 % fraktiler for et enkelt år. I gennemsnit for alle kilder og lokaliteter er de maksimale månedlige 99 %-fraktiler (10 år) for et beregningsområde 26 % større end for Kastrup 1976 med variationer mellem -1 % til +91 %.

Ved skarp retningstolkning med WRF-data i forhold til konservativ retningstolkning på data fra Kastrup 1976 vil der beregnes både højere og lavere maksimale månedlige 99 % fraktiler afhængig af retningen.

Maksimale middelværdier (10 år) beregnet med WRF-data er generelt større end årsmiddelværdien for Kastrup 1976. I gennemsnit for alle kilder og lokaliteter er middelværdien 21 % større med variation mellem -43 % til +102 %. En væsentlig årsag er, at årsmiddelværdien for 1976 er den laveste værdi for OML-data for Kastrup 1974-83 og er for de syv kilder 12-26 % lavere end gennemsnittet for perioden.

OML-beregninger for en 39-årig periode 1979-2017 med WRF-data viser ingen tidslig udvikling i niveauerne af den årlige maksimale månedlige 99% fraktil for et beregningsområde, og heller ikke nogen udvikling i årsmiddelværdien.

Beregnede maksimale månedlige 99 % fraktiler med 10 års WRF-data for hele beregningsområder er generelt højere end for OML-data for Kastrup 1976. Beregninger med værdier mere på niveau med Kastrup 1976 ville formodentligt opnås ved i stedet at anvende fx den 4. største månedlige 99 % fraktil over 10 år. Det er muligt, at en sådan statistik i nogen grad også vil medføre mere systematiske variationer hen over Danmark, som set for maksimale 10-års middelværdier.

Summary

The OML model is an atmospheric local scale dispersion model that is used to document that Danish installations observe air pollution limit values (C-values) as stated in the Industrial Air Pollution Control Guidelines from the Danish EPA. The C-value of a substance is a limit value for how much each installation may contribute to air pollution. OML is also used for regulation of odour. OML calculates among other statistics the maximum monthly 99 percentile for one year, and the value should comply with the C-value and limit values for odour.

Meteorological data is a central part of the data used in dispersion calculations. At present data from Copenhagen Airport from 1976 (Kastrup 1976) serves as a standard. However, odour from animal housing is regulated with data from a 10 years period from Aalborg Airport 1974-83 (Aalborg 1974-83).

As requested by the Danish EPA this report analyses which other data could possibly replace Kastrup 1976 and the corresponding consequences for the immission concentrations.

Meteorological data for OML can be constructed from measurements or from weather forecast models. Measurements consist of observation from meteorological masts typically 10 m high and radio soundings (vertical balloon profiles of temperature). The meteorological OML pre-processor uses the measurements to construct the special micro-meteorological data necessary for OML. The pre-processor includes statistical relations between e.g. cloud cover, type of cloud and radiation. The radio soundings performed with 12 hours interval also require use of models for estimation of the boundary layer height for hours in between measurements. Kastrup and Aalborg data are constructed in this way (OML data). In a number of airports in Denmark, surface observations are available for many years back in time, but radio soundings stopped in 2006.

Special masts with advanced micro-meteorological measurements for almost direct use in OML have been operated in Denmark. However, the masts are few and covers only short periods of time that differs between masts.

Changes over time of some meteorological parameters are observed during the last many decades (Danish Meteorological Institute). Meteorological data from the weather forecast model WRF (WRF data) operated by Institute of Environmental Research at Aarhus University are available for 39 years, 1979-2017 and covers Denmark in a 5.6 km grid. Due to this and the very few available radio soundings and mast measurements, the further analyses are aimed at the use of WRF data for longer periods.

WRF-data was compared with one year of ultrasonic measurements and 5 years of OML data, 1979-83. The evaluation consisted of comparing the statistical distribution of the values of available parameters. WRF data was in agreement with both measurements and OML data. However, the frequency of low (<150 m) boundary layer heights in WRF data were too high compared with OML data and was adjusted to comply with OML data statistics.

OML dispersion calculations were also compared for WRF and OML data for the 5 years for two regions. In total four types of calculations. For this purpose, seven different types of point sources with different stack and building heights were employed. The maximum monthly 99 percentile (c*99*) and the maximum average (*avg*) was calculated for each year.

The average of the c99's for all sources in a dataset differ from -3 % to +16 % compared to data from Kastrup 1976. For a single year and a single source, the difference range from -21 % to +97 %. The average of the yearly averages for all sources in a dataset differ between +29 % to +40 % compared to data from Kastrup 1976. For a single year and a single source, the differences range from -27 % to +128 %. For sources of the same type, the direction towards both *c99* and *avg* differs between the years and the datasets. It is not possible to tell which of the two datasets that is the most accurate, because both datasets use models.

Comparison of meteorological data from WRF for 10 years (2008-17) show no major differences among 17 Danish locations representing near-shore and inland locations, and different regions. The associated OML calculations of *c99* show no systematic variation either. The un-systematic variations occur no matter if the whole area of calculation or certain distances are concerned. For an area, the direction to the maximum also varies but the distances are more alike.

The maximum of 10-year averages show some systematic behaviour. The values are lowest in near-shore locations. Values are highest for inland locations with relative high frequency of a certain wind direction.

Because WRF data represents a square of about 30 km^2 that should exclude very local variations, some systematic geographical variation of *c99* and in particular *avg* was expected. The un-systematic variations could be real and be caused by natural meteorological differences between areas. However, it could also be due to limitation in WRF data.

If WRF data express the true variations then the question is to which degree of geographical detail the WRF data should be available for OML calculations for regulatory purpose. More than 1,000 WRF points cover Denmark and this could give some practical difficulties in the everyday regulatory work. Reducing the number of WRF data to one set for each of the 98 municipalities will still have the problem with differences between near-shore and inland locations.

The *c99* calculated for 10 years of WRF data for an area is in general higher than the values for Kastrup 1976 (relevant for C-values). This is due to the longer time series, which increase the likelihood for encountering disadvantageous meteorological situations and because WRF data on a yearly basis gives higher *c99* values. In average for all sources and for the 17 locations, the *c99* for 10 years of WRF data is 26 % higher compared to Kastrup 1976 and varies from -1 % to +91 % for individual sources and locations.

Sharp directional assessment of *c99* using WRF data compared to non-directional assessment using data from Kastrup 1976 gives both higher and lower values depending on the direction.

The *avg* for 10 years of WRF data is in general higher than the values calculated using data from Kastrup 1976. In average for all sources and the 17 locations, the value is 21 % higher and varies from -43 % to +102 % for individual sources and locations. An important reason is that *avg* for Kastrup 1976 is the year with the lowest value calculated for the period 1974-83 and the values for the seven sources are 18-26 % lower than the average for all 10 years.

OML calculations with WRF data for 1979-2017 do not show trends in the yearly values of *c99* or *avg*.

Calculations of *c99* based on 10 years WRF data are in general higher than calculations with Kastrup 1976 data. In order to obtain statistical values that would be more in line with c99 values for Kastrup 1976, e.g. the fourth highest monthly 99 percentile might be applied instead. This might also result in a smooth and explainable geographical variation of the values as for the averages.

1. Indledning

OML-modellen (Operationel Meteorologisk Luftkvalitetsmodel; Olesen et al., 2007) er en atmosfærisk spredningsmodel, der anvendes til at dokumentere, at virksomheder i Danmark overholder immissionsgrænseværdier (B-værdier) for luftforurenende stoffer, samt at virksomheder og husdyrbrug overholder lugtgrænseværdier.

Meteorologiske data udgør en væsentlig del af datagrundlaget for OML-beregninger. I dag anvendes meteorologiske data fra Kastrup Lufthavn for referenceåret 1976 (Kastrup 1976) i relation til virksomheders grænseværdier. For husdyrbrug (stalde) og lugt anvendes meteorologiske data fra Aalborg Lufthavn for referenceårene 1974-83 (Aalborg 1974-83).

Formålet med projektet er at undersøge, hvilke meteorologiske dataserier der muligvis kan anvendes til OML-beregninger for virksomheder i stedet for Kastrup 1976 og at vurdere konsekvenserne af at overgå til andre meteorologiske dataserier.

I kapitel 2 beskrives de meteorologiske dataserier, som operationelt anvendes i OML, og hvilke danske meteorologiske data, som er til gængelige for konstruktion af data til OML.

I kapitel 3 beskrives meteorologiske data til OML dannet ud fra vejrmodeller, herunder data fra WRF modellen (WRF-data).

I kapitel 4 sammenlignes meteorologiske data fra målinger, WRF-data og eksisterende OML-data.

I kapitel 5 sammenlignes OML-spredningsberegninger med anvendelse af WRF-data og OML-data for en sammenfaldende 5 års periode.

I kapitel 6 undersøges den geografiske variation i WRF-data.

I kapitel 7 undersøges konsekvenserne for immissionskoncentrationer ved anvendelse af 10 års WRF-data i OML-beregninger.

2. Meteorologiske data fra målinger

Simple meteorologiske målinger, som fx fra en lufthavn, kan ikke umiddelbart anvendes i OML. De lidt specielle mikrometeorologiske data, som anvendes i OML, kan tilvejebringes på forskellig vis, dels ud fra en kombination af direkte målinger og teoretiske modeller, og dels ved udtræk fra egentlige vejrmodeller.

Meteorologiske data til OML konstrueret fra målinger anvender typisk målinger fra 10 m høje master (overflademålinger) i kombination med radiosondemålinger (temperaturmåling ved ballonopsendelse). Metoderne til bearbejdning af overflademålinger afhænger af typen af målte parametre. ENVS anvender tre forskellige metoder, som afspejler en stigende kvalitet af måledata: resistansmetoden, profilmetoden og direkte målinger med ultrasonic (lydmåling).

De tre metoder beskrives kort i det følgende og i kapitel 3 omtales dataserier fra vejrmodeller.

2.1 DMI-Data

I dette afsnit beskrives data indsamlet af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI). Data kan være indsamlet fra lufthavne, hvor også manuelle observationer indgår, eller fra automatiske mastemålinger.

2.1.1 Lufthavnsdata for Kastrup og Aalborg, resistansmetoden

Til konstruktion af OML's operationelle meteorologiske dataserier for Kastrup 1976 og Aalborg 1974-83 er blandt andet anvendt meteorologiske målinger og observationer fra de pågældende lufthavne. Målingerne er fra master placeret i åbne områder fri for forstyrrende elementer, som bygninger og høj bevoksning. De måler vindretning og -hastighed i 10 m samt temperatur og fugtighed i 2 m. Tidligere blev målinger aflæst af observatører, som dog stadig rapporterer skydække, skytyper, nedbør, evt. sne på jorden og andet. Samlet kaldes disse målinger og observationer for SYNOP-data og foreligger hver time for en række lufthavne.

SYNOP-data anvendes til bestemmelse af mikrometeorologiske parametre til OML via den såkaldte *resistansmetode* indbygget i en meteorologisk præprocessor (Olesen and Brown, 1988), som udnytter teoretiske sammenhænge i de mikrometeorologiske turbulensparametre. En af submodellerne anvender en statistisk relation mellem skydække, skytype, nedbør, solhøjde og varmefluks (Berkowicz et al., 1982a).

2.1.2 Radiosondedata

En anden central datatype er såkaldte *radiosonde*-målinger. Det er ballonopsendelser, hvor blandt andet temperatur, fugtighed og vind registreres kontinuert. Opsendelser foretages to gange i døgnet kl. 0 og 12 GMT på stationer, som indgår i et verdensomspændende observationssystem. Målingerne når meget stor højde, men kun de nederste 3.500 m anvendes af OML's meteorologiske præprocessor. Data kan i nogle situationer direkte give den såkaldte

grænselagshøjde (blandingshøjde), hvorunder den turbulente spredning af røggasser foregår.

I tidsrummet mellem radiosonde-målinger (11 hele klokkeslæt), hvor grænselagshøjden ikke måles, anvendes en model for grænselagshøjden (Olesen et al., 1987). Modelhøjden justeres, så den stemmer med de målte højder før og efter, når højden i øvrigt er registrerbar. Modellen beregner to forskellige bud på højden: En *mekanisk højde* baseret på vindhastigheden ved jorden, og en *termisk højde* baseret på varmefluksen ved jordoverfladen. Den største af disse to anvendes. Målte tydelige inversioner (brat temperaturstigning i lidt større højde) indgår også i udvælgelsen af en operationel højde.

Analyse af radiosonde-data giver også stabiliteten (luftens modstand mod at flyttes i vertikal retning) lige over grænselaget. Stabiliteten bestemmer hvorvidt en røgfane, som stiger til vejrs, kan bryde igennem grænselagets top og derfor ikke vil bidrage til koncentrationer ved jorden.

I Danmark findes gennem tiderne kun to steder hvorfra, der er foretaget rutinemæssige opsendelser af radiosonder. Der er fra Jægersborg 10 km nord for København og fra Karup Lufthavn i Midtjylland. På hverdage har der til tider også været radiosonder fra Aalborg Lufthavn kl 6 GMT, og de har suppleret Karup-data. Målinger har været anvendt til konstruktion af dataserierne for henholdsvis Kastrup og Aalborg begge for perioden 1974-83.

Dannelse af meteorologiske data til OML med resistansmetoden og radiosondedata er relativt kompliceret og tidskrævende også i forhold til ekstra kvalitetskontrol af data fra DMI. Der kan fx være mindre huller i tidsserierne, som skal erstattes med andre observationer, og der kan være deciderede fejl i observationerne.

2.1.3 Andre DMI-data

Ud over lufthavnene Kastrup og Ålborg findes andre danske lokaliteter, hvor DMI indsamler meteorologiske data af forskellig karakter, herunder SYNOP-data. I tabel 2.1 er listet 40 stationer, som indsamler/måler nogle af de parametre, som er nødvendige for at kunne anvende resistansmetoden i OML's præprocessor. Data er uddraget fra DMI's stationsoversigt for 2013 (DMI 2013).

De nødvendige data er: Temperatur, vind, enten nedbør eller vejrobservationer, skydække og snedække. Det opfyldes kun af 6 stationer. Der er yderligere 19 stationer, hvor der mangler snedække, som dog med god præcision vil kunne findes blandt DMI's 75 landsdækkende sneobservations-lokationer.

For de resterende 15 stationer, hvor skydække mangler, vil solstråling i dagtimerne kunne anvendes, men i nattetimerne skal der anvendes skydække fra nærliggende stationer, hvilket vil give en forøget usikkerhed.

I figur 2.1 er vist placeringen af stationer med de tre grupper af observationer.

Mange af DMI's målinger af vindhastighed med cup-anemometre for 1980'erne og før har en såkaldt threshold-fejl på grund af friktion i lejer. Det betyder, at ved lave hastigheder går måleren først i gang ved vindhastigheder over threshold-værdien, som for de ældste er ca. 2 m/s. De lidt højere vindhastigheder kan også være påvirkede. Siden er vindmålerne blevet udskiftet.

De ældre operationelle dataserier for Kastrup og Aalborg har dog en lavere threshold på 0,5 m/s.

Tabel 2.1. DMI stationer i 2013, som observerede de fleste af parametrene til anvendelse i resistancemetoden i OML's præprocessor. Det er dog kun de 6 stationer, som observerer snedække, hvor alle nødvendige parametre umiddelbart findes. De øv-

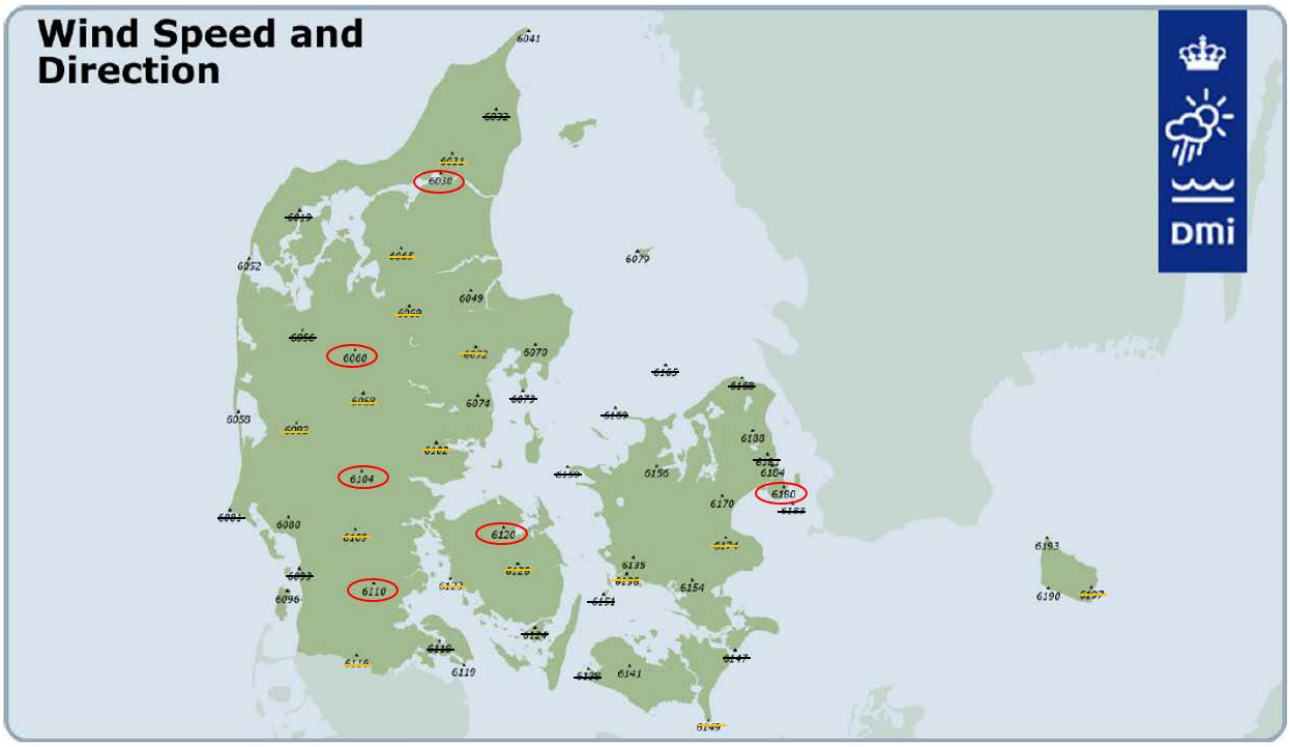
Stations nr	Stations Navn	Luft temp.	Vind	Nedbør	Vejr-obs.	Sky-dække	Sol-stråling	Sne-dække
06030	FLYVESTATION ÅLBORG	●	●	●	●	●		●
06031	TYLSTRUP	●	●	●			●	
06041	SKAGEN FYR	●	●	●	●	●	●	
06049	HALD VEST	●	●		●	●		
06052	THYBORØN	●	●	●	●	●		
06056	MEJRUP	●	●				●	
06058	HVIDE SANDE	●	●	●	●	●	●	
06060	FLYVESTATION KARUP	●	●	●	●	●		●
06065	ÅRS SYD	●	●	●			●	
06068	ISENVAD	●	●	●			●	
06069	FOULUM	●	●	●			●	
06070	ÅRHUS LUFTHAVN	●	●	●	●	●		
06072	ØDUM	●	●	●			●	
06074	ÅRHUS SYD	●	●	●	●	●		
06079	ANHOLT HAVN	●	●	●	●	●	●	
06080	ESBJERG LUFTHAVN	●	●	●	●	●		
06082	BORRIS	●	●	●			●	
06096	RØMØ/JUVRE	●	●		●	●	●	
06102	HORSENS/BYGHOLM	●	●	●			●	
06104	BILLUND LUFTHAVN	●	●	●	●	●		●
06109	ASKOV	●	●	●			●	
06110	FLYVESTATION SKRYDSTRUP	●	●	●	●	●		●
06116	STORE JYNDEVAD	●	●	●			●	
06119	KEGNÆS FYR	●	●	●	●	●		
06120	ODENSE LUFTHAVN	●	●	●	●	●		●
06123	ASSENS/TORØ	●	●		●		●	
06126	ÅRSLEV	●	●	●			●	
06135	FLAKKEBJERG	●	●	●	●	●	●	
06136	TYSTOFTE	●	●	●			●	
06141	ABED	●	●	●	●	●	●	
06149	GEDSER	●	●	●			●	
06154	BRANDELEV	●	●	●	●	●		
06156	HOLBÆK FLYVEPLADS	●	●	●	●	●	●	
06170	ROSKILDE LUFTHAVN	●	●	●		●		
06174	TESSEBØLLE	●	●	●	●		●	
06180	KØBENHAVNS LUFTHAVN	●	●	●	●	●		●
06184	DMI	●	●	●	●	●		
06188	SJÆLSMARK	●	●	●	●	●	●	
06190	BORNHOLMS LUFTHAVN	●	●		●	●		
06193	HAMMER ODDE FYR	●	●	●	●	●	●	
06197	NEXØ VEST	●	●	●			●	

Nogle af stationerne observerer ikke i alle døgnets timer, hvilket er nødvendigt i forhold til OML. Det er ikke undersøgt yderligere, hvilke det vedrører. Her er det specielt vejrobservationer, som gøres manuelt, der ikke udføres.

Det vides ikke, om tabellens angivelse af skydække betyder, at skydækket rapporteres med den detaljeringsgrad, som anvendes for SYNOP-data, hvilket er nødvendigt for anvendelse af præprocessoren.

Nogle lufthavne har forstyrrende læ-forhold, og andre har for ringe kvalitet ved lave vindhastigheder for ældre data. Det er blandt andet konstateret for Aarhus Lufthavn i Tirstrup for sydlige vindretninger.

Samlet set indikerer ovenstående, at der kun vil være få lokaliteter, som vil kunne anvendes til konstruktion af meteorologiske dataserier til OML; primært de 6 store lufthavne.



Figur 2.1. Kort med nummer og placering af DMI-stationer med måling af vind, som var operationelle i 2013 (DMI 2013). Der er rød cirkel omkring de stationer (6 stk.) som umiddelbart kan anvendes til OML's præprocessor med resistansmetoden (jf. Tabel 2.1). De øvrige stationer (19 stk., som ikke er overstregede) skal kombineres med observation af snedække fra andre specielle DMI-stationer. For at kunne anvende stationer med gule overstregning (15 stk.) skal der anvendes skydækkedata fra andre stationer. Stationer med sort overstregning indgår ikke i tabel 2.1. Flere stationer har ikke fuld dækning af alle døgnets timer.

2.2 Andre overflade målinger

I forbindelse med specielle forskningsrelaterede undersøgelser foretages undertiden meteorologiske målinger fra specielt designede målere på master med en typisk højde på ca. 10 m. Målingerne stiller krav til, at der omkring masten i nogle hundrede meters afstand er lav, ensartet bevoksning, og at der ikke er større forstyrrende elementer som fx bygninger og træer. Herunder omtales de to mest anvendte specielle målemetoder.

Til bestemmelse af grænselagshøjden skal der for begge metoder dog stadig anvendes radiosonde-målinger sammen med modeller for højden af grænselaget.

2.2.1 Vertikale temperaturprofiler, profilmetoden

En type målinger udføres fra master, som ud over standard målinger af temperatur, vindretning og –hastighed, måler den meget lille temperaturforskel mellem to højder, typisk 2 m og 10 m. Temperaturforskellen er afgørende for bestemmelse af turbulens og varmefluks. Data behandles i specielle computerprogrammer, der anvender teoretiske relationer for mikrometeorologiske parametre i grænselaget under forskellige stabilitetsforhold (Berkowicz et al., 1982b).

Denne type data er rimeligt pålidelige og velegnede som grundlag for OML's meteorologiske dataserier.

Der findes dog kun begrænsede data af denne type. Målinger foretages ofte kun i kortere perioder (ofte kun i halve og hele år) og sjældent samtidigt på forskellige lokaliteter (se afsnit 2.3)

2.2.2 Ultrasonic

Ultrasonic-målinger fungerer ved at måle lydhastigheden over en afstand af ca. 10 cm i tre på hinanden vinkelrette retninger. Målingen foretages i ca 10 m's højde over jorden. Målingerne giver direkte bestemmelse af de mikrometeorologiske turbulensparametre som turbulens, varmefluks, aero-dynamisk ruhed, temperatur samt vindretning og –hastighed.

Denne type data er de mest pålidelige og bedst velegnede som grundlag for OML's meteorologiske dataserier.

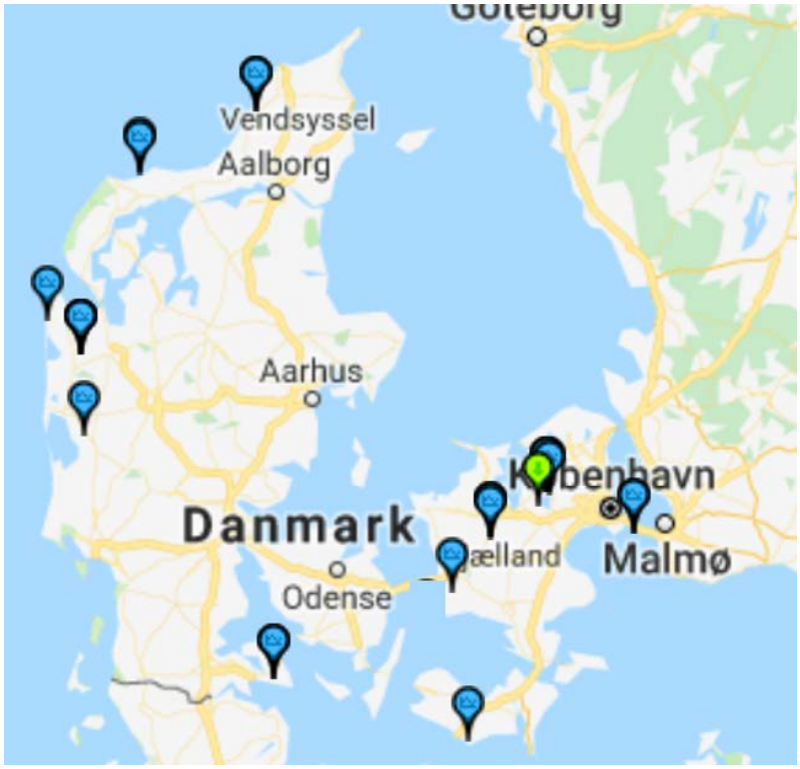
Der findes dog kun begrænsede data af denne type. Målinger foretages ofte kun i kortere perioder (ofte kun i halve og hele år) og sjældent samtidigt på forskellige lokaliteter (se afsnit 2.3).

2.3 Tilgængelige mastedata

DTU-Risø har gennem en lang årrække foretaget meteorologiske målinger fra master i forbindelse med konkrete projekter forskellige steder i Danmark. De anvendte målemetoder har været forskellige ligesom varigheden og tidspunkterne for måleperioderne har været meget forskellige (DTU-Risø hjemmeside). Af de ca. 27 projekter med danske meteorologiske målinger er der kun 11 projekter, hvor måleperioden er et år eller længere, hvor der er de nødvendige måleparametre, og hvor målingerne ikke er foretaget over skov. I tabel 2.2 er de 11 projekter listet sammen med måleperiode og lokalitet samt typen af målinger (jf. afsnit 2.2.1 og 2.2.2). For profilmetoderne er højden af temperaturmålingerne anført. Figur 2.2 viser lokaliteterne på et kort.

Tabel 2.2. Liste med potentielle meteorologiske datasæt.

DTU-Risø projekt-ID	Periode (hele år, inkl.)	Lokation	Måletype
Jylex	1983-2003	Skjern	Profil, 2 - 10 m
Kegnaes	1991-2005	Kegnæs, Als	Profil, 2 - 10 m
Kegnaes phase 2	2006-	Kegnæs, Als	Profil, 2 - 10 m
Boerglum phase2	2006-	Lykken, Vendsyssel	Profil, 2 - 30 m
Tystofte	1983-	Tystofte, SV-Sjælland	Profil, 2 - 36 m
Oesterild Public	2015-	Østerild, Thy	Profil, 2- >100 m
Oesterild W	2011-2014	Østerild, Thy	Profil, 2- >100 m
Risø	1995-	Roskilde	Profil, 2- >100 m
Høvsøre public	2005-	Vestjylland	Profil, 2- >100 m
RIMI	2005-2008	Roskilde	Ultrasonic, 2,5 m
Risø Turbulence	2004-2006	Roskilde	Ultrasonic, 60 m



Figur 2.2. Placeringen af DTU-Risø meteorologiske måleprojekter. Projekterne på Lolland og på Øresund er ikke med i tabel 2.2. (DTU-Risø, Google).

Det er dog begrænset hvor mange af datasættene, der kan anvendes, hvis der skal konstrueres en 10 års tidsserie til OML. Dertil kommer, at profilmetoden har begrænsninger ved meget store højdeforskelle for måling af temperaturgradienten, og derfor ikke er anvendelig. Dette efterlader kun 4 mulige lokaliteter ved Skjern, Kegnæs, Lykken og Tystofte, som alle er placeret relativt kystnært.

2.4 Begrænsninger i datagrundlag

Der er nogle helt generelle begrænsninger i forhold til muligheden for at konstruere meteorologiske data til OML via overflademålinger og radiosondemålinger. DMI er ophørt med at foretage radiosondemålinger med udgangen af

2006, hvilket i princippet umuliggør konstruktion af de omtalte typer af dataserier til OML for tiden efter 2006. Dette udelukker anvendelse af DTU-Risø data for Kegnæs og Lykken, som er senere data.

Derudover bør der være en forholdsvis kort afstand mellem overflademålingerne og radiosondemålinger, hvilket ideelt set kun efterlader lokaliteter omkring København og Midtjylland samt Sønderjylland, hvor der i Schleswig i Nordtyskland foretages radiosondemålinger. Fjernere lokaliteter vil derfor påføres en ekstra usikkerhed.

Dertil kommer, at det er et omfattende arbejde at klargøre rå-data.

3. Meteorologiske data fra vejrmodeller

Siden 1980'erne hvor konstruktionen af de meteorologiske dataserier for Kastrup og Aalborg 1974-83 er udført, er der sket en markant forbedring i kvaliteten af vejrmodeller på alle skalaer. Disse modeller indeholder de parametre, der er nødvendige for konstruktion af dataserier til OML.

ENVS anvender data fra vejrmodeller i en lang række forskningsprojekter samt i overvågningsprogram for luftkvalitet i danske byer (LMP) og i det Nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen (NOVANA). Vejrmodellerne anvendes dels til egentlige prognoser og dels til årlige kortlægninger af luftkvaliteten. Vejrdata gemmes og kan principielt stilles til rådighed for OML-beregninger.

3.1 WRF og MM5

I ENVS anvendes for nuværende to vejrmodeller: MM5 (Grell et al., 1995) og WRF (The Weather Research and Forecasting Model, Skamarock et al., 2008) i forbindelse med kortlægninger af luftkvaliteten. Hertil anvendes historiske globale vejrdata, som består af re-analyser af vejrdata fra enten det fælles europæiske regnecenter i England (ECMWF) eller det amerikanske forskningscenter National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Re-analyse betyder, at institutionernes globale vejrmodeller er blevet kørt igen, og at modellerne har assimileret meteorologiske målinger af mange forskellige typer, som siden er blevet tilgængelige. Dermed er modellerne 'tvunget' ind i en mere præcis retning.

De re-analyserede globale data går i princippet tilbage til 1948, men kvaliteten fra år 1979 og frem er den bedste, idet satellitdata også indgår. Analyserede data foreligger hver 6. time.

ENVS anvender de analyserede data sammen med vejrmodellerne MM5 og WRF til en avanceret interpolation i tid og rum, således at der for Danmark findes data for hver time i et gitter med horisontal afstand på 5,6 km og i 29 vertikale niveauer.

MM5 benytter sig af data fra NCEP. Data går tilbage til 2004 og foreligger i et gitter på ca. 111 km.

WRF anvender data fra ECMWF. Data går tilbage til 1979 og foreligger i et gitter på ca. 80 km. ECMWF's re-analyser anvender den samme metode for hele dataserien, hvorimod NCEP's data skifter metoder gennem dataserien.

WRF er en nyere og mere avanceret model end MM5. WRF er den mest anvendte og mest refererede model i den internationale litteratur. ENVS vurderer, at WRF er den mest præcise model. Derfor er det valgt udelukkende at arbejde videre med WRF i det følgende. Dette giver også mulighed for at sammenligne vejrmodeldata med dele af de operationelle dataserier til OML i perioden 1979-83. Den anvendte WRF er version 3.9 med anvendelse af det såkaldte Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) grænselagsskema (Janjic, 1994).

4. Sammenligning af meteorologiske data

I forhold til en mulig anvendelse af data fra vejrmodellen WRF (WRF-data) i OML-beregninger er data sammenlignet dels med data fra OML's præprocessor (OML-data) og dels med direkte ultrasonic-målinger. OML-data består af direkte målinger (vindhastighed og –retning) og indirekte målinger (varmefluks, friktionshastighed og grænselagshøjde).

For OML-data er sammenligningen foretaget for de sidste 5 år af perioden for Aalborg 1979-83 og Kastrup 1979-83, hvor der findes samtidige WRF-data. I afsnit 4.2 sammenlignes WRF med et års ultrasonic-målinger fra 2005 på Midtsjælland.

Vejrmodeldata (WRF) repræsenterer de gennemsnitlige forhold i et større område på 5,6 km x 5,6 km, hvorimod målinger repræsenterer forholdene i et punkt.

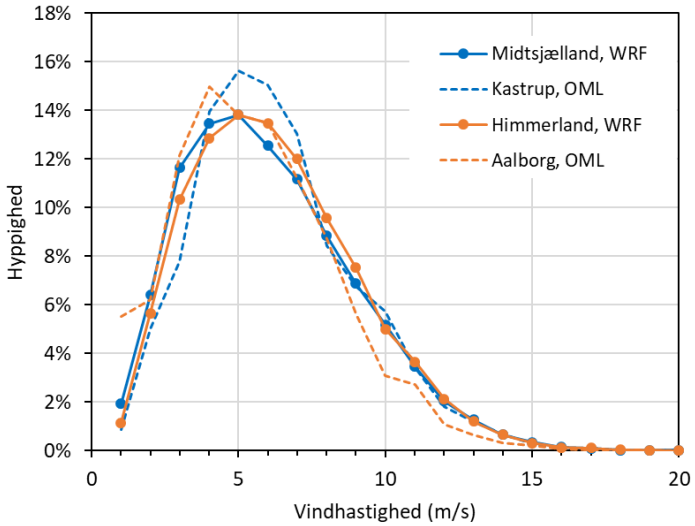
4.1 WRF- og OML-data

WRF-data er sammenlignet med OML-data for 5 år i perioden 1979-83 fra Aalborg lufthavn og Kastrup lufthavn. Indledningsvis er anvendt WRF-data fra de to modelgitterpunkter nærmest de to lokaliteter. Men disse WRF-data repræsenter by-punkter med stor aerodynamisk ruhed (0,5 m), hvilket ikke svarer til forholdene i lufthavnene, hvor ruheden er bestemt til 0,03 m. Derfor er der blandt de tilgængelige WRF-data valgt to andre gitterpunkter/lokaliteter til sammenligningen. Aalborg er repræsenteret ved et punkt i Himmerland (ca. 30 km sydsydvest for Aalborg) og Kastrup ved et punkt på Midtsjælland (ca. 20 km nordvest for Ringsted).

Sammenligningerne er foretaget for vindhastighed og vindretning, friktionshastighed (en central turbulensparameter), varmefluks og grænselagshøjde. Der er set på hyppigheder af parameterværdier i forskellige intervaller. En direkte sammenligning time for time giver ikke en evaluering af overensstemmelse i relation til anvendelsen i OML statistiske output, idet en tidsforskydning mellem WRF og observationer kan give store umiddelbare forskelle for en enkelt time, men ikke nødvendigvis i forhold til OML-statistikken. Temperatur indgår ikke i analysen, da små forskelle kun har marginal indflydelse på OML-beregninger.

4.1.1 Vindhastighed

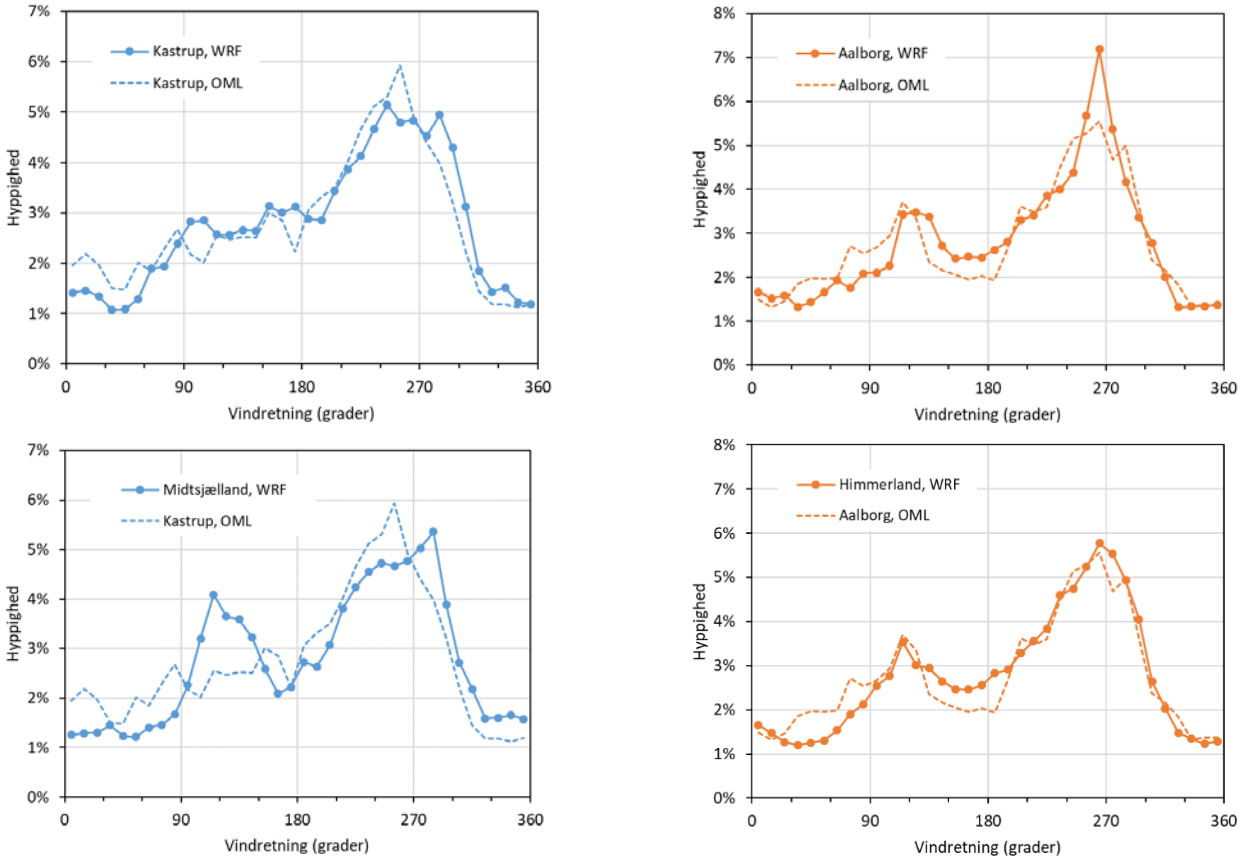
I figur 4.1 er vist hyppigheden af vindhastigheder for OML-data for Kastrup og Aalborg samt tilsvarende WRF-data for Midtsjælland og Himmerland. Der ses en høj grad af ensartethed i fordelingen mellem landsdelene af WRF-data og til dels også mellem OML-data. Der er også relativ stor ensartethed mellem WRF- og OML-data. OML-data for Aalborg har dog en noget større hyppighed af hastigheder under 1 m/s. OML-data for Kastrup har en lidt højere middelværdi end Aalborg, hvilket ikke umiddelbart er forventet. Måske skyldes det Kastrups mere kystnære beliggenhed.



Figur 4.1. Hyppigheden af vindhastigheder for 5-årsperioden 1979-83. OML-data er for Kastrup og Aalborg og WRF-data er for Midtsjælland og Himmerland. Data for hastigheder mellem 0 og 1 m/s er markeret ud for 1 m/s, 1-2 m/s ud for 2 m/s etc.; datapunkter er således placeret ved det øvre interval.

4.1.2 Vindretning

Hyppigheden af vindretninger er vist i figur 4.2. Her er OML-data sammenlignet med WRF-data for Midtsjælland og Himmerland (nederst), men også med WRF-data for Kastrup og Aalborg (øverst), idet den store ruhed i WRF-data ikke har indflydelse på vindretningen.



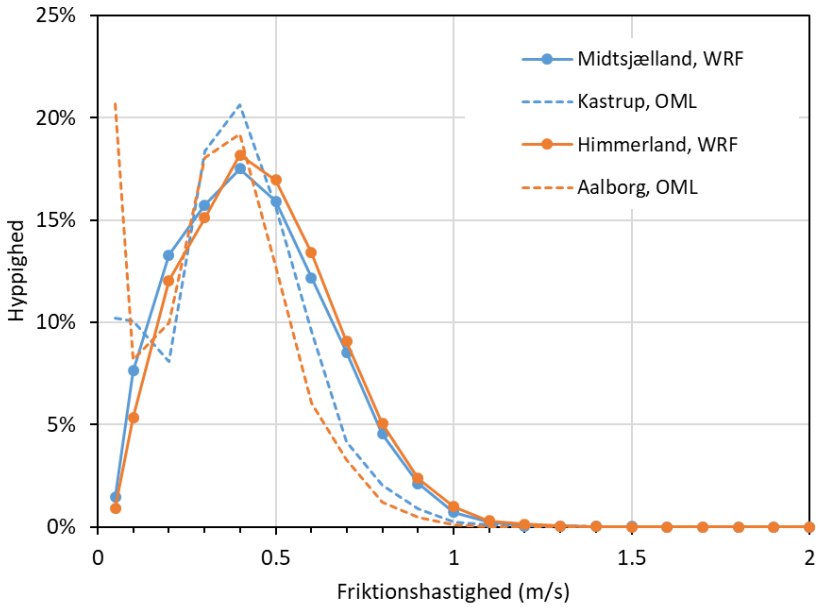
Figur 4.2. Hyppigheden af vindretninger for 5-årsperioden 1979-83. Øverst er vist OML- og WRF-data for Kastrup og Aalborg lufthavne. Nederst er vist OML-data for Kastrup og Aalborg og WRF-data er for Midtsjælland og Himmerland. Datapunkter er angivet for intervaller på 10° og er placeret ved den øvre intervalgrænse.

Der ses en rimelig god overensstemmelse i fordelingen mellem OML- og WRF-data både for Kastrup og for Aalborg (øverst). WRF-data ændrer sig lidt fra Aalborg til Himmerland, men fordelingen ligner stadig OML-data for Aalborg. Derimod ændrer WRF-data sig noget fra Kastrup til Midtsjælland, idet sydøstlige retninger er en del hyppigere for Midtsjælland. Kastrup har for både OML- og WRF-data en mindre hyppighed for retninger omkring sydøst i forhold til de tre andre lokaliteter, men har derimod lidt hyppigere sydlige vinde, hvilket indikerer, at Kastrup har lidt specielle lokale vindforhold.

4.1.3 Turbulens

Et udtryk for graden af (mekanisk) turbulens er i OML-data beskrevet ved den såkaldte friktionshastighed (m/s), som også anvendes til at beregne vindhastigheden i forskellige højder over jorden. I figur 4.3 er vist hyppigheder af forskellige friktionshastigheder for OML-data for Kastrup og Aalborg samt tilsvarende WRF-data for Midtsjælland og Himmerland.

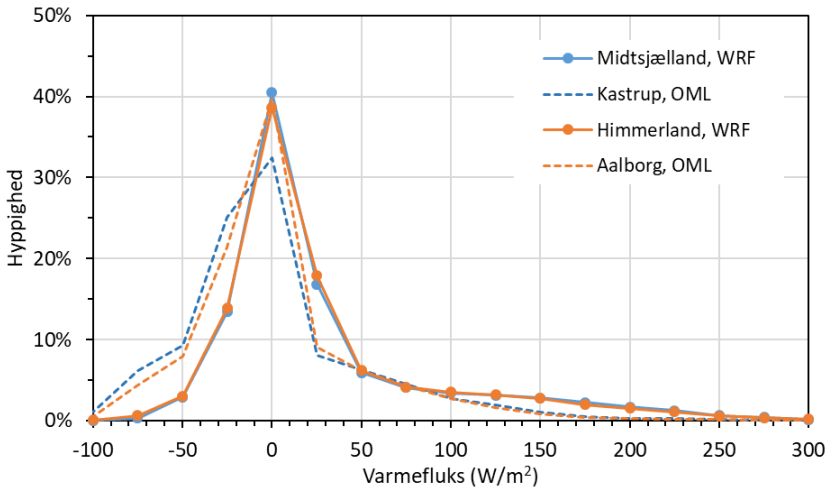
Her ses en rimelig ensartethed for værdier omkring 0,1-0,5 m/s mellem alle 4 datasæt. De laveste værdier under 0,1 m/s har dog betydeligt større hyppigheder i OML-data. Dette skyldes formodentligt den tidligere omtalte (afsnit 2.1.3) threshold/friktion i ældre vindmålere fra lufthavnene. I intervallet 0,6-1,1 m/s er WRF-data noget større end OML-data, hvilket hænger sammen med, at den aerodynamiske ruhed (z_0) i WRF er på omkring 0,08 m og dermed større end i OML-data, hvor værdien er 0,03 m (større ruhed giver større turbulens/friktionshastighed). Dette betyder, at vindhastighederne i figur 4.1 ikke er så forskellige som friktionshastighederne. Ved konkrete OML-beregninger korrigeres for forskellen mellem z_0 i de meteorologiske tidsserier og z_0 for beregningsområdet.



Figur 4.3. Hyppigheden af friktionshastigheder (et udtryk for turbulens) for 5-årsperioden 1979-83. OML-data er for Kastrup og Aalborg og WRF-data er for Midtsjælland og Himmerland. Data mellem 0 og 0,5 m/s er markeret ud for 0,5 m/s, 0,5-1 m/s ud for 1 m/s, 1-2 m/s ud for 2 m/s etc.

4.1.4 Varmefluks

Ud over den mekaniske turbulens (4.1.3) bidrager den såkaldte termiske turbulens også til spredningen af røgfaner. Den termiske turbulens er i OML-data beskrevet gennem varmefluksen, dvs. den vertikale varmetransport fra jordoverfladen op i luften ovenover. I figur 4.4 er vist hyppigheden af forskellige værdier af varmefluksen for OML-data for Kastrup og Aalborg samt tilsvarende WRF-data for Midtsjælland og Himmerland. Fordelingen for OML-data er meget ens for Kastrup og Aalborg. Ligeledes er Midtsjælland og Himmerland meget ens for WRF-data. Negative værdier af varmefluks (svarende til et stabilt grænselag) er dog hyppigere og mere negative for OML-data end for WRF-data. Modsat er der hyppigere positiv varmefluks (ustabilt grænselag) for WRF-data. Her skal det huskes, at varmefluksen i både OML- og WRF-data er beregnet med anvendelse af submodeller.



Figur 4.4. Hyppigheden af varmefluks for 5-årsperioden 1979-83. OML-data er for Kastrup og Aalborg og WRF-data er for Midtsjælland og Himmerland. Hyppigheden er opgjort for intervaller af 25 W/m2 og angivet ved den øvre grænse

4.1.5 Grænselagshøjde

Højden af grænselaget (det turbulente blandingslag) kan i nogen situationer have stor betydning for immissionskoncentrationer i nærområdet. Grænselagshøjden afgør, hvor stor vertikal højde røgfanen maksimalt kan opblandes i, om skorstenstoppen befinder sig over grænselaget og om en røgfane med stort løft, kan trænge op gennem og ud af grænselaget. I figur 4.5 (øverst) er vist hyppigheden af grænselagshøjder for OML-data fra Kastrup og Aalborg samt rå WRF-data fra Midtsjælland og Himmerland for 5-årsperioden 1979-83.

Højden kan i WRF antage et begrænset antal forskellige (nær konstante) værdier svarende til højden af lagene i modellen. Derfor er kurverne for WRF-data i figuren en smule 'takkede'. Igen ses, at fordelingen af OML-data er rimelig ens for Kastrup og Aalborg. Højderne i WRF-data for Midtsjælland og Himmerland er også meget ens.

Ved konstruktionen af de operationelle meteorologiske dataserier for OML er der foretaget en sikring mod urealistiske lave grænselagshøjder. Således er den laveste højde på 150 m, hvis der ikke er målt en tydelig lavere liggende inversion. Inversion betyder, at der et tydeligt 'knæk' i den vertikale temperaturgradient. Den mindste accepterede inversionshøjde er sat til 50 m. I ca. 5

% af tiden observeres en inversion i radiosondedata, hvor højden er mindre end 150 m.

I de rå WRF-data for Midtsjælland og Himmerland er grænselagshøjderne i 25 % henholdsvis 23 % af data under 150 m, hvoraf 18 % henholdsvis 15 % er under 50 m, hvilket set i forhold til OML-data er uforholdsmæssigt mange. Evaluering af WRF-beregningsmetoden af grænselagshøjder mod laser-målinger i Spanien viser, at WRF i middel underestimerer højden (Banks et al., 2015). Derfor er der foretaget en OML-lignende korrektion af højderne i WRF-data, idet højder under 50 m med varmefluks mindre end -5 W/m^2 korrigeres til 50 m, og for alle øvrige sættes minimum til 150 m.

I figur 4.5 (nederst) ses WRF-data med korrigerede grænselagshøjder. Det ses, at der nu er bedre overensstemmelse mellem OML- og WRF-data for de laveste grænselagshøjder. Bortset fra højderne 300-500 m er der rimelig god overensstemmelse mellem WRF- og OML-data for Aalborg. OML-data for Kastrup har relativt lavere hyppighed af højder under 500 m og tilsvarende større hyppighed over, hvilket kan skyldes en mere kystnær placering af Kastrup Lufthavn med større vindhastigheder (figur 4.1), som dermed giver en større beregnet mekanisk grænselagshøjde (afsnit 2.1.2), som anvendes, når radiosondemålinger ikke giver en tydelig højde.

Generelt er der nogen usikkerhed i bestemmelsen af grænselagshøjder både i vejrmodeller og med OML's præprocessor (2.1.2).

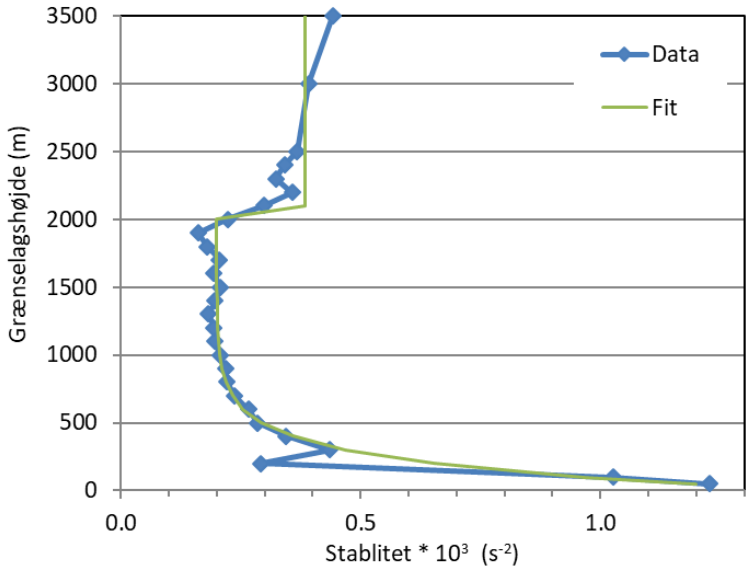
Figur 4.5. Hyppigheden af grænselagshøjder for 5-årsperioden 1979-83. OML-data er for Kastrup og Aalborg og WRF-data er for Midtsjælland og Himmerland. Øverst er vist rå WRF-data og nederst korrigerede WRF-data (se tekst for forklaring). Hyppigheden af højder mellem 0 og 100 m er markeret ud for 100 m, 100-300 m ud for 300 m etc.

4.1.6 Atmosfærisk stabilitet over grænselaget

Den atmosfæriske stabilitet lige over toppen af grænselaget beskriver luftens modstand mod at flyttes i vertikal retning. Stabiliteten er en del af OML-data og bestemmer hvorvidt en røgfane, som stiger til vejrs, helt eller delvist kan bryde igennem grænselagets top, og derfor ikke vil bidrage til koncentrationer ved jorden. Større stabilitet giver mindre gennembrud.

Det har ikke været muligt at sammenligne stabiliteten i OML- og WRF-data, idet de nuværende programmer til udtrækning af WRF-data p.t. ikke kan dette. Ved en senere lejlighed vil udtræk af stabiliteten blive gjort mulig.

I kapitel 5 udføres OML-beregninger med OML- og WRF-data. Her er anvendt en 'model' for stabiliteten over grænselaget i WRF-data. Det antages, at stabilitet er en funktion af grænselagshøjden, og at den følger tilsvarende statistiske sammenhænge fundet i OML-data. Figur 4.6 viser stabiliteten over grænselaget, S (s^{-2}), ved forskellige højder, z (m), af grænselaget, dels som gennemsnit for OML-data for Kastrup og Aalborg, og dels som en tilpasset analytisk kurve $S(z) = 1{,}3*exp(-z/190)+0{,}2)/1000$ for $z \leq 2000$ m og ellers $0{,}39\ 10^{-3}$. Spredningen på $S(z)$ i OML-data er dog temmelig stor og i gennemsnit $0{,}43\ 10^{-3}$. I forbindelse med OML-beregningerne i kapitel 5 er udført test med to faste værdier for S på $0{,}10\ 10^{-3}\ s^{-2}$ og $1{,}0\ 10^{-3}\ s^{-2}$. Der var ikke forskel på de maksimale månedlige 99 %-fraktiler og kun marginal forskel på de maksimale årsmiddelværdier. Den anvendte model for stabiliteten har derfor kun marginal betydning for de anvendte statistikker i OML-beregningerne.



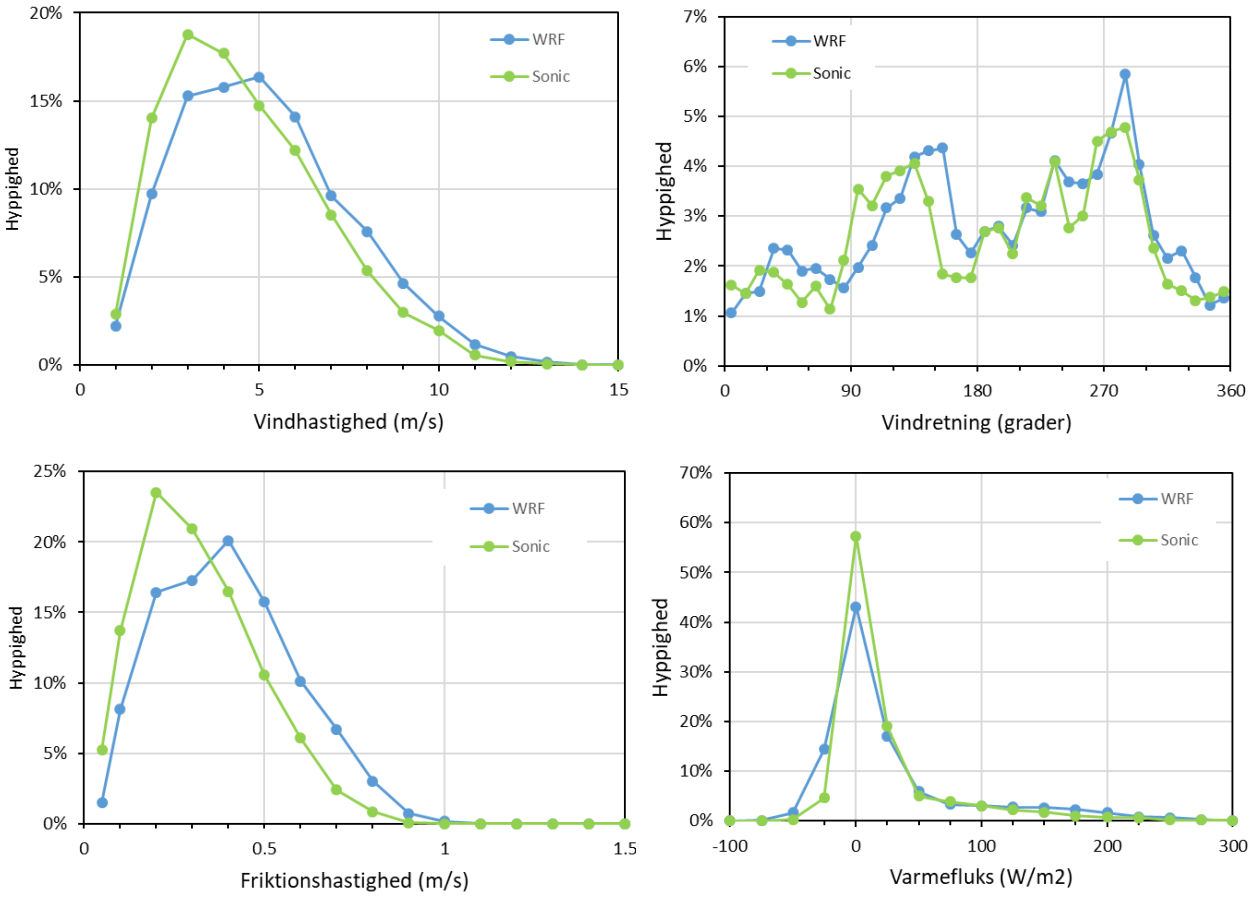
Figur 4.6. Stabiliteten over grænselaget ved forskellige højder af grænselaget. Blå linje er gennemsnit for OML-data for Kastrup og Aalborg, og grøn linje er en tilpasset analytisk kurve.

4.2 WRF-data og ultrasonic-data

I et projekt under Miljøministeriets forskningsprogram Vandmiljøplan III (VMP III) blev der udført meteorologiske målinger med ultrasonic på en mark nær Ringsted på Midtsjælland i perioden 25/1-2005 til 22/2-2006. Her blev målt vindhastighed og –retning samt varmefluks og turbulens i højden 7,2 m. Turbulensen er udtrykt ved den såkaldte friktionshastighed. Disse målinger

er i figur 4.7 sammenlignet med tilsvarende WRF-data for et punkt 15 km nordvest for målingerne.

Generelt ses en rimelig god overensstemmelse mellem målinger og WRF-data, når det tages i betragtning af WRF repræsenterer et slags middel for et 5,6 km kvadrat, som sammenlignes med en punktmåling, hvor lokale forhold kan gøre sig gældende. Varmefluksen er meget ens. For vindretningen er der en lille forskydning af hyppighederne for sydøstlige retninger. For friktionshastigheden er hyppigheden i WRF-data forskudt lidt mod større værdier, hvilket hænger sammen med, at den aerodynamiske ruhed (z_0) for WRF-data på 0,083 m er større end 0,044 m målt for ultrasonic (større ruhed giver større turbulens/friktionshastighed). Vindhastighederne er dog mere ens, idet stor z_0 medfører mindre vindhastighed ved samme friktionshastighed.



Figur 4.7. Hyppigheden af vindhastighed, vindretning, friktionshastighed (turbulens) og varmefluks for perioden 25/1-2005 til 22/2-2006. Ultrasonic-data er fra en mark i et landbrugsområde ved Ringsted og WRF-data er for Midtsjælland 15 km mod nordvest. Hyppigheden er markeret ud for det øvre værdi for de respektive parameterintervaller; fx er hyppigheden af hastigheder mellem 0 og 1 m/s markeret ud for 1 m/s, 1-2 m/s ud for 2 m/s etc.

5. OML-beregninger med WRF- og OML-data

Der er i kapitel 4 konstateret mindre forskelle mellem OML- og WRF-data i fordelingen af hyppigheder af meteorologiske parametre. Betydningen af dette i forhold til OML's beregninger af de årlige maksimale månedlige 99 %-fraktiler og årsmiddelværdier belyses i dette kapitel gennem en række scenarieberegninger. I beregningerne indgår 7 forskellige punktkilder. Der anvendes fire forskellige meteorologiske dataserier for 5 år (1979-83). Serierne er for Kastrup og Aalborg lufthavne, hvor data er konstrueret med OML's meteorologiske præprocessor (afsnit 2.2.1), samt for to punkter på Midtsjælland og i Himmerland, hvor data er fra vejrmodellen WRF (afsnit 3.1). I alle beregninger er ruheden for beregningsområdet sat til 0,3 m.

5.1 Konstruerede kilder

Til OML-beregningerne er anvendt 7 punktkilder med forskellige skorstens- og bygningshøjder. De konkrete kildedata er vist i tabel 5.1 og er også anvendt i tidligere undersøgelser (fx Løfstrøm & Olesen, 2008). Emissionen er ikke angivet, idet de beregnede immissionskoncentrationer er normerede i forhold til værdierne beregnet med data fra Kastrup 1976. Til hver kilde anvendes et tilpasset cirkulært receptornet bestående af 15 radier med 36 retninger (Bilag, Tabel B1).

Tabel 5.1. Data for anvendte konstruerede kilder.

Skorstens-højde (m)	Bygnings-højde (m)	Diameter (m)	Temperatur (°C)	Volumen (Nm^3/s)	Gas-hast. (m/s)
5	5	0,8	25	3,00	6,5
10	10	0,25	25	0,36	8,0
10	0	0,25	25	0,36	8,0
30	30	0,75	25	3,24	8,0
30	0	0,75	25	3,24	8,0
60	0	1,5	25	13,0	8,0
100	0	2,5	100	28,7	8,0

5.2 Maksimale månedlige 99%-fraktiler

OML-beregningerne af den maksimale månedlige 99 %-fraktil for de 7 kilder for de respektive beregningsområder er vist i tabel 5.2 for hver af de 5 år og de 4 datasæt. De maksimale månedlige 99 %-fraktiler er normerede i forhold til Kastrup 1976, således at værdien 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for den aktuelle kilde.

For Kastrup 1979-83 varierer den maksimale månedlige 99 %-fraktil mellem 82 og 118, svarende til -18 % til +18 % i forhold til Kastrup 1976, og i middel 101 eller +1 %. For Aalborg 1979-83 varierer de relative tal fra -21 % til +10 % og er i middel -3 %.

For WRF-data er variationen noget større. For Midtsjælland varierer værdierne fra -10 % til +64 % og er i middel +11 %, og for Himmerland er de tilsvarende tal -4 %, +97 % og +16 %.

Man kan ikke nødvendigvis forvente, at beregninger med data for 1979-83 skal være identiske med Kastrup 1976, da der vil være en naturlig variation. I grove tal giver WRF-data dog ca. 3 gange så stor variation i forhold til OML-data (1979-83). I gennemsnit for alle kilder og år giver WRF-data 11-16 % større værdi end med Kastrup 1976, og de tilsvarende tal for OML-data (1979-83) er i gennemsnit -3 % til +1 %.

Der kan ikke umiddelbart peges på en præcis årsag til den større variation for WRF-data i forhold til OML-data. De meteorologiske parametre analyseret i kapitel 4 indikerer ikke en forklaring knyttet til en enkelt parameter. Det er tilsyneladende kombinationerne af parametrene for de enkelte timer, som er anderledes. Der var forventet større variationer med OML-data end med WRF-data, fordi OML-data repræsenterer et punkt. Men til forskel fra WRF, anvender OML's præprocessor statistiske sammenhænge mellem fx sky-dække, varmefluks og stråling, som har en udglattende effekt på data.

Tabel 5.2. Den maksimale månedlige 99 %-fraktil for 7 punktkilder beregnet for hvert af 5 år (1979-83) og for 4 forskellige meteorologiske datasæt: Kastrup og Aalborg konstrueret med OML's præprocessor samt Midtsjælland og Himmerland konstrueret med vejrmodellen WRF. Koncentrationerne er for hver kilde normeret således, at værdien 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976.

		Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
	År	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**
Kastrup	1976	100	100	100	100	100	100	100
	79	97	101	118	101	109	111	92
OML-met	80	100	100	107	104	103	111	85
Kastrup	81	99	102	109	102	101	102	97
	82	101	100	107	105	104	116	99
	83	95	99	97	98	82	93	90
	79	98	103	103	104	95	94	90
OML-met	80	98	102	105	104	86	91	90
Aalborg	81	97	102	110	105	85	86	89
	82	98	105	94	107	79	89	96
	83	96	101	101	104	92	101	89
	79	99	133	109	107	98	104	100
WRF-met	80	100	157	106	112	88	90	100
Midtsjælland	81	98	110	104	106	98	100	99
	82	99	151	105	160	96	112	101
	83	102	121	119	105	133	164	110
	79	102	120	98	106	102	102	101
WRF-met	80	98	128	113	124	101	96	102
Himmerland	81	98	114	120	102	105	114	94
	82	100	197	123	157	114	127	100
	83	100	124	123	142	150	174	98

Værdierne i tabel 5.2 gælder de maksimale månedlige 99 %-fraktiler for beregningsområderne. Det er ikke her undersøgt hvordan værdierne forholder sig i andre retninger end dér, hvor maksimum optræder. De retninger og afstande, hvor de maksimale månedlige 99%-fraktiler optræder, er vist i tabel 5.3.

Afstandene for de fire datasæt stemmer rimeligt overens med Kastrup 1976 data, dog er afstandene for skorstenen på 100 m lidt større.

Tabel 5.3. Afstand (m) og retning (grader) til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for 7 punktkilder beregnet for hvert af 5 år (1979-83) og for 4 forskellige meteorologiske datasæt: Kastrup og Aalborg konstrueret med OML's præprocessor samt Midtsjælland og Himmerland konstrueret med vejrmodellen WRF. For Kastrup 1976 met-data er afstande og retning også angivet.

		Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
	År	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**
Afstand								
Kastrup	1976	10	20	50	60	100	200	500
	79	10	20	40	60	100	150	800
OML-met	80	10	20	40	60	100	200	700
Kastrup	81	10	20	50	60	150	200	500
	82	10	20	40	60	80	200	600
	83	10	20	40	60	125	200	700
	79	10	20	50	60	150	250	800
OML-met	80	10	20	40	60	125	250	600
Aalborg	81	10	20	50	60	125	300	800
	82	10	20	60	60	100	200	500
	83	10	20	60	60	80	150	800
	79	10	20	80	60	100	200	600
WRF-met	80	10	20	40	60	125	200	500
Midtsjælland	81	10	20	50	60	100	200	600
	82	10	20	60	60	125	250	700
	83	10	20	40	60	80	150	500
	79	10	20	40	60	100	200	700
WRF-met	80	10	20	50	60	125	250	800
Himmerland	81	10	20	40	60	100	200	700
	82	10	20	40	60	100	200	800
	83	10	20	40	60	100	200	600
Retning								
Kastrup	1976	270	80	200	70	250	260	190
	79	270	70	220	30	210	270	250
OML-met	80	230	80	290	80	210	220	340
Kastrup	81	60	50	200	80	200	190	200
	82	340	330	220	340	200	200	190
	83	90	100	190	110	200	340	190
	79	250	60	50	180	50	70	100
OML-met	80	60	220	30	220	120	20	120
Aalborg	81	70	220	20	230	80	70	280
	82	40	300	60	300	70	70	80
	83	80	80	240	30	50	50	300
	79	90	230	110	110	140	140	100
WRF-met	80	310	340	160	180	100	100	290
Midtsjælland	81	220	290	210	290	330	330	70
	82	0	310	330	310	70	280	290
	83	210	210	260	210	280	280	280
	79	270	290	350	290	350	350	110
WRF-met	80	310	50	330	60	140	30	120
Himmerland	81	60	150	150	120	150	160	100
	82	340	310	340	310	350	110	290
	83	200	100	20	100	20	20	70

Som forventet er retningerne til maksimum temmelig forskellige. Her er der store forskelle både mellem datasættene og inden for årene i de enkelte datasæt. Dette viser, at det er usikkert at foretage skarpe retningstolkninger af OML-beregninger på grundlag af et års meteorologiske data.

5.3 Årsmiddelværdier

ENVS har i en tidligere rapport (Løfstrøm & Olesen, 2008) anbefalet, at B-værdierne for stoffer, hvor alene dosis er af afgørende betydning, bør anvendes på en anden måde end hidtil. Anbefalingen er, at 1/40 af B-værdien sammenholdes med en OML-beregnet langtidsmiddelværdi – i modsætning til nu, hvor B-værdien sammenholdes med den maksimale månedlige 99%- fraktil.

Baggrunden er, at B-værdierne for stoffer, hvor alene dosis er af betydning, er sat 40 gange højere end den egentlige grænseværdi for den gennemsnitskoncentration, som ønskes overholdt. Det er begrundet i, at tidligere OML-beregninger har vist, at der er en faktor ca. 40 mellem den maksimale månedlige 99%-fraktil og den maksimale årsmiddelværdi (B-værdivejledningen, MST 2016).

Faktoren på 40 udviser dog i realiteten en ganske stor variation mellem forskellige typer af kilder og til dels også mellem meteorologiske år.

Dertil kommer, at de maksimale værdier for den månedlige 99 % fraktil og årsmiddelværdien ofte optræder i forskellige receptorpunkter, specielt når der er tale om kilder uden stor bygningseffekt. For disse kilder vil den største middelværdi optræde i betydeligt større afstand fra kilden end den maksimale månedlige 99%-fraktil. En faktor 40 vil være specielt fejlagtig, når den maksimale månedlige 99%-fraktil optræder inden for en virksomheds skel og den maksimale middelværdi ligger uden for skel, og der vurderes i forhold til en mindre 99 %-fraktil uden for skel.

På den baggrund er årsmiddelværdier af immissionskoncentrationen også analyseret i det følgende. I tabel 5.4 er vist den maksimale årsmiddelværdi for de 4 datasæt og for Kastrup 1976. Årsmiddelværdierne for lokaliteterne er normerede i forhold til Kastrup 1976, således at værdien 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale årsmiddelværdi for Kastrup 1976 for den aktuelle kilde

For Kastrup 1979-83 varierer årsmiddelværdien mellem 102 og 161, svarende til +2 % til +61 % relativt til Kastrup 1976 og er i middel +29 %. For Aalborg 1979-83 er tallene -6 % til +85 % og i middel +32 %. For WRF-data er variationen lidt større. For Midtsjælland er tallene -20 % til +85 % i middel +31 %, og for Himmerland -27 %, +128 % og +40 %. Den laveste værdi optræder for alle datasæt for skorstenene på 30 m med bygning i 1980, og den største for skorstenen på 100 m i 1983. Som gennemsnit for alle kilder findes de mindste middelværdier i 1980 og de største i 1983. Generelt giver WRF-data lidt større variation i værdierne i forhold til OML-data (1979-83).

Man kan ikke nødvendigvis forvente, at beregninger med data for 1979-83 skal være identiske med Kastrup 1976, da der vil være en naturlig variation. I gennemsnit giver WRF-data 31-40 % større værdi end med Kastrup 1976, og OML-data (1979-83) 29-32 % større værdi. Den markante forskel til Kastrup 1976 skyldes, at Kastrup 1976 er året med den laveste årsmiddelværdi set i forhold til årene 1974-1983, hvilket senere fremgår af afsnit 7.4, figur 7.1.

I tabel 5.5 er vist afstand og retning til de maksimale årsmiddelværdier. Alle datasæt beregner i de fleste tilfælde nogenlunde samme afstand, ligesom der er rimelig stor overensstemmelse i retningerne, som er mod nordøst og øst. Dog er retningerne for Midtsjælland i 1980 præget af retninger mod nordvest (sydøstlige vinde). For kilder uden bygninger er afstandene ca. 2-3 gange større end for 99 %-fraktilerne i tabel 5.3, hvor det også ses at retningerne er markant anderledes. Dette illustrerer fejlen ved eventuelt at anvende skarp retningstolkning i forbindelse med dosis-relaterede B-værdier.

I tabel 5.6 er vist forholdet mellem den maksimale månedlige 99 %-fraktil og den maksimale årsmiddelværdi. Forholdet er sjældent 40 og varierer for Kastrup 1976 mellem 12 og 59 og er i gennemsnit 31 for de 7 kilder. For de fire datasæt er forholdet i gennemsnit 24, 22, 24 og 24 for henholdsvis Kastrup, Aalborg, Midtsjælland og Himmerland, og det varierer for alle datasæt mellem 9 og 56.

Tabel 5.4. Den maksimale årsmiddelværdi for 7 punktkilder beregnet for hvert af 5 år (1979-83) og for 4 forskellige meteorologiske datasæt: Kastrup og Aalborg konstrueret med OML's præprocessor samt Midtsjælland og Himmerland konstrueret med vejrmodellen WRF. Koncentrationerne er for hver kilde normeret således, at værdien 100 (arbitrær enhed) svarer til årsmiddelværdien for Kastrup 1976.

		Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
	År	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**
Kastrup	1976	100	100	100	100	100	100	100
	79	132	117	135	113	142	148	154
OML-met	80	114	105	117	102	119	121	124
Kastrup	81	140	128	139	127	136	136	135
	82	135	120	130	116	129	127	127
	83	143	115	136	110	144	149	161
	79	130	112	140	110	147	152	149
OML-met	80	97	95	113	94	116	119	113
Aalborg	81	130	108	140	104	146	150	151
	82	133	101	133	97	140	142	146
	83	159	125	163	121	171	175	185
	79	127	94	138	94	156	169	179
WRF-met	80	114	85	122	80	134	142	144
Midtsjælland	81	126	96	138	94	151	158	171
	82	113	93	128	94	143	149	148
	83	137	96	148	94	164	173	185
	79	136	89	145	87	159	172	184
WRF-met	80	105	76	115	73	126	136	139
Himmerland	81	137	96	150	95	171	183	195
	82	133	90	147	90	167	190	197
	83	161	102	167	100	185	198	218

Tabel 5.5. Afstand (m) og retning (grader) til den maksimale årsmiddelværdi for 7 punktkilder beregnet for hvert af 5 år (1979-83) og for 4 forskellige meteorologiske datasæt: Kastrup og Aalborg konstrueret med OML's præprocessor samt Midtsjælland og Himmerland konstrueret med vejrmodellen WRF. For Kastrup 1976 met-data er afstande og retning også angivet.

		Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
	År	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**
Afstand								
Kastrup	1976	10	20	60	60	250	600	1500
	79	10	20	60	60	250	600	1500
OML-met	80	10	20	60	60	250	600	1250
Kastrup	81	10	20	60	60	250	600	1250
	82	10	20	60	60	250	700	1500
	83	10	20	60	60	300	700	1500
	79	10	20	60	60	250	600	1250
OML-met	80	10	20	60	60	250	600	1250
Aalborg	81	10	20	60	60	250	600	1250
	82	10	20	60	60	250	600	1250
	83	10	20	60	60	250	600	1250
	79	10	20	60	60	250	500	1000
WRF-met	80	10	20	60	60	250	500	1250
Midtsjælland	81	10	20	60	60	250	500	1250
	82	10	20	60	60	250	500	1000
	83	10	20	60	60	250	600	1250
	79	10	20	60	60	250	600	1250
WRF-met	80	10	20	60	60	250	600	1250
Himmerland	81	10	20	60	60	250	600	1250
	82	10	20	60	60	250	500	1250
	83	10	20	60	60	250	600	1250
Retning								
Kastrup	1976	80	80	70	80	80	80	80
	79	80	80	70	80	80	80	80
OML-met	80	50	50	50	70	50	50	50
Kastrup	81	60	60	50	60	50	50	50
	82	70	70	70	70	70	70	70
	83	70	70	60	70	70	70	70
	79	80	90	70	100	70	70	70
OML-met	80	70	70	60	80	60	60	60
Aalborg	81	70	80	70	280	60	60	60
	82	80	80	70	90	70	70	70
	83	80	40	70	40	70	70	70
	79	100	100	100	100	100	100	100
WRF-met	80	300	300	300	300	290	290	290
Midtsjælland	81	90	80	90	80	90	100	100
	82	90	310	90	320	90	90	100
	83	100	100	100	100	100	100	100
	79	50	50	50	50	80	80	90
WRF-met	80	70	70	70	80	80	80	80
Himmerland	81	80	80	80	80	80	80	90
	82	80	80	80	80	80	90	90
	83	80	80	80	80	80	90	90

Tabel 5.6. Forholdet mellem den maksimale månedlige 99 %-fraktil og den maksimale årsmiddelværdi for 7 punktkilder beregnet for hvert af 5 år (1979-83) og for 4 forskellige meteorologiske datasæt: Kastrup og Aalborg konstrueret med OML's præprocessor samt Midtsjælland og Himmerland konstrueret med vejrmodellen WRF.

		Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
	År	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**
Kastrup	1976	21	12	18	16	41	59	50
	79	15	10	16	14	32	45	30
OML-met	80	18	11	17	16	36	55	34
Kastrup	81	15	9	14	13	31	45	36
	82	15	10	15	15	33	54	39
	83	14	10	13	14	24	37	28
	79	15	11	13	15	27	37	30
OML-met	80	21	13	17	18	31	45	40
Aalborg	81	15	11	14	16	24	34	29
	82	15	12	13	18	23	37	33
	83	12	10	11	14	22	34	24
	79	16	17	14	18	26	37	28
WRF-met	80	18	22	16	23	27	38	35
Midtsjælland	81	16	13	14	18	27	38	29
	82	18	19	15	27	28	45	34
	83	15	15	15	18	33	56	30
	79	15	16	12	20	26	35	27
WRF-met	80	19	20	18	27	33	42	37
Himmerland	81	15	14	14	17	25	37	24
	82	15	26	15	28	28	40	25
	83	13	14	13	23	33	52	22

I de tilfælde, hvor forholdet er mindre end 40, betyder det, at en regulering vil være for lempelig i forhold til intensionen, idet fx en maksimal månedlig 99 % fraktil, som tangerer en B-værdi på 80 µg/m^3 svarer til, at der ønskes overholdt en dosis på 2 µg/m^3 (80/40). Men, hvis den reelle faktor er fx 20, så er den reelle middelværdi 4 µg/m^3 (80/20) og vil altså i praksis være dobbelt så stor som den ønskede maksimale dosis.

5.4 Delkonklusion

Der er foretaget en sammenligning af OML-beregninger udført dels med Kastrup 1976 meteorologiske data, dels med fire andre datasæt for hvert år i perioden 1979-83. Heraf er to sæt konstrueret med OML's meteorologiske præprocessor og de to andre er data fra vejrmodellen WRF.

I gennemsnit for de 7 kilder beregnes maksimale månedlige 99 %-fraktiler, som for de fire datasæt afviger -3 % til +16 % i forhold til Kastrup 1976 med store variationer på -21 % til + 97 % for enkelte kilder for enkelte år. Forholdene for andre retninger og afstande end maksimum er ikke undersøgt for disse beregninger; men tidligere undersøgelser (Løfstrøm & Olesen, 2008) og beregninger i kapitel 7 viser, at der i mange andre retninger kan være lavere maksimale månedlige 99 %-fraktiler end den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976.

I gennemsnit for de 7 kilder beregnes maksimale årsmiddelværdier, som for de fire datasæt afviger fra +29 til +40 % i forhold til Kastrup 1976 med store variationer på -27 % til +128 % for enkelte kilder for enkelte år.

I gennemsnit for de 7 kilder beregnes forholdet mellem den maksimale månedlige 99 % fraktil og den maksimale årsmiddelværdi til 22-24 for de fire datasæt mod 31 for Kastrup 1976, hvilket skal ses i forhold til faktor 40 anvendt i B-værdivejledningen.

Det er dog ikke her til at afgøre hvilken type af meteorologiske datasæt, der er det mest korrekte, idet konstruktionen af begge typer involverer modeller.

For en given kilde og et givent datasæt varierer den maksimale månedlige 99 % fraktil og den maksimale årsmiddelværdi mellem årene, ligesom retningen til maksimum varierer. Dette viser behovet for anvendelse af en længere tidsserie i OML-beregningerne for mere sikkert at kunne anvende skarp retningstolkning. I kapitel 7 udføres beregning med 10-års dataserier.

For et givet år er der ligeledes forskel i immissionskoncentrationerne mellem to lokaliteter, uanset om der kun ses på OML- eller WRF-data. Dette antyder, at der kan være systematiske forskelle mellem landsdelene. Hvor vidt dette også er tilfældet for 10-års tidsserier undersøges i næste kapitel 6 og 7.

6. Geografisk variation af WRF-data

Med henblik på en mulig anvendelse af meteorologiske data, som er mere repræsentative for en konkret lokalitet i relation til OML-beregninger, undersøges det her i hvilken udstrækning, der er behov for at gå ned i geografisk skala for at repræsentere eventuelle forskelle i meteorologiske data. I kapitel 7 belyses lokale datas betydningen i forhold immissionskoncentrationer.

Med udgangspunkt i klimatologiske data fra DMI udvælges en række lokaliteter, som indgår i en sammenligning. WRF-data for lokaliteterne sammenlignes på centrale meteorologiske parametre for en periode på 10 år. På det grundlag vurderes, om det er muligt, at udvælge et begrænset antal lokaliteter til OML-beregninger.

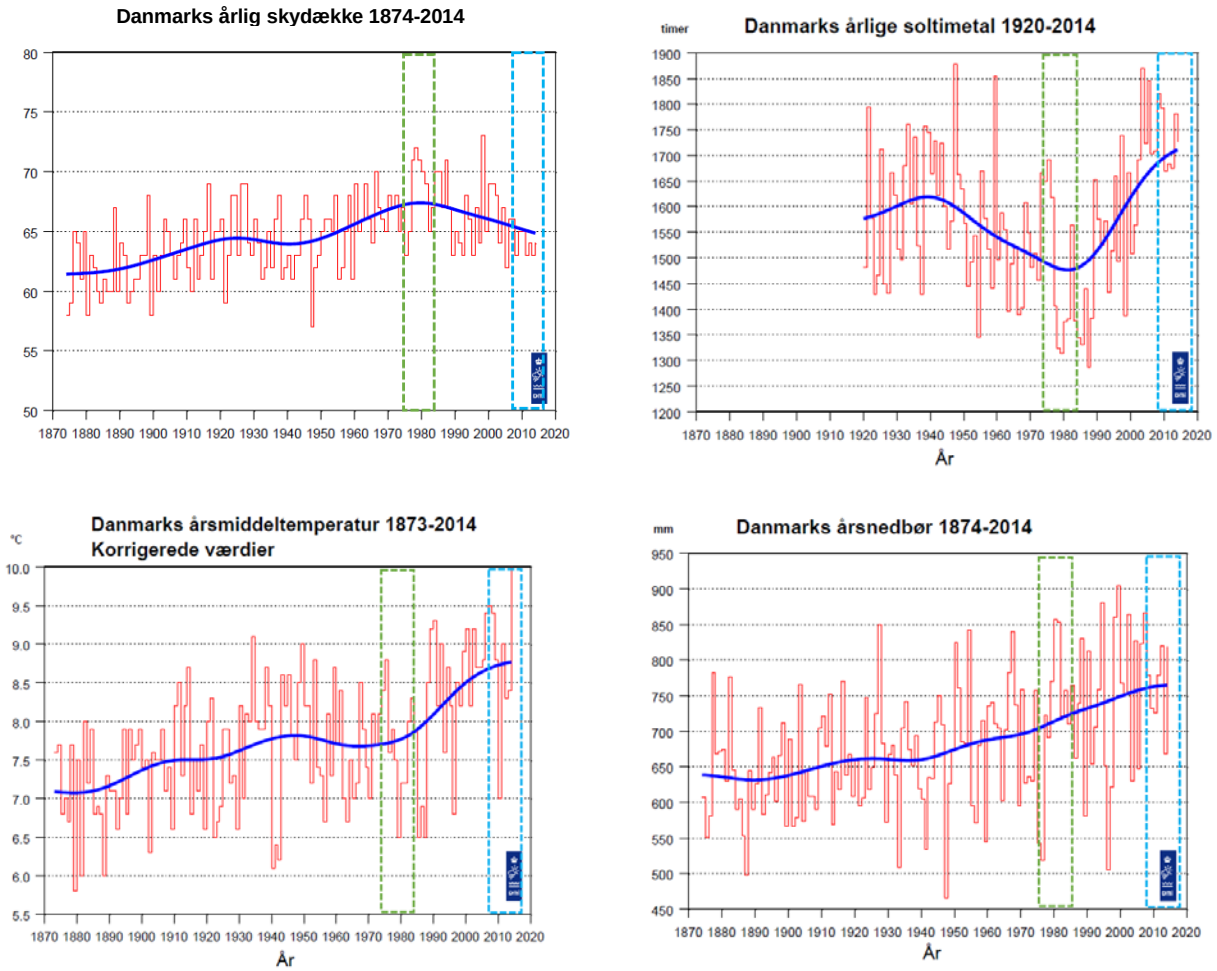
DMI's klimatologiske data belyser dels den geografiske variation og dels en tidslig udvikling.

6.1 Klimatologiske data og udvælgelse af lokaliteter

Klimatologiske data for Danmark findes i komprimeret form i en række rapporter (DMI, 2012, 2015a, 2015b). De tilgængelige parametre relaterer til nogle af de data, som indgår i dannelsen af meteorologiske tidsserier til OML. Parametrene er vindhastighed, soltimer, nedbør og skydække.

I figur 6.1 er vist den tidslige udvikling i skydække, soltimer, temperatur og nedbør for perioden 1874 til 2014. I figurerne er perioden 1974-83 markeret og svarer til de eksisterende OML-data for Kastrup og Aalborg. Perioden 2008-17 er også markeret, og svarer til perioden for de nyeste WRF-data, som anvendes i de senere analyser af meteorologiske data. Der ses tydelige variationer gennem klimaperioden. Men også tydelige forskelle mellem de to 10 års perioder for soltimer, temperatur og nedbør samt i mindre grad for skydække. Dette indikerer, at der også kan være ændringer i meteorologiske parametre med betydning for spredningsberegninger med OML. Dette taler for at anvende de nyeste dataserier til OML-beregninger til bedst at beskrive aktuelle forhold. Derfor er det valgt at anvende den nyeste tilgængelige 10 års tidsserie for perioden 2008-17 i de videre analyser.

I forhold til at belyse en eventuel geografisk variation i meteorologiske data er der taget udgangspunkt i DMI's seneste geografiske fordelinger af 10 års middelværdier for vindhastighed, globalstråling, nedbør og temperatur, som er vist i figur 6.2.



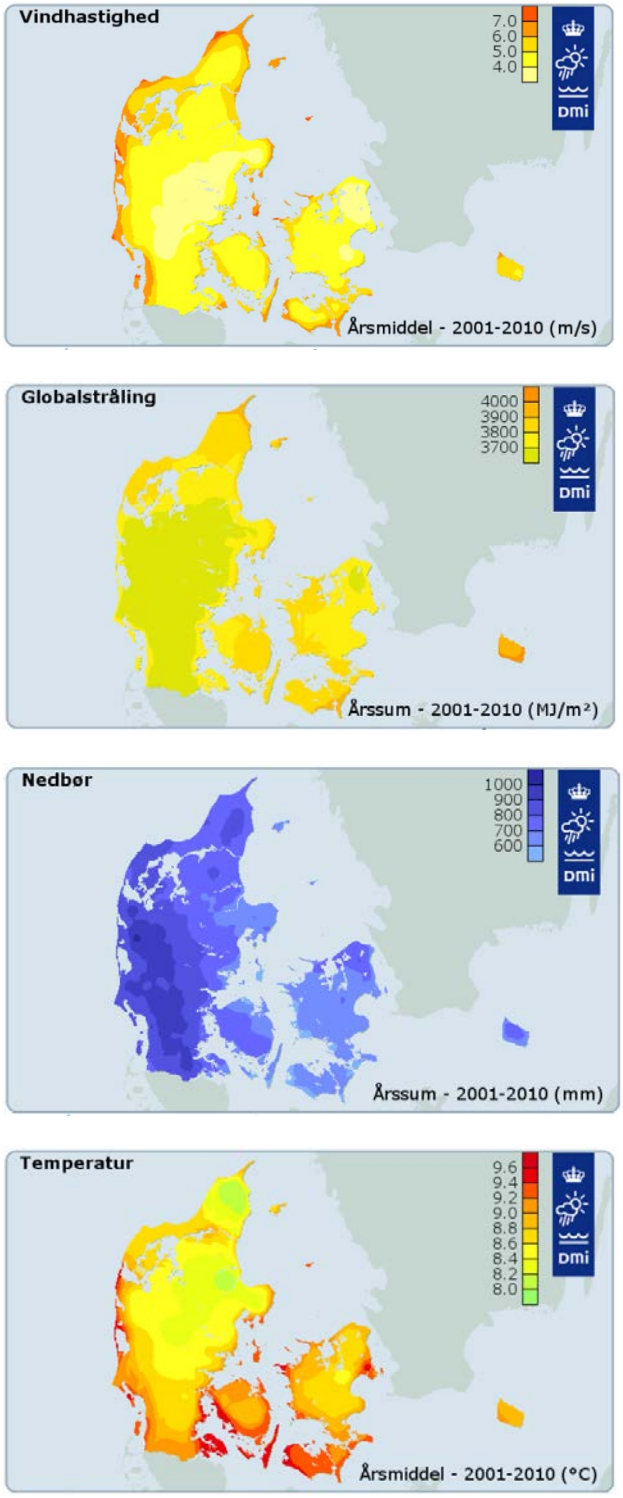
Figur 6.1. Den tidslige udvikling af skydække, soltimer, temperatur og nedbør i Danmark (fra DMI, 2015a, 2015b). Røde linjer er årlige værdier og blå kurve svarer til 30 års glidende middel. Der er markeret to 10-års perioder: 1974-83 og 2008-17, som repræsenterer henholdsvis eksisterende OML-data (grøn) og nyeste WRF-data (blå) brugt til analyser.

De største geografiske gradienter ses for vindhastigheden ved kysterne. Middelvindhastigheden vil have betydning for OML-beregnede årsmiddelværdier af immissionskoncentrationen, men det behøver ikke være tilfældet for de maksimale månedlige 99 %-fraktiler, idet det kun er de 8 største timemiddelværdier i måneden, som indgår i beregning af fraktilen. I det indre af Jylland, Fyn og Sjælland er der kun mindre forskel på vindhastighederne.

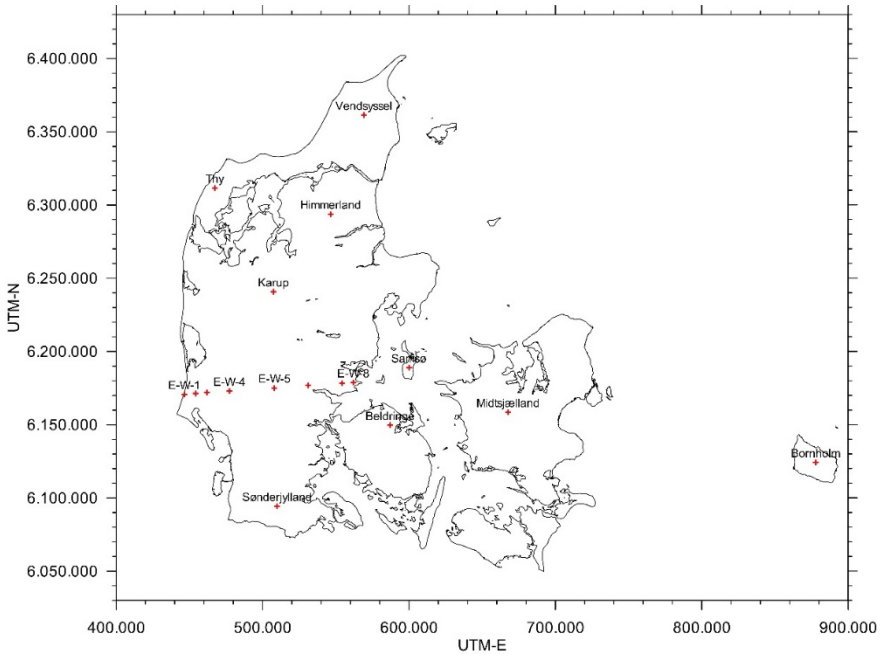
Temperaturen har også store gradienter ved kysterne og indikerer ikke konstante forhold, men temperaturforskellene i sig selv har kun meget ringe indflydelse på OML-beregninger.

Globalstråling, som giver en indikation på varmefluksen og dermed på grænselagets stabilitetsforhold, viser kun relativ lille geografiske variation. Nedbøren har en jævn variation hen over landet.

På dette grundlag er valgt en række punkter fra WRF til videre analyser. For at undersøge betydningen af kystnærhed, er valgt punkter i et tværsnit henover Jylland. For at undersøge forskelle mellem landsdelene er udvalgt punkter i det indre af Jylland, Fyn og Sjælland. Endelig er udtaget punkter på Samsø og Bornholm. Alle punkter er vist i figur 6.3.



Figur 6.2. Geografisk fordeling af middelværdier af vindhastighed, globalstråling, nedbør og temperatur for 2001-10 (DMI, 2012).

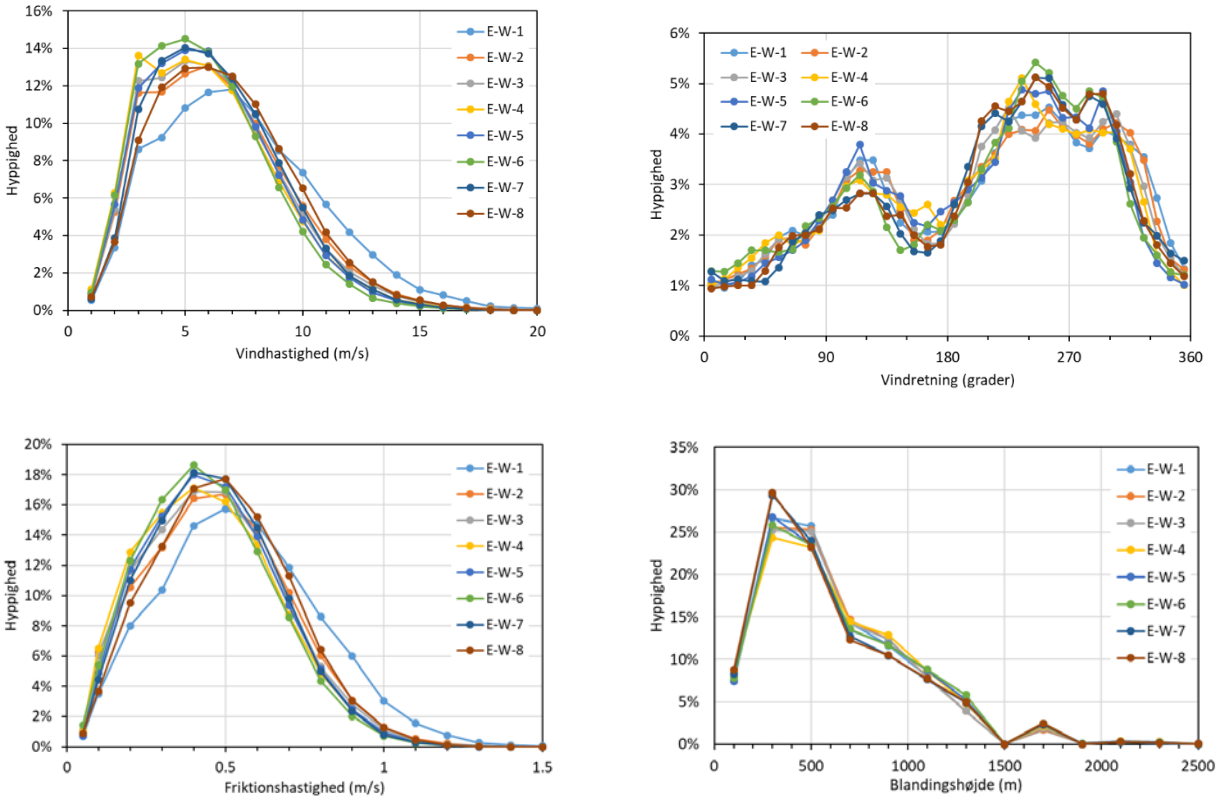


Figur 6.3. Lokaliteter udvalgt til analyser af meteorologiske data fra vejrmodellen WRF.

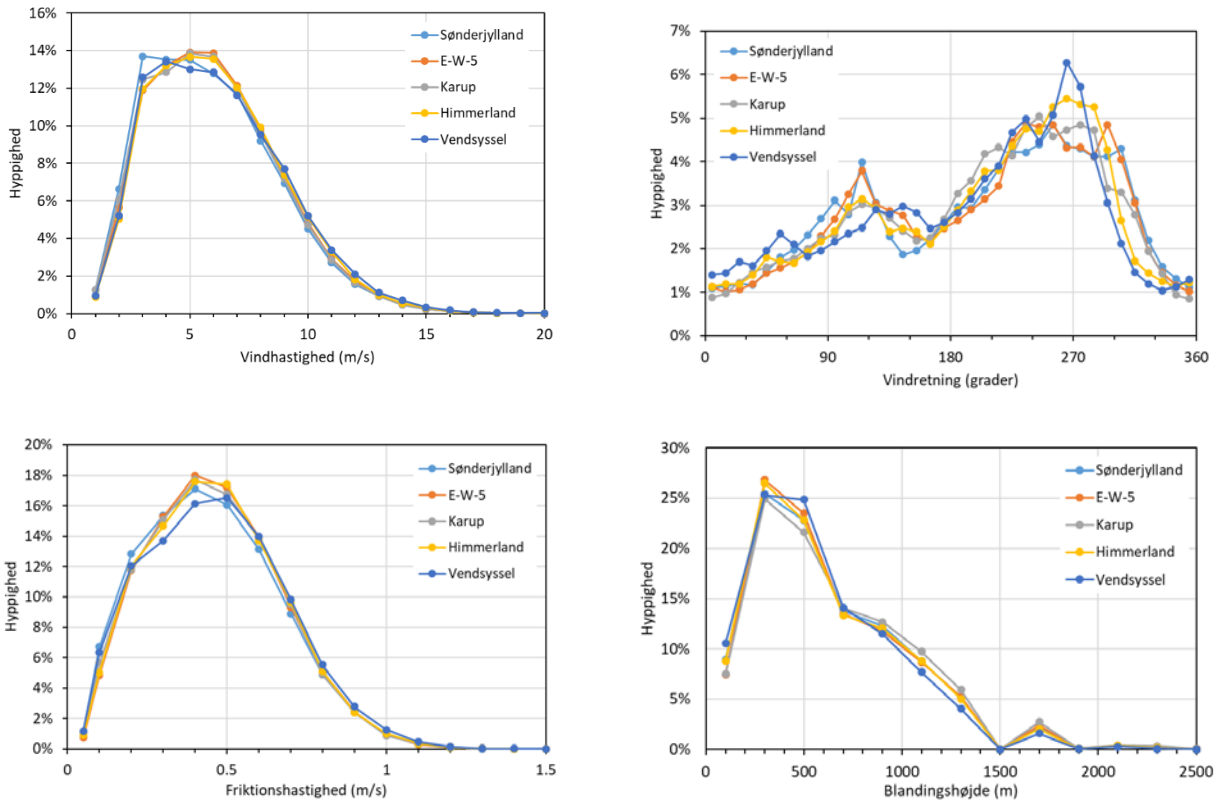
6.2 Meteorologiske parametre for 2008-2017

I det følgende vises figurer med hyppigheder af parameterværdier for vindhastighed, vindretning, friktionshastighed (turbulens) og grænselagshøjde (blandingshøjde) for perioden 2008-17. I hver figur sammenlignes hyppighederne for forskellige sammenstillinger af lokaliteter fra figur 6.3.

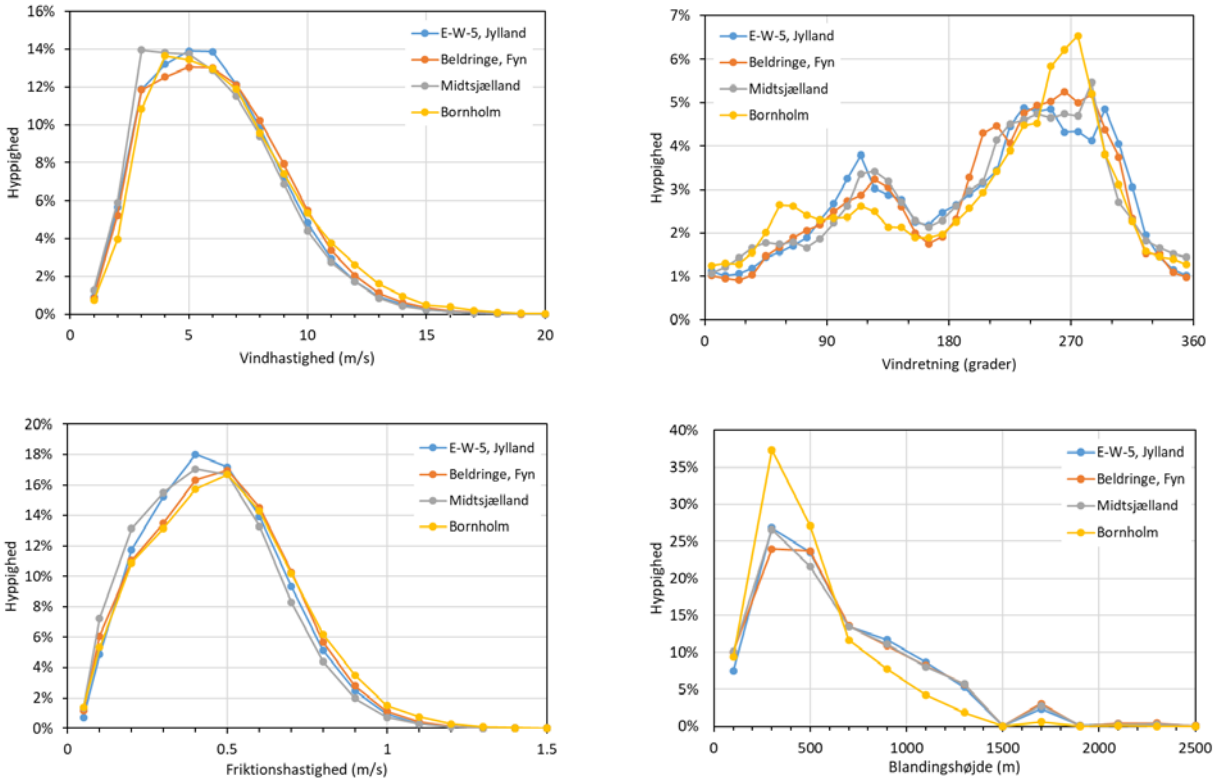
I figur 6.4 er sammenlignet 8 positioner på linje fra vest til øst på tværs af Midtjylland. Overordnet set er fordelingen af hyppigheder relativ ens, det er kun lokaliteten E-W-1 nærmest Vestkysten, hvor vindhastighed og friktionshastighed er forskudt markant mod højere værdier. Samme svage tendens ses også for E-W-2 ca. 9 km fra kysten og E-W-8 ved Jyllands østkyst. De korrigerede grænselagshøjder (afsnit 4.1.5) er stort set ens. For vindretningerne er der lidt hyppigere nordvestlig vindretning for positionerne nærmest vestkysten og en tilsvarende lidt mindre hyppighed af vestlig vind. Dette indikerer at OML-beregninger for disse lokaliteter muligvis kun vil adskille sig for de kystnære lokaliteter, men kombinationer af 'ekstreme' parameterværdier kan ikke udelukkes at give afgørende forskelle i immissionskoncentrationer.



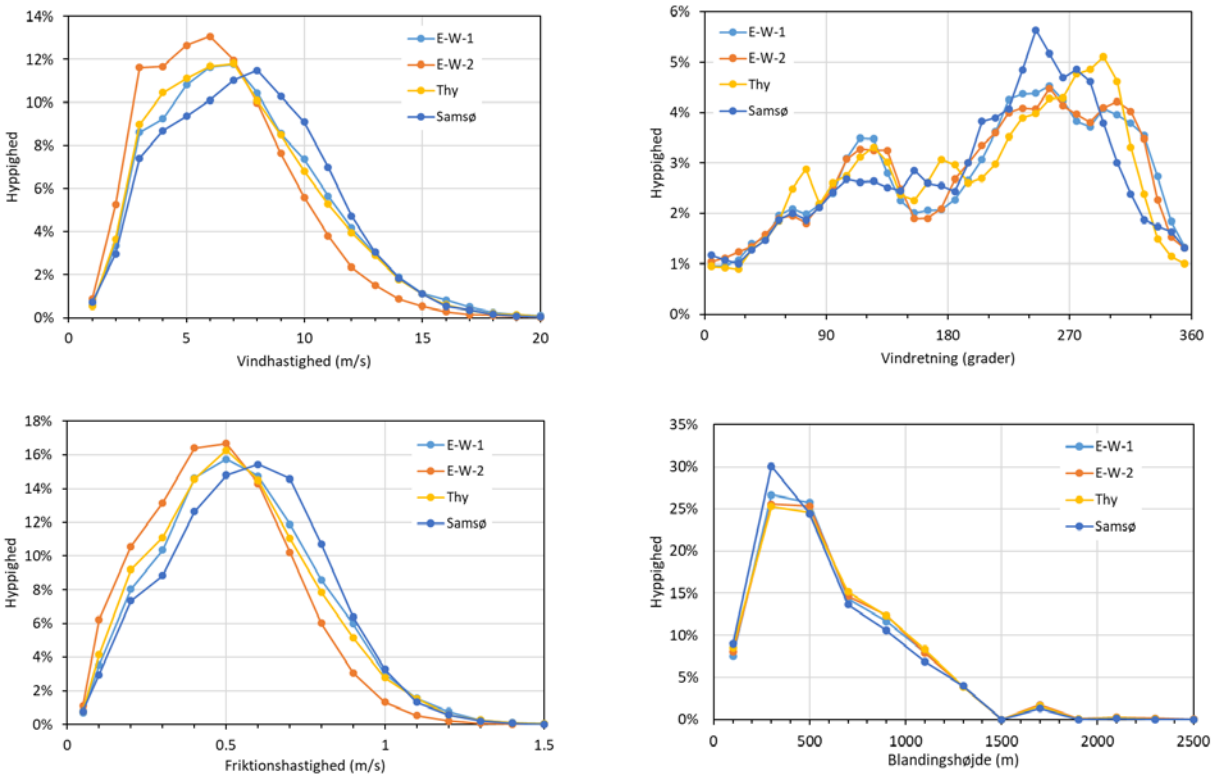
Figur 6.4. Hyppigheden af vindhastigheder, vindretninger, turbulens (friktionshastighed) og grænselags-/blandingshøjde for 10-året 2008-17 fra vejrmodellen WRF for 8 positioner på tværs af Midtjylland (figur 6.3). Data er markeret ud for den øvre værdi for de respektive parameterintervaller.



Figur 6.5. Hyppigheden af vindhastigheder, vindretninger, turbulens (friktionshastighed) og grænselags-/blandingshøjde for 10-året 2008-17 fra vejrmodellen WRF for 5 positioner fra syd til nord i det indre af Jylland (navne jf. figur 6.3). Data er markeret ud for den øvre værdi for de respektive parameterintervaller.



Figur 6.6. Hyppigheden af vindhastigheder, vindretninger, turbulens (friktionshastighed) og grænselags-/blandingshøjde for 10-året 2008-17 fra vejrmodellen WRF for 4 positioner i forskellige landsdele (figur 6.3). Data er markeret ud for den øvre værdi for de respektive parameterintervaller.



Figur 6.7. Hyppigheden af vindhastigheder, vindretninger, turbulens (friktionshastighed) og grænselags-/blandingshøjde for 10-året 2008-17 fra vejrmodellen WRF for 4 kystnære positioner (figur 6.3). Data er markeret ud for den øvre værdi for de respektive parameterintervaller.

I figur 6.5 er sammenlignet 5 positioner placeret fra syd til nord i det indre af Jylland, hvorved variation på grund af kystnærhed ikke har betydning. Fordelingerne af vindhastighed og -retning samt grænselagshøjde er meget ens. Der er dog nogen variation i vindretningerne. Tendensen er, at jo nordligere en position ligger, des hyppigere er vestlig vind (fx Vendsyssel og Himmerland) og tilsvarende mindre hyppig nordvestlig vind. Der er hyppigst sydøstlig vind for de sydligste positioner. Dette indikerer en mulig forskel i retningerne til de dimensionerende immissionskoncentrationer.

Variationen mellem de indre områder af landsdelene er vist i figur 6.6 med eksempler for lokaliteter i Jylland, Fyn, Sjælland og Bornholm. Igen er vindhastighed og turbulens meget ens. For grænselagshøjden og vindretningen skiller Bornholm sig ud fra de tre øvrige, som er forholdsvis ens. For Bornholm er højden forskudt mod lavere værdier. Vindretningen er forholdsvis hyppig fra vest og nordøst samt mindre hyppig fra sydøst.

Eksempler på betydningen af kystnær beliggenhed er vist i figur 6.7, hvor to lokaliteter ved Vestkysten (E-W-1 og E-W-2), en kystlokalitet i Thy og en lokalitet på en mindre ø (Samsø) er valgt. Igen er hyppigheden for vindhastigheden og friktionshastigheden (turbulensen) forskudt mod højere værdier for lokaliteter nærmest kysten. Samsø har den største forskydning, fordi lokaliteten er kystnær for de fleste vindretninger. Grænselagshøjderne er meget ens. Hyppighederne for vindretningerne er noget forskellige.

Samlet set fremgår det, at der i forbindelse med OML-beregninger kunne være behov for at skelne mellem lokaliteter, som er kystnære og ikke kystnære, mellem nordlige og sydlige Jylland samt Bornholm. Muligvis vil det indre af Fyn og Sjælland kunne sidestilles med Midtjylland. Dette vil afklares yderligere i næste afsnit med OML-beregninger.

7. Konsekvens for immisionskoncentrationer

I dette kapitel er foretaget en vurdering for immissionskoncentrationer ved anvendelse af 10-års meteorologiske tidsserier fra WRF i forhold til nuværende praksis med anvendelse af data for Kastrup 1976. Til vurderingen er valgt 17 lokaliteter, som fremgår af figur 6.3. Til yderligere sammenligning er også udført beregninger for Aalborg 1974-83.

Vurdering på grundlag af maksimale månedlige 99 %-fraktiler må nødvendigvis skelne i forhold til, om der vurderes i relation til Luftvejledningen eller Lugtvejledningen. For Luftvejledningen vurderes beregningsområdets maksimale månedlige 99 %-fraktil uden for virksomhedens skel. I relation til Lugtvejledningen anvendes enten konservativ eller skarp retningstolkning, idet de omkringliggende områdetyper kan have forskellige lugtgrænseværdier. Ved konservativ retningstolkning vurderes kun afstanden til den maksimale månedlig 99 % fraktil for en områdetype, og retning til området indgår ikke. Ved skarp retningstolkning vurderes både i forhold til afstand og retning til et givet område. ENVS anbefaler, at der som udgangspunkt anvendes konservativ retningstolkning, når der kun bruges meteorologiske tidsserier for et år (fx lugt fra virksomheder), hvilket er begrundet i de relativt få og tilfældige situationer med vind i en konkret retning i løbet af kun et år.

Tabel 7.1. Den *maksimale månedlige 99 %-fraktiler* for 7 punktkilder for 10-års meteorologiske datasæt for en række lokaliteter. Værdierne er for hver kilde normeret således, at værdien 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976. Aalborg er OML-data for 1974-83, og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er WRF-data for 2008-17.

	Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)							
Lokalitet	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**	**Midd**
Aalborg	99	115	183	107	133	133	103	125
E-W-1	101	165	121	141	106	101	111	121
E-W-2	100	148	119	132	101	110	107	117
E-W-3	100	161	122	133	109	118	105	121
E-W-4	102	188	119	144	104	116	103	125
E-W-5	102	162	129	134	129	127	101	126
E-W-6	100	191	127	152	133	131	102	134
E-W-7	101	183	116	141	108	124	105	125
E-W-8	101	152	125	141	116	121	135	127
Vendsyssel	101	186	115	131	103	109	102	121
Himmerland	102	163	127	148	118	113	101	125
Karup	101	166	119	161	114	122	106	127
E-W-5	102	162	129	134	129	127	101	126
Sønderjylland	100	191	121	187	114	131	104	135
E-W-5	102	162	129	134	129	127	101	126
Beldringe, Fyn	99	179	126	145	98	119	111	125
Midtsjælland	101	183	115	172	107	134	100	130
Bornholm	101	128	123	117	115	127	106	117
E-W-1	101	165	121	141	106	101	111	121
E-W-2	100	148	119	132	101	110	107	117
Thy	102	183	123	165	105	113	114	129
Samsø	100	158	154	116	128	143	116	131

7.1 Maksimale månedlige 99 %-fraktiler

I det omfang Luftvejledningen angiver, at en B-værdi skal overholdes overalt uden for virksomhedens skel, så er det ikke relevant at foretage skarp retningstolkning hverken for Kastrup 1976 eller andre meteorologiske tidsserier. Her vil det være nok udelukkende at forholde sig til den maksimale månedlige 99 %-fraktiler i hele området uden for skel.

Resultater af beregningerne for 18 lokaliteter ses i tabel 7.1. Lokaliteterne med WRF-data er samlet i 4 grupper adskilt af stiplede linjer. Lokaliteterne E-W-1 - E-W-8 repræsenterer et øst-vest tværsnit i Midtjylland med formålet at beskrive den eventuelle betydning af afstand til kyst. Gruppen Vendsyssel - Sønderjylland repræsenterer forskelle mellem de indre landsdele fra nord til syd. E-W-5 - Bornholm repræsenterer forskelle mellem de indre landsdele fra vest til øst. E-W-1 - Samsø repræsenterer forskelle i kystbeliggenhed.

De maksimale månedlige 99 %-fraktiler for lokaliteterne er normerede i forhold til Kastrup 1976, således at værdien 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for den aktuelle kilde. Generelt er de maksimale månedlige 99 %-fraktiler noget større end for Kastrup 1976 med et gennemsnit for alle WRF-beregninger (uden dobbelt tælling) på 126. For Aalborg-data er gennemsnittet 127. Tallene svarer henholdsvis til 26 % og 27 % større værdier end for Kastrup 1976. For WRF-data varierer værdierne mellem 99 og 191. For kilden på 5 m er variationen minimal. For de øvrige kilder ses de største værdier for kilder med bygningseffekt med gennemsnit på 170 og 145 for kildehøjderne 10 m respektive 30 m. For kilder uden bygning er gennemsnittene 124, 112, 121 og 108 for højderne 10, 30, 60 og 100 m. For stort set alle kilder og alle lokaliteter beregnes større værdier i forhold til Kastrup 1976. Dette skyldes blandt andet, at over en 10-års periode er der større sandsynlighed for at ramme en måned med høje værdier end ved brug af et års data.

Der ses ingen klare systematiske ændringer i den maksimale månedlige 99 %-fraktil mellem kystnære og indlandslokaliteter, og heller ikke for nordlige og sydlige landsdele eller mellem vestlige eller østlige landsdele. Forskellene skyldes tilsyneladende meget lokale forhold eller tilfældigheder i meteorologien.

De mindre systematiske forskelle i de meteorologiske statistikker i afsnit 6.2 træder således ikke frem i spredningsberegningerne, hvilket sandsynligvis skyldes, at kun ganske få timer indgår i beregningen af den maksimale månedlige 99 %-fraktil.

I forhold til afstand til den maksimale månedlige 99 %-fraktil er der ikke den store forskel mellem datasættene (Bilag, tabel B2), men for retningerne er der stor variation (tabel B3).

7.2 Maksimale månedlige 99 %-fraktiler – skarp tolkning

Ved regulering af lugt fra virksomheder og fra husdyrproduktion skal lugtgrænser udelukkende være overholdt i bestemte typer af nabolag, som kan befinde sig i forskellige retninger eller afstande i forhold til kilden.

Anvendelse af skarp retningstolkning ved lugtvurdering bør, som udgangspunkt, kun anvendes i forbindelse med beregninger for 10 års meteorologiske

data, som det gøres for lugt i forbindelse med emission fra stalde med husdyrproduktion.

I forhold til Lugtvejledningen for virksomheder anvendes for nuværende (2018) 1 års data fra Kastrup 1976. Her bør, som udgangspunkt, anvendes en konservativ retningstolkning, og immissionskoncentrationer bør således kun relateres til afstand fra kilden.

Derfor vurderes beregninger med 10 års data i forhold til data for Kastrup 1976 *for hver afstand* (radius). For en given afstand foretages en skarp retningstolkning af 10-års beregningerne, som sammenlignes med den maksimale værdi blandt alle 36 retninger for Kastrup 1976 (konservativ retningstolkning). I princippet burde samtlige 36 receptorer sammenlignes enkeltvis med maksimum for Kastrup 1976, men for overskuelighedens skyld reduceres sammenligningen til følgende to opgørelser *for hver afstand*: den maksimale månedlige 99 %-fraktil for de 36 receptorer og gennemsnittet for fraktilerne i de 36 receptorer. Resultater er normeret således, at for *hver afstand* og hver kilde svarer værdien 100 til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 (for alle retninger).

Tabel 7.2. Den *maksimale månedlige 99 %-fraktil* blandt 36 retninger i hver receptor-radius for 10-års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For *30 m punktkilde uden bygning* og en række lokaliteter. Aalborg er OML-data for 1974-83, og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er WRF-data for 2008-17.

Radius (m)	**60**	**80**	**100**	**125**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**500**	**600**	**800**	**1000**	**1500**	**Midd.**
Aalborg	168	117	133	146	147	121	132	126	119	110	104	110	109	103	105	123
E-W-1	65	84	97	119	115	105	121	115	116	117	128	137	128	123	120	113
E-W-2	114	99	101	106	103	100	118	120	123	124	126	130	113	109	109	113
E-W-3	96	101	109	108	100	101	113	121	115	119	128	125	120	122	121	113
E-W-4	112	108	102	109	99	106	125	123	120	117	118	123	131	126	121	116
E-W-5	115	119	129	116	109	105	117	122	121	126	125	131	128	116	117	120
E-W-6	162	138	118	112	113	117	114	118	113	114	132	140	137	120	121	125
E-W-7	97	101	108	106	101	117	124	118	117	114	112	115	124	121	118	113
E-W-8	89	97	116	129	115	118	124	121	116	116	122	126	123	120	117	117
Vendsyssel	88	93	103	108	105	109	114	118	117	117	119	122	120	121	122	112
Himmerland	84	103	118	115	112	114	120	127	119	119	122	127	129	116	117	116
Karup	113	104	114	116	107	101	114	119	121	120	128	129	123	118	120	116
E-W-5	115	119	129	116	109	105	117	122	121	126	125	131	128	116	117	120
Sønderjylland	130	115	114	119	109	107	116	117	115	115	120	128	123	115	119	117
E-W-5	115	119	129	116	109	105	117	122	121	126	125	131	128	116	117	120
Beldringe, Fyn	125	102	94	109	100	102	110	110	110	109	111	120	122	119	130	112
Midtsjælland	112	108	107	119	105	100	114	110	110	110	116	120	118	116	120	112
Bornholm	122	100	115	122	114	105	119	120	112	111	111	110	114	117	117	114
E-W-1	65	84	97	119	115	105	121	115	116	117	128	137	128	123	120	113
E-W-2	114	99	101	106	103	100	118	120	123	124	126	130	113	109	109	113
Thy	77	86	105	111	106	107	118	113	118	118	117	122	127	121	119	111
Samsø	180	132	122	136	135	130	127	118	104	103	109	116	119	117	118	124
Max	180	138	129	136	135	130	127	127	123	126	132	140	137	126	130	134
Middel*	111	105	110	115	109	108	118	118	116	116	120	125	123	119	119	116
Min	65	84	94	106	99	100	110	110	104	103	109	110	113	109	109	102

* Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang.

Til eksempel er i tabel 7.2 vist den maksimale månedlige 99 %-fraktil i hver afstand i receptornettet for kilden med skorstenshøjden 30 m og uden bygning. I den korteste afstand på 60 m ses værdierne at variere meget, men i absolutte koncentrationer er de ca. 2/3 af hele områdets maksimale fraktil, som optræder i 80-125 m (bilag, tabel B2). Derfor vil værdien i 60 m næppe være dimensionerende. For de øvrige afstande varierer de normerede værdier mellem 84 og 140 med et gennemsnit for alle WRF-data på 116.

Værdierne i tabel 7.2 er for den mest belastede retning. I tabel 7.3 er vist gennemsnittet for samtlige 36 maksimale månedlige 99%-fraktiler i de givne afstande. Her ses, at for afstande på 80 m eller mere varierer værdierne mellem 49 og 108 med et gennemsnit for alle WRF-data på 92. For værdier under 100 vil der således både være retninger, hvor værdierne er lavere i forhold til Kastrup 1976, og der vil være retninger med større værdier (tabel 7.2). For afstande mindre end 250 m, hvor de absolutte maksima optræder, er værdierne alle mindre end 100 – bortset fra for Samsø.

Tabel 7.3. Gennemsnit for 36 retninger af de *maksimale månedlige 99 %-fraktil* i hver receptor-radius for 10-års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For *30 m punktkilde uden bygning* og en række lokaliteter. Aalborg er OML-data for 1974-83, og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er WRF-data for 2008-17.

Radius (m)	**60**	**80**	**100**	**125**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**500**	**600**	**800**	**1000**	**1500**	**Midd.**
Aalborg	106	88	92	98	91	90	100	101	98	97	95	96	89	81	75	93
E-W-1	31	49	66	84	84	88	102	103	101	101	102	104	100	97	102	88
E-W-2	39	54	71	87	85	88	103	107	105	104	103	103	97	91	96	89
E-W-3	42	59	76	89	85	88	102	105	103	103	102	103	100	95	98	90
E-W-4	56	68	82	93	88	89	103	106	105	104	103	104	101	96	100	93
E-W-5	60	73	88	96	91	89	103	107	106	105	107	108	104	99	100	96
E-W-6	61	70	83	94	89	91	104	106	105	104	105	108	103	100	102	95
E-W-7	50	61	76	87	85	88	100	103	102	102	101	102	97	92	99	90
E-W-8	56	68	82	95	90	90	101	102	100	100	99	100	98	95	101	92
Vendsyssel	41	60	78	95	90	91	102	102	99	99	99	100	95	91	100	89
Himmerland	49	64	79	92	87	88	102	104	102	102	103	105	101	97	102	92
Karup	65	72	83	95	90	88	102	105	104	103	102	103	100	95	101	94
E-W-5	60	73	88	96	91	89	103	107	106	105	107	108	104	99	100	96
Sønderjylland	62	71	83	94	88	89	102	104	103	103	103	105	104	98	101	94
E-W-5	60	73	88	96	91	89	103	107	106	105	107	108	104	99	100	96
Beldringe, Fyn	78	75	81	92	87	87	98	101	100	99	98	100	97	92	99	92
Midtsjælland	66	76	88	97	89	89	101	102	101	100	100	102	97	93	100	93
Bornholm	59	68	82	96	93	92	101	102	99	99	99	99	93	88	97	91
E-W-1	31	49	66	84	84	88	102	103	101	101	102	104	100	97	102	88
E-W-2	39	54	71	87	85	88	103	107	105	104	103	103	97	91	96	89
Thy	36	51	69	86	86	90	102	101	100	99	99	101	97	93	103	88
Samsø	121	104	105	110	98	93	100	99	97	96	96	98	98	98	104	101
Max	121	104	105	110	98	93	104	107	106	105	107	108	104	100	104	105
Middel*	57	67	81	93	89	89	102	103	102	101	101	103	99	95	100	92
Min	31	49	66	84	84	87	98	99	97	96	96	98	93	88	96	84

* Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang.

Som i afsnit 7.1 viser tabel 7.2 og tabel 7.3 heller ikke nogen geografisk systematisk variation af værdierne hverken på tværs eller på langs af Jylland, mellem Øst- og Vestdanmark eller i forhold til kystområder. For de 6 øvrige kilder findes tilsvarende tabeller i bilaget (tabel B4-B15). For disse kilder ses heller ikke nogen systematik.

I tabel 7.4 er alle 14 tabeller (7.2, 7.3, og B4-B15) kondenseret i en tabel for de 7 kilder med visning af gennemsnit over alle afstande for alle WRF-datasæt og for Aalborg-data. For alle kilder og for konservativ retningstolkning ('Maks.') har både WRF- og Aalborg-data i gennemsnit større værdier end Kastrup 1976, hvor WRF-data har de største værdier, som i gennemsnit for de syv kilder er 133. Ved skarp retningstolkning ('Alle retninger') er gennemsnittene mere på niveau med Kastrup 1976.

Tabel 7.4. Gennemsnit over alle afstande i beregningsområdet af *maksimale månedlige 99 % fraktiler* for 7 punktkilder for 10-års meteorologiske datasæt. 'Maks.' refererer til største værdi i alle retninger som i tabel 7.2, og 'Alle retninger' refererer til gennemsnittet over alle retninger som i tabel 7.3. Værdierne er normerede i forhold til Kastrup 1976. 'Midd.' angiver middelværdien for alle kilderne.

	Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)							
	5/5	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**	**Midd.**
Aalborg								
Maks.	100	115	120	108	123	144	105	116
Alle retninger	94	100	96	99	93	98	82	95
Alle WRF-data								
Maks.	107	194	138	149	116	116	111	133
Alle retninger	98	129	105	111	92	86	89	101

7.3 Middelværdier

Der er her foretaget en vurdering af niveauerne for 10-års middelværdier. I tabel 7.5 er vist maksimale 10 års middelværdier for lokaliteterne i figur 6.3. Værdierne er normerede i forhold til Kastrup 1976, således at værdien 100 (arbitrær enhed) svarer til årsmiddelværdien for Kastrup 1976 for den aktuelle kilde.

Det ses, at med WRF-data har de fleste kilder værdier, som er en del højere end for Kastrup 1976. Det er kun kilderne på 10 m og 30 m med bygningseffekt, som har lavere værdier. I gennemsnit for alle kilder og lokaliteter er middelværdien for WRF-data 21 % større end for Kastrup 1976 med variation mellem -43 % til +102 %. Det skal bemærkes, at grunden til de relativt høje værdier er, at Kastrup 1976 er året med lavest middelværdi set i forhold til årene 1974-1983, hvilket fremgår af næste afsnit (figur 7.1).

I forhold til afstand til de maksimale middelværdier er der kun forskel mellem datasættene for kilderne på 60 m og 100 m (Bilag, tabel B16). For retningerne er der noget variation, dog med de fleste retninger mellem 60-90 grader (Bilag, tabel B17). Det er kun lokaliteten E-W-1, hvor retningen for 10 m og 30 m kilderne med bygninger ikke har en østlig komponent.

Overordnet ses der lidt stigende middelværdier på tværs af Jylland, når lokaliteterne rykker fra vest mod øst, hvilket kunne tilskrives lidt mindre middelvindhastigheder (figur 6.4). Der ses en stigning fra syd mod nord i Jylland, men der er ikke nogen tilsvarende forskel i vindhastighederne, og forklaringen kan være en lidt mere hyppig vestlig vindretning mod nord (figur 6.5).

Der ses ingen tydelig tendens i middelværdierne mellem de indre vestlige landsdele og de østlige, dog er middelværdierne for Bornholm noget højere igen formodentlig på grund af hyppigere vestlig vindretning (figur 6.6).

De kystnære lokaliteter har generelt lidt lavere værdier, sandsynligvis på grund af mere vind (figur 6.7), dog har Samsø en lidt højere værdi, sandsynligvis på grund af relativ hyppig vind fra sydvest.

Tabel 7.5. Den maksimale *middelværdi* for 7 punktkilder for 10-års meteorologiske datasæt for en række lokaliteter. Værdierne er for hver kilde normeret således, at 100 (arbitrær enhed) svarer til middelværdien for Kastrup 1976. Aalborg er OML-data for 1974-83, og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er WRF-data for 2008-17.

	Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)							
Lokalitet	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**	**Midd.**
Aalborg	122	101	132	99	136	140	139	124
E-W-1	100	59	105	57	120	135	151	104
E-W-2	100	68	106	66	119	130	142	104
E-W-3	101	76	108	73	119	136	150	109
E-W-4	111	84	123	81	137	147	151	119
E-W-5	115	82	127	79	138	148	149	120
E-W-6	121	89	136	86	150	160	163	129
E-W-7	121	82	129	80	143	154	161	124
E-W-8	121	80	126	78	137	147	153	120
Vendsyssel	133	91	142	91	165	179	202	143
Himmerland	128	88	137	86	152	164	171	132
Karup	113	84	128	81	141	152	151	121
E-W-5	115	82	127	79	138	148	149	120
Sønderjylland	106	78	117	75	131	141	143	113
E-W-5	115	82	127	79	138	148	149	120
Beldringe, Fyn	120	90	131	85	138	144	149	122
Midtsjælland	112	87	122	85	137	147	152	120
Bornholm	140	94	145	91	165	182	201	145
E-W-1	100	59	105	57	120	135	151	104
E-W-2	100	68	106	66	119	130	142	104
Thy	110	63	113	61	129	145	166	112
Samsø	118	69	125	67	144	165	186	125
Max	140	94	145	91	165	182	202	146
Middel*	116	80	125	78	139	152	161	121
Min	100	59	105	57	119	130	142	102

* Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang.

I tabel 7.6 er den maksimale 10 års middelværdi i beregningsområdet sammenlignet med 1/40 af den maksimale månedlige 99 % fraktil for Kastrup 1976 (*mx99*). Middelværdien er normeret således, at koncentrationer er 100, hvis værdien er lig *mx99/40*.

For beregninger med WRF-data er de maksimale middelværdier generelt en del større end 100 med et gennemsnit på 191 (uden dobbelttælling), svarende til 91 % større værdier. For Aalborg er gennemsnit for alle kilder 208, og for Kastrup 1976 er det 178.

Tabel 7.6. Den maksimale *middelværdi* for 7 punktkilder for 10-års meteorologiske datasæt for en række lokaliteter. Værdierne er for hver kilde normeret således, at 100 (arbitrær enhed) svarer til 1/40 af den maksimale månedlige 99 % fraktil for Kastrup 1976. Aalborg er OML-data for 1974-83, og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er WRF-data for 2008-17.

	Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)							
Lokalitet	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**	**Midd.**
Kastrup 1976	195	340	221	248	97	67	80	178
Aalborg	239	347	290	245	132	94	111	208
E-W-1	194	203	232	143	116	91	120	157
E-W-2	195	234	234	164	116	88	114	164
E-W-3	197	259	238	181	116	91	120	172
E-W-4	216	289	271	203	133	99	121	190
E-W-5	225	282	279	196	134	100	119	191
E-W-6	237	305	300	214	146	108	130	206
E-W-7	237	280	283	198	138	104	129	196
E-W-8	237	276	277	193	133	98	123	191
Vendsyssel	260	312	312	227	160	121	162	222
Himmerland	249	303	302	214	148	110	137	209
Karup	220	289	281	201	136	102	121	193
E-W-5	225	282	279	196	134	100	119	191
Sønderjylland	208	268	259	188	127	95	114	180
E-W-5	225	282	279	196	134	100	119	191
Beldringe, Fyn	235	307	288	212	134	97	119	199
Midtsjælland	218	299	269	212	133	99	122	193
Bornholm	272	322	319	227	160	122	160	226
E-W-1	194	203	232	143	116	91	120	157
E-W-2	195	234	234	164	116	88	114	164
Thy	214	217	248	152	124	97	133	169
Samsø	231	236	275	166	139	111	149	187
Max	272	322	319	227	160	122	162	226
Middel*	226	275	275	194	135	102	129	191
Min	194	203	232	143	116	88	114	156

* Aalborg og Kastrup indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang.

For WRF-data varierer værdierne mellem 88 og 322. For kilden på 60 m er variationen mindst mellem 88 og 122. For de øvrige kilder ses de største værdier for kilder med bygningseffekt og størst variation for kilden på 10 m med bygning med værdier mellem 203 til 322. For kilderhøjderne på 30 m, 60 m og 100 m uden bygning er gennemsnittet over alle WRF-data 135, 102 respektive 129. Beregninger af de *mx99/40*-normerede middelværdier har generelt større værdier end de maksimale middelværdier (tabel 7.5). Dette er ikke uventet, idet forholdet mellem den maksimale månedlige 99 %-fraktil og den maksimale årsmiddelværdi for Kastrup for de 7 kilder er henholdsvis 21, 12, 18, 16, 41, 59 og 50 (tabelrækkefølge), hvilket alene på grund af metoden betyder, at for Kastrup 1976 er de tilsvarende *mx99/40*-normerede middelværdier henholdsvis 190 (40/21*100), 333 (400/21*100), 222, 250, 98, 68 og 80. Således vil alene metoden give større værdier for 4 ud af de 7 kilder for Kastrup 1976 data.

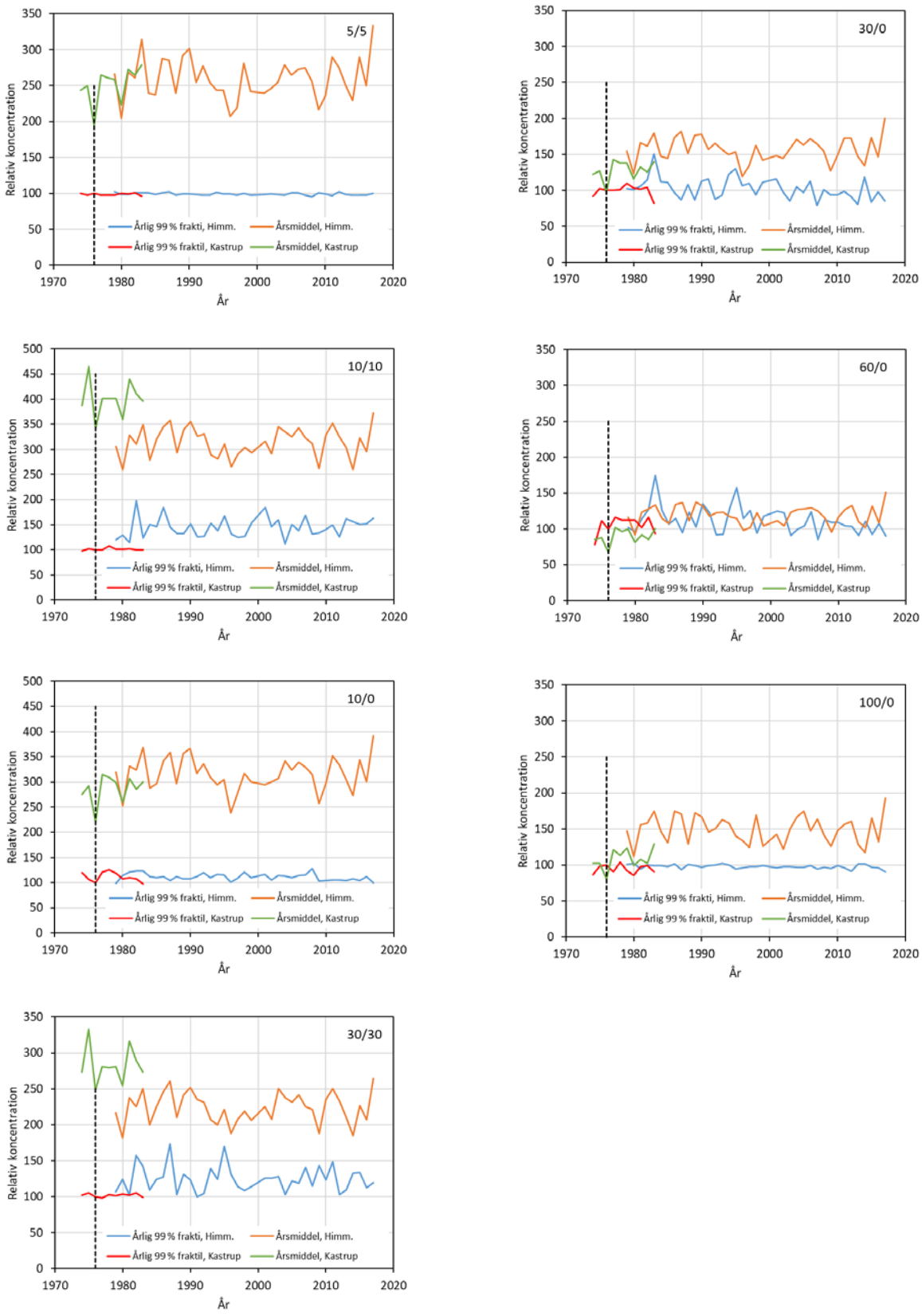
De *mx99/40*-normerede middelværdier udviser samme geografiske variation som de maksimale middelværdier (tabel 7.5).

7.4 Tidslig udvikling af immisionskoncentrationer

Der beregnes generelt større maksimale månedlig 99 % fraktiler og middelværdier med WRF-data for 2008-17 i forhold til Kastrup 1976. Det kunne tænkes at skyldes en generel tidslig ændring af meteorologien. Men det er ikke tilfældet, hvilket fremgår af figur 7.1. Her er vist den årlige variation af den maksimale månedlige 99 % fraktil og årsmiddelværdien for de 7 kilder. Tidsserierne er dels for WRF-data for Himmerland for perioden 1979-2017, og dels for OML-data for Kastrup 1974-83. Fraktilerne er normeret i forhold til Kastrup 1976 (=100) og årsmiddelværdierne er normeret i forhold til 1/40 af den maksimale månedlige 99 % fraktil for Kastrup 1976 (=100).

For alle kilder ses, at for WRF-data er der ikke nogen tidslig trend i de årlige maksimale månedlige 99 % fraktiler eller i middelværdierne. For den kortere Kastrup tidsserie ses heller ikke nogen tidslig udvikling.

For alle kilderne er årsmiddelværdien for 1976 den laveste værdi blandt de 10 år for Kastrup. Dette forklarer de relativt høje middelværdier set i diverse tabeller, hvor værdierne er normerede i forhold til årsmiddelværdier for Kastrup 1976. For de 7 kilder ligger årsmiddelværdien for Kastrup 1976 på 74-88 % af middelværdien for hele 10-året.



Figur 7.1. Tidsserier af den årlige maksimale månedlige 99 % fraktil og årsmiddelværdien for 7 kilder. Tidsserierne er for WRF-data for Himmerland for perioden 1979-2017, og for OML-data for Kastrup for 1974-83. Bemærk at skala på y-aksen er anderledes for skorstenene på 10 m. Året 1976 er markeret med stiplet linje. 99 % fraktilerne er normeret i forhold til Kastrup 1976 (=100) og årsmiddelværdierne er normeret i forhold til 1/40 af den maksimale månedlige 99 % fraktil for Kastrup 1976 (=100). Kilden med afkast på 5 m og bygning på 5 m er fx angivet som '5/5'.

8. Konklusion

De forskellige metoder til dannelse af de komplicerede meteorologiske data til OML involverer alle forskellige grader af modeller til beregning af de nødvendige data. Der findes ikke datasæt, som alene bygger på direkte målinger.

De eneste realistiske og praktisk tilgængelige meteorologiske dataserier til OML, som også er landsdækkende og dækker længere perioder, er data fra vejrmodellen WRF.

Hyppigheden af udvalgte meteorologiske parametre fra WRF for 10 år viser, at der kun er tydelige systematiske geografiske forskelle mellem lokaliteter i kystnære områder (afstand mindre end ca. 5-10 km fra kyst) og de øvrige indlandslokaliteter.

Ved spredningsberegninger med OML over 10 år med WRF-data fremkommer derimod stort set kun usystematiske variationer i værdierne for den maksimale månedlige 99 % fraktil mellem de 17 undersøgte lokaliteter. Dette gælder for alle 7 typer af kilder. Variationerne optræder både, når værdierne betragtes som maksimum for et beregningsområde eller som maksimum i bestemte afstande. Der er også forskelle i retningerne til maksimum, men kun mindre forskelle i afstanden.

Beregninger af maksimale 10-års middelværdier udviser en smule systematik, idet værdierne er lavest i kystnære områder. Værdierne er højest i indlandet og for lokaliteter, hvor der er relativ høj hyppighed af en bestemt vindretning.

Da WRF-data repræsenterer et gennemsnit for ca. 30 km^2, hvilket skulle dæmpe meget lokale fluktuationer, var det forventet, at 10 års meteorologiske WRF-data ville resultere i mere systematiske og jævnt varierende maksimale værdier hen over Danmark både for månedlig 99 % fraktiler og 10-års middelværdier. Den konstaterede variation kan være reel og skyldes reelle variationer i meteorologien. Men den fraværende systematik i variationen kan også skyldes begrænsninger eller usikkerheder i WRF-data.

Hvis WRF-data afspejler reelle variationer i Danmark, så er spørgsmålet i hvilken geografisk detaljeringsgrad, WRF-data skal anvendes. Med den nuværende WRF-model er de danske landområder dækket af ca. 1.000 punkter (se figur B1 i bilaget). I princippet skal en beregning benytte sig af data fra det nærmeste WRF-punkt. Dette vil måske give nogle praktiske problemer i den daglige sagsbehandling i Danmark. Af praktisk grunde kunne antallet af lokaliteter reduceres til én i hver kommune, altså 98 lokaliteter, hvorved der accepteres en lidt mindre lokal præcision. Men for kommunerne i kystområderne vil der alligevel være en systematisk forskel mellem kyst og indland i forhold til middelværdier (dosis).

Når de maksimale månedlige 99 %-fraktiler beregnet med 10 års WRF-data sammenlignes med beregninger med data fra Kastrup 1976 for et helt beregningsområde, giver WRF-data generelt højere værdier, hvilket dels skyldes, at der er 10 gange så mange måneder i tidsserien, hvorfor der er større sandsynlighed for 'uheldige' meteorologiske forhold, og dels at WRF-data generelt giver lidt større maksimale månedlige 99 % fraktiler på årsbasis. I gennemsnit for de 7 kilder og 17 lokaliteter er de maksimale månedlige 99 %-fraktiler for

et beregningsområde 26 % større end for Kastrup 1976 med variationer mellem -1 % til +91 %.

Ved skarp retningstolkning med WRF-data i forhold til ENVS's anbefalede konservativ retningstolkning på data fra Kastrup 1976 vil der beregnes både højere og lavere maksimale månedlige 99 % fraktiler afhængig af retningen.

Maksimale 10-års middelværdier beregnet med WRF-data er generelt større end årsmiddelværdien for Kastrup 1976. I gennemsnit for alle kilder og lokaliteter er middelværdien 21 % større end for Kastrup 1976 med variation mellem -43 % til +102 %. En væsentlig årsag er, at årsmiddelværdien for 1976 er den laveste værdi beregnet med OML-data for Kastrup 1974-83 og er for de 7 kilder 12-26 % lavere end gennemsnittet for perioden. Det er dog ikke til at afgøre hvilken type af meteorologiske datasæt, der er det mest korrekte, idet konstruktionen af begge typer involverer modeller.

Nogle stoffers B-værdier er relateret til en dosis (langtidspåvirkning – dvs. kræftfremkaldende stoffer, der tillige giver genskader), som ønskes overholdt. Stoffernes B-værdi er fastsat til 40 gange grænsen for dosis, idet det tidligere er vurderet, at forholdet mellem maksimal månedlig 99 %-fraktil og den maksimale årsmiddelværdi er 40.

Da faktoren 40 reelt varierer for forskellige typer af kilder, vil det være mere korrekt, at de maksimale 10-års middelværdier vurderes i forhold til 1/40 af B-værdien. Hvis det antages, at den beregnede maksimale månedlige 99 % fraktil for Kastrup 1976 svarer til B-værdien, så ligger de maksimale middelværdier for WRF-data i gennemsnit 91 % over 1/40 af B-værdien med variationer på -12 % til +222 %. De største værdier optræder for lave kilder påvirket af stor bygningseffekt. Dette gælder, når der er maksimal emission i alle døgnets timer året rundt. I sammenhæng med regulering bør der tages hensyn til, at der måske reelt kun emitteres i 8 timer på hverdage, hvilket vil kunne reducere middelværdien til omtrent 1/3.

For den undersøgte 39-årige periode med WRF-data ses variationer fra år til år i niveauerne af den årlige maksimale månedlige 99% fraktil for et beregningsområde. Men der er ingen tidslig udvikling. Der er heller ikke nogen udvikling i årsmiddelværdierne.

Beregnede maksimale månedlige 99 % fraktiler med 10 års WRF-data for et beregningsområde er generelt højere end for OML-data for Kastrup 1976. Beregninger med værdier mere på niveau med Kastrup 1976 ville formodentligt opnås ved i stedet at anvende fx den 4. største månedlige 99 % fraktil over 10 år (Løfstrøm & Olesen, 2008). Det er muligt, at en sådan statistik i nogen grad også vil medføre mere systematiske variationer hen over Danmark, som set for maksimale 10-års middelværdier.

Referencer

Banks, R.F., Tiana-Alsina, J., Rocadenbosch, F. & Baldasano, J.M. (2015). Performance Evaluation of the Boundary-Layer Height from Lidar and the Weather Research and Forecasting Model at an Urban Coastal Site in the North-East Iberian Peninsula, Boundary-Layer Met., 157:265–292, DOI 10.1007/s10546-015-0056-2.

Berkowicz, R. & Prahm, L.P. (1982a). Sensible heat flux estimated from routine meteorological data by then resistance method. Journal of Applied Meteorology, 21, 1845-1864.

Berkowicz, R. & Prahm, L.P. (1982b). Evaluation of the profile method for estimation of surface fluxes of momentum and heat. Atm.Env., 16, 2809-2819.

DMI (2012). Referenceværdier: Måneds- og årskort 2001 - 2010, Danmark for temperatur, relativ luftfugtighed, vindhastighed, globalstråling og nedbør. Teknisk Rapport 12-23. www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr12-23.pdf.

DMI (2013). Catalogue of Meteorological Stations in Denmark: Overview of Observation Sites and Parameters by January 2013. Technical Report 13-13. https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr13-13.pdf

DMI (2015a). Danmarks klima 2014. Teknisk rapport 15-01. www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2015/Tr15-01.pdf.

DMI (2015b). Denmark - DMI Historical Climate Data Collection 1768-2014. Technical Report 15-02.
https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2015/tr15-02.pdf.

Grell, G. A., Dudhia, J. and Stauffer, D. R. 1995: A description of the fifthgeneration Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), Mesocale and Microscale Meteorology Division, National Centre for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR, pp. 114.

Janjic, Z. I., 1994: "The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer and Turbulence Closure Schemes." Monthly Weather Review, May 1994, pp. 927-945.

Løfstrøm, P. & Olesen, H.R. 2008: OML-beregninger på basis af 10 års meteorologi i relation til Luftvejledningen. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 35 s. Faglig rapport fra DMU nr. 697. www.dmu.dk/FR697.pdf.

MM5. http://www2.mmm.ucar.edu/mm5/.

MST 2001. Luftvejledningen - Begrænsning af luftforurening fra virksomheder. Vejledning fra miljøstyrelsen Nr. 2, 2001.

MST 2016. Vejledning om B-værdier. Vejledning fra miljøstyrelsen Nr. 20, 2016.

Olesen, H. R. and Brown, N. (1988): The OML meteorological preprocessor - a software package for the preparation of meteorological data for dispersion models. National Environmental Research Institute. MST LUFT-A 122.

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.

Olesen, H. R., Jensen, A. B. and Brown, N. (1987): An operational procedure for mixing height estimation. National Environmental Research Institute. MST LUFT-A 96.

Risø hjemmeside, DTU Wind Energy. http://vind-ponline01.win.dtu.dk/-rodeo/ProjectListText.aspx?&Rnd=72440.

Skamarock, W. C., J. B., Klemp, J. Dudhia, D. O., Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang and J. G. Powers, 2008: "A Description of the Advanced Research WRF version 3". NCAR Tech Note NCAR/TN-475+STR, 113p. doi:10.5065/D68S4MVH

WRF. https://ral.ucar.edu/solutions/products/weather-research-and-forecasting-model-wrf.

Bilag

Tabel B1. Radius (m) af de 15 receptorringe i de cirkulære receptornet anvendt i OML-beregninger.

Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
5/5	10/10	10/0	30/30	30/0	60/0	100/0
10	20	20	60	60	50	200
20	30	40	80	80	100	300
30	40	50	100	100	150	400
40	50	60	125	125	200	500
50	60	80	150	150	250	600
60	80	100	200	200	300	700
70	100	125	250	250	400	800
80	120	150	300	300	500	1000
90	140	200	350	350	600	1250
100	150	250	400	400	700	1500
110	160	300	500	500	800	1750
120	180	350	600	600	1000	2000
130	200	400	800	800	1200	2250
140	220	500	1000	1000	1400	2500
150	250	600	1500	1500	1600	3000

Tabel B2. Afstand (m) til den *maksimale månedlige 99 %-fraktil* for 7 konstruerede punktkilder for 10 års meteorologiske datasæt for en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

	Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
Lokalitet	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**
Aalborg	10	20	40	60	100	150	500
E-W-1	10	20	50	60	125	250	700
E-W-2	10	20	50	60	100	200	700
E-W-3	10	20	50	60	100	200	700
E-W-4	10	20	50	60	80	200	600
E-W-5	10	20	40	60	100	200	500
E-W-6	10	20	40	60	80	150	600
E-W-7	10	20	40	60	100	200	700
E-W-8	10	20	40	60	100	200	1000
Vendsyssel	10	20	40	60	100	200	800
Himmerland	10	20	40	60	100	200	700
Karup	10	20	40	60	100	200	600
E-W-5	10	20	40	60	100	200	500
Sønderjylland	10	20	40	60	100	150	600
E-W-5	10	20	40	60	100	200	500
Beldringe, Fyn	10	20	50	60	80	150	700
Midtsjælland	10	20	80	60	100	150	600
Bornholm	10	20	50	60	100	200	1000
E-W-1	10	20	50	60	125	250	700
E-W-2	10	20	50	60	100	200	700
Thy	10	20	40	60	100	250	1000
Samsø	10	20	40	60	80	150	1250

Tabel B3. **Retning** (grader) til den *maksimale månedlige 99 %-fraktil* for 7 konstruerede punktkilder for 10 års meteorologiske datasæt for en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

	Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
Lokalitet	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**
Aalborg	230	0	50	300	50	50	60
E-W-1	280	240	60	120	110	110	110
E-W-2	220	200	90	310	70	120	140
E-W-3	220	320	90	300	40	40	120
E-W-4	330	210	240	300	110	110	120
E-W-5	340	60	170	240	130	180	160
E-W-6	210	350	10	200	130	130	290
E-W-7	310	210	130	320	310	320	280
E-W-8	320	130	270	140	270	310	250
Vendsyssel	230	70	60	70	80	320	180
Himmerland	0	190	110	350	100	30	110
Karup	350	80	120	180	60	60	100
E-W-5	340	60	170	240	130	180	160
Sønderjylland	320	0	150	0	320	320	130
E-W-5	340	60	170	240	130	180	160
Beldringe, Fyn	60	110	350	350	120	120	280
Midtsjælland	230	300	260	320	140	160	70
Bornholm	300	100	160	60	230	230	60
E-W-1	280	240	60	120	110	110	110
E-W-2	220	200	90	310	70	120	140
Thy	300	280	110	350	120	120	140
Samsø	230	10	290	130	120	310	250

Tabel B4. Den *maksimale månedlige 99 %-fraktil* blandt 36 retninger i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***5 m punktkilde med bygning*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**Midd.**
Aalborg	99	100	100	99	100	102	103	102	100	102	103	103	103	98	92	100
E-W-1	101	101	99	99	100	103	104	104	105	110	114	115	116	114	109	106
E-W-2	100	100	99	100	101	102	104	105	103	106	108	110	111	108	103	104
E-W-3	100	100	99	100	102	106	108	110	112	117	121	122	124	118	110	110
E-W-4	102	101	99	99	102	106	112	120	119	120	122	123	126	119	110	112
E-W-5	102	101	100	100	107	110	113	117	115	118	120	120	120	114	108	111
E-W-6	100	101	99	100	101	103	105	113	114	122	126	127	127	122	114	112
E-W-7	101	102	99	99	100	103	104	108	109	113	120	124	126	121	112	109
E-W-8	101	101	99	100	100	102	104	107	105	106	108	109	114	112	106	105
Vendsyssel	101	101	100	99	102	104	105	107	107	109	111	113	117	114	108	107
Himmerland	102	101	100	100	100	102	104	107	105	106	108	108	110	106	102	104
Karup	101	101	99	100	100	101	104	107	103	105	109	108	111	107	100	104
E-W-5	102	101	100	100	107	110	113	117	115	118	120	120	120	114	108	111
Sønderjylland	100	101	99	99	100	102	104	104	101	103	105	109	111	107	102	103
E-W-5	102	101	100	100	107	110	113	117	115	118	120	120	120	114	108	111
Beldringe, Fyn	99	101	100	100	101	102	102	105	103	106	108	109	110	107	101	104
Midtsjælland	101	100	100	100	101	102	102	104	102	104	108	108	110	106	100	103
Bornholm	101	100	99	100	102	106	110	114	113	115	118	119	120	114	106	109
E-W-1	101	101	99	99	100	103	104	104	105	110	114	115	116	114	109	106
E-W-2	100	100	99	100	101	102	104	105	103	106	108	110	111	108	103	104
Thy	102	101	100	99	101	104	105	107	107	109	111	111	112	107	101	105
Samsø	100	100	99	99	98	102	105	109	107	110	116	119	124	121	115	108
max	102	102	100	100	107	110	113	120	119	122	126	127	127	122	115	114
middel*	101	101	99	100	101	104	106	109	108	111	114	115	117	113	106	107
min	99	100	99	99	98	101	102	104	101	103	105	108	110	106	100	102

*Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang

Tabel B5. Gennemsnit for 36 retninger af de *maksimale månedlige 99 %-fraktil* i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***5 m punktkilde med bygning*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**Midd.**
Aalborg	94	95	94	94	95	97	96	97	94	94	94	94	94	89	83	94
E-W-1	94	96	95	95	96	97	97	97	95	97	98	98	100	97	91	96
E-W-2	95	96	96	96	97	98	99	100	97	99	100	100	101	97	91	97
E-W-3	95	96	96	96	97	98	99	100	98	100	102	102	103	99	93	98
E-W-4	96	97	96	96	98	99	100	101	98	100	101	101	102	98	92	98
E-W-5	96	97	96	97	98	99	100	101	99	101	102	103	104	100	94	99
E-W-6	96	96	96	96	98	99	100	102	99	101	102	102	104	100	94	99
E-W-7	95	96	96	96	97	98	99	101	99	101	102	102	104	99	93	99
E-W-8	95	96	95	95	96	98	98	99	96	98	99	100	101	97	92	97
Vendsyssel	95	96	95	96	97	99	100	101	99	101	102	103	104	100	94	99
Himmerland	95	96	96	96	97	98	99	100	97	99	100	100	102	98	92	98
Karup	95	97	96	96	97	98	99	100	97	98	99	99	100	96	89	97
E-W-5	96	97	96	97	98	99	100	101	99	101	102	103	104	100	94	99
Sønderjylland	95	96	95	96	97	99	99	100	98	99	100	101	102	98	91	98
E-W-5	96	97	96	97	98	99	100	101	99	101	102	103	104	100	94	99
Beldringe, Fyn	94	95	94	95	96	97	98	98	96	97	98	99	100	95	89	96
Midtsjælland	95	96	95	96	97	98	99	100	97	99	100	101	102	98	92	98
Bornholm	94	95	95	96	98	100	101	103	100	102	103	104	105	101	94	99
E-W-1	94	96	95	95	96	97	97	97	95	97	98	98	100	97	91	96
E-W-2	95	96	96	96	97	98	99	100	97	99	100	100	101	97	91	97
Thy	94	96	95	95	96	97	98	99	97	98	100	100	101	97	91	97
Samsø	92	93	93	93	94	96	97	98	95	97	98	99	101	97	92	96
max	96	97	96	97	98	100	101	103	100	102	103	104	105	101	94	100
middel*	95	96	95	96	97	98	99	100	97	99	100	101	102	98	92	98
min	92	93	93	93	94	96	97	97	95	97	98	98	100	95	89	95

* Aalborg indgår ikke og gentagne lokaliteter indgår kun én gang

Tabel B6. Den *maksimale månedlige 99 %-fraktil* blandt 36 retninger i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***10 m punktkilde med bygning*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**80**	**100**	**120**	**140**	**150**	**160**	**180**	**200**	**220**	**250**	**Midd.**
Aalborg	115	130	139	141	137	121	110	105	101	103	103	103	104	104	103	115
E-W-1	165	181	193	200	207	214	222	219	210	207	200	188	175	163	148	193
E-W-2	148	163	177	181	184	191	197	201	203	206	205	200	187	176	160	185
E-W-3	161	179	188	194	198	202	200	193	184	181	176	166	155	145	132	177
E-W-4	188	199	198	203	211	216	249	256	255	251	242	233	217	202	182	220
E-W-5	162	181	193	198	202	201	203	197	190	189	183	173	162	150	136	181
E-W-6	191	206	214	217	225	232	237	230	224	224	219	215	206	197	184	215
E-W-7	183	202	212	216	216	225	234	228	222	221	216	205	192	179	160	207
E-W-8	152	168	178	184	188	196	202	192	181	179	176	165	157	147	134	173
Vendsyssel	186	196	201	209	221	238	252	250	242	238	231	215	199	184	163	215
Himmerland	163	185	195	203	205	217	224	215	203	200	193	181	167	154	138	190
Karup	166	185	197	204	213	217	218	217	208	206	198	186	174	161	145	193
E-W-5	162	181	193	198	202	201	203	197	190	189	183	173	162	150	136	181
Sønderjylland	191	210	219	226	230	237	246	240	230	228	222	210	196	184	167	216
E-W-5	162	181	193	198	202	201	203	197	190	189	183	173	162	150	136	181
Beldringe, Fyn	179	176	182	191	193	199	210	218	214	212	205	192	178	165	147	191
Midtsjælland	183	192	198	203	205	215	222	220	213	212	209	198	184	172	156	199
Bornholm	128	135	139	145	144	163	192	185	173	176	175	164	158	152	143	158
E-W-1	165	181	193	200	207	214	222	219	210	207	200	188	175	163	148	193
E-W-2	148	163	177	181	184	191	197	201	203	206	205	200	187	176	160	185
Thy	183	200	208	215	220	237	258	248	230	228	222	216	206	193	179	216
Samsø	158	163	165	169	174	193	213	202	190	186	179	167	155	143	129	172
max	191	210	219	226	230	238	258	256	255	251	242	233	217	202	184	227
middel*	170	184	192	198	202	211	222	218	210	208	203	193	180	169	153	194
min	128	135	139	145	144	163	192	185	173	176	175	164	155	143	129	156

*Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang

Tabel B7. Gennemsnit for 36 retninger af de *maksimale månedlige 99 %-fraktil* i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***10 m punktkilde med bygning*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**80**	**100**	**120**	**140**	**150**	**160**	**180**	**200**	**220**	**250**	**Midd.**
Aalborg	100	102	104	103	101	100	101	98	98	100	99	100	100	100	99	100
E-W-1	111	122	128	130	131	134	135	130	125	124	121	116	111	106	100	122
E-W-2	114	127	134	136	137	141	144	139	132	131	128	122	115	110	103	128
E-W-3	116	130	138	141	141	143	145	139	132	130	126	120	114	108	101	128
E-W-4	122	137	144	147	149	152	156	150	142	141	137	130	123	117	109	137
E-W-5	120	136	144	148	150	152	155	148	140	138	134	127	120	113	105	135
E-W-6	129	145	153	157	158	161	165	158	150	148	143	136	128	121	112	144
E-W-7	114	127	134	136	139	142	145	141	134	133	129	122	116	111	104	128
E-W-8	109	120	126	128	129	130	133	129	124	124	121	115	109	104	99	120
Vendsyssel	112	123	130	132	132	133	135	129	125	125	123	119	114	109	104	123
Himmerland	120	134	142	145	147	151	154	148	141	140	136	129	121	114	106	135
Karup	122	135	143	146	150	156	159	154	147	146	142	134	126	119	110	139
E-W-5	120	136	144	148	150	152	155	148	140	138	134	127	120	113	105	135
Sønderjylland	127	140	149	153	154	159	162	155	146	145	141	134	126	119	110	141
E-W-5	120	136	144	148	150	152	155	148	140	138	134	127	120	113	105	135
Beldringe, Fyn	115	127	134	136	137	140	144	140	134	132	129	123	117	112	105	128
Midtsjælland	122	135	141	144	145	149	153	149	143	141	138	132	125	118	110	136
Bornholm	98	105	109	110	111	113	117	114	111	112	111	109	106	103	100	109
E-W-1	111	122	128	130	131	134	135	130	125	124	121	116	111	106	100	122
E-W-2	114	127	134	136	137	141	144	139	132	131	128	122	115	110	103	128
Thy	109	121	127	128	129	130	134	130	126	125	122	118	112	107	101	121
Samsø	102	112	117	119	119	121	123	119	114	113	111	108	104	100	96	112
max	129	145	153	157	158	161	165	158	150	148	143	136	128	121	112	144
middel*	115	128	135	137	139	142	145	140	133	132	129	123	117	111	104	129
min	98	105	109	110	111	113	117	114	111	112	111	108	104	100	96	108

* Aalborg indgår ikke og gentagne lokaliteter indgår kun én gang

Tabel B8. Den *maksimale månedlige 99 %-fraktil* blandt 36 retninger i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***10 m punktkilde uden bygning*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**20**	**40**	**50**	**60**	**80**	**100**	**125**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**500**	**600**	**Midd.**
Aalborg	154	192	152	130	129	114	114	112	106	105	97	97	97	98	100	120
E-W-1	56	121	121	127	121	134	150	171	183	180	159	137	118	94	87	131
E-W-2	91	118	119	121	129	142	155	171	176	170	152	135	122	104	93	133
E-W-3	76	120	122	123	128	138	166	181	190	187	165	141	122	97	86	136
E-W-4	91	117	119	124	133	138	147	160	185	198	188	165	143	115	97	141
E-W-5	84	135	123	125	126	143	161	172	175	182	162	139	119	95	85	135
E-W-6	97	134	123	124	123	136	159	173	195	201	201	176	153	128	111	149
E-W-7	66	122	111	120	123	143	167	177	198	200	181	155	135	108	93	140
E-W-8	79	131	122	118	124	136	158	165	173	171	158	136	118	96	87	131
Vendsyssel	61	120	112	118	124	141	156	164	181	185	171	150	131	104	89	134
Himmerland	65	134	117	121	123	137	159	173	183	185	164	140	121	96	90	134
Karup	90	124	111	123	123	138	150	159	186	188	168	145	135	113	97	137
E-W-5	84	135	123	125	126	143	161	172	175	182	162	139	119	95	85	135
Sønderjylland	88	127	117	124	133	153	174	189	220	220	200	173	151	122	104	153
E-W-5	84	135	123	125	126	143	161	172	175	182	162	139	119	95	85	135
Beldringe, Fyn	83	129	126	120	111	125	151	161	180	186	167	143	127	110	94	134
Midtsjælland	74	113	113	119	135	135	159	170	195	198	179	161	145	118	100	141
Bornholm	85	125	123	114	116	133	138	142	152	169	160	137	119	101	90	127
E-W-1	56	121	121	127	121	134	150	171	183	180	159	137	118	94	87	131
E-W-2	91	118	119	121	129	142	155	171	176	170	152	135	122	104	93	133
Thy	64	129	113	115	125	142	155	169	203	202	206	189	180	160	142	153
Samsø	122	161	137	124	120	129	143	159	175	171	151	129	111	93	88	134
max	122	161	137	127	135	153	174	189	220	220	206	189	180	160	142	168
middel*	81	127	119	121	125	138	156	168	185	188	172	150	132	109	96	138
min	56	113	111	114	111	125	138	142	152	169	151	129	111	93	85	120

*Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang

Tabel B9. Gennemsnit for 36 retninger af de *maksimale månedlige 99 %-fraktil* i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***10 m punktkilde uden bygning*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**20**	**40**	**50**	**60**	**80**	**100**	**125**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**500**	**600**	**Midd.**
Aalborg	97	115	104	102	100	100	99	98	97	94	88	86	87	89	90	96
E-W-1	32	94	98	103	106	112	118	120	124	124	114	103	94	85	80	100
E-W-2	38	95	97	103	109	117	123	127	130	127	117	106	97	88	83	104
E-W-3	40	96	96	104	111	119	128	131	132	129	117	105	96	87	82	105
E-W-4	48	100	99	105	110	118	127	131	137	135	124	110	99	88	82	108
E-W-5	52	104	99	104	110	120	129	134	138	134	121	108	97	86	81	108
E-W-6	49	102	100	106	111	120	131	138	144	142	129	113	102	88	82	110
E-W-7	44	94	96	102	105	114	124	128	132	129	119	108	99	89	84	104
E-W-8	49	102	97	101	103	109	116	120	123	122	113	103	95	87	82	101
Vendsyssel	40	99	96	102	107	113	120	122	125	125	117	106	98	88	83	103
Himmerland	42	97	94	101	107	116	127	134	138	134	121	107	98	88	84	106
Karup	52	102	97	105	109	117	126	133	139	137	125	110	99	88	82	108
E-W-5	52	104	99	104	110	120	129	134	138	134	121	108	97	86	81	108
Sønderjylland	49	99	96	103	108	119	130	137	142	139	126	111	99	88	83	109
E-W-5	52	104	99	104	110	120	129	134	138	134	121	108	97	86	81	108
Beldringe, Fyn	59	100	97	101	101	109	116	121	128	129	121	110	100	89	84	104
Midtsjælland	50	97	97	102	106	113	122	129	136	135	125	112	103	91	85	107
Bornholm	47	98	97	99	101	105	108	109	112	115	111	104	96	87	83	98
E-W-1	32	94	98	103	106	112	118	120	124	124	114	103	94	85	80	100
E-W-2	38	95	97	103	109	117	123	127	130	127	117	106	97	88	83	104
Thy	35	93	95	100	106	112	118	121	123	123	116	105	97	88	83	101
Samsø	93	121	106	101	101	105	110	113	116	117	111	102	95	86	82	104
max	93	121	106	106	111	120	131	138	144	142	129	113	103	91	85	116
middel*	48	100	97	102	107	114	122	126	131	129	119	107	98	88	83	105
min	32	93	94	99	101	105	108	109	112	115	111	102	94	85	80	96

* Aalborg indgår ikke og gentagne lokaliteter indgår kun én gang.

Tabel B10. Den *maksimale månedlige 99 %-fraktil* blandt 36 retninger i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***30 m punktkilde med bygning*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**60**	**80**	**100**	**125**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**500**	**600**	**800**	**1000**	**1500**	**Midd.**
Aalborg	107	108	108	114	118	118	110	107	104	104	104	104	103	103	102	108
E-W-1	141	148	154	156	159	170	174	174	172	170	159	144	115	108	100	150
E-W-2	132	140	146	150	152	157	154	155	157	156	150	139	114	108	100	141
E-W-3	133	143	149	151	153	158	163	166	167	167	158	147	120	107	100	145
E-W-4	144	152	158	157	161	166	165	163	162	169	166	157	132	109	100	151
E-W-5	134	143	148	150	152	158	164	163	162	161	170	165	140	118	100	149
E-W-6	152	158	162	163	165	170	177	174	174	180	177	164	136	123	107	159
E-W-7	141	152	159	163	168	181	178	175	184	187	179	166	136	113	98	159
E-W-8	141	148	155	156	161	174	179	179	176	175	169	157	130	108	100	154
Vendsyssel	131	144	153	153	152	154	159	159	157	155	150	143	124	107	100	143
Himmerland	148	155	160	163	166	178	184	183	179	181	171	157	127	106	101	157
Karup	161	156	154	148	150	157	156	153	150	143	151	150	137	128	110	147
E-W-5	134	143	148	150	152	158	164	163	162	161	170	165	140	118	100	149
Sønderjylland	187	183	178	179	183	186	187	188	188	187	184	172	148	137	115	173
E-W-5	134	143	148	150	152	158	164	163	162	161	170	165	140	118	100	149
Beldringe, Fyn	145	152	156	155	156	159	165	169	170	170	167	159	133	113	101	151
Midtsjælland	172	180	181	181	181	188	184	190	192	184	168	162	142	120	105	169
Bornholm	117	119	119	121	122	121	123	124	125	124	121	114	109	103	109	118
E-W-1	141	148	154	156	159	170	174	174	172	170	159	144	115	108	100	150
E-W-2	132	140	146	150	152	157	154	155	157	156	150	139	114	108	100	141
Thy	165	169	169	168	169	169	159	155	149	156	154	142	117	105	100	150
Samsø	116	123	122	126	130	137	138	137	136	135	140	131	110	103	99	126
max	187	183	181	181	183	188	187	190	192	187	184	172	148	137	115	174
middel*	145	151	154	155	158	164	165	165	165	165	161	151	128	113	103	149
min	116	119	119	121	122	121	123	124	125	124	121	114	109	103	98	117

*Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang

Tabel B11. Gennemsnit for 36 retninger af de *maksimale månedlige 99 %-fraktil* i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***30 m punktkilde med bygning*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**60**	**80**	**100**	**125**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**500**	**600**	**800**	**1000**	**1500**	**Midd.**
Aalborg	102	100	100	99	99	100	99	98	98	98	98	98	97	96	96	99
E-W-1	101	105	107	108	109	114	114	114	114	114	112	109	103	100	95	108
E-W-2	105	109	113	115	117	121	122	122	120	119	116	110	103	100	96	113
E-W-3	104	109	113	114	116	121	122	122	121	120	117	112	104	101	97	113
E-W-4	107	111	115	117	119	123	124	123	122	121	119	113	106	101	97	115
E-W-5	106	111	116	118	120	125	127	128	127	126	122	116	106	101	97	116
E-W-6	111	116	121	124	127	132	132	131	129	129	124	117	108	103	97	120
E-W-7	99	103	106	108	111	117	118	117	116	115	111	107	102	100	96	108
E-W-8	98	102	105	106	108	112	113	112	111	110	110	108	103	99	95	106
Vendsyssel	104	107	109	110	112	116	117	117	116	115	112	109	103	101	97	110
Himmerland	105	110	114	116	119	124	126	126	126	125	120	115	106	101	97	115
Karup	108	112	115	117	119	124	124	123	121	120	118	113	106	103	98	115
E-W-5	106	111	116	118	120	125	127	128	127	126	122	116	106	101	97	116
Sønderjylland	110	115	118	120	121	125	126	126	125	124	121	115	106	103	98	117
E-W-5	106	111	116	118	120	125	127	128	127	126	122	116	106	101	97	116
Beldringe, Fyn	104	108	110	111	112	116	117	115	114	114	114	110	104	101	97	110
Midtsjælland	109	114	118	120	121	127	127	126	125	124	120	114	105	102	97	117
Bornholm	95	97	98	98	98	102	102	102	102	102	102	102	100	99	97	100
E-W-1	101	105	107	108	109	114	114	114	114	114	112	109	103	100	95	108
E-W-2	105	109	113	115	117	121	122	122	120	119	116	110	103	100	96	113
Thy	98	101	104	106	108	112	113	112	112	112	110	107	102	100	96	106
Samsø	93	96	98	99	100	104	106	106	105	105	105	103	100	99	95	101
max	111	116	121	124	127	132	132	131	129	129	124	117	108	103	98	120
middel*	103	107	111	112	114	119	119	119	118	117	115	111	104	101	97	111
min	93	96	98	98	98	102	102	102	102	102	102	102	100	99	95	99

* Aalborg indgår ikke og gentagne lokaliteter indgår kun én gang

Tabel B12. Den *maksimale månedlige 99 %-fraktil* blandt 36 retninger i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***60 m punktkilde*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**	**1000**	**1200**	**1400**	**1600**	**Midd.**
Aalborg	376	171	149	123	135	136	116	128	134	130	126	108	105	107	110	144
E-W-1	3	41	80	97	110	106	100	107	120	134	126	117	122	138	146	103
E-W-2	9	80	111	110	114	107	94	102	116	123	119	123	130	141	149	109
E-W-3	13	80	118	118	117	103	94	106	119	132	127	126	125	139	145	111
E-W-4	75	88	119	116	110	104	104	105	112	129	126	128	126	131	136	114
E-W-5	26	104	129	127	120	105	97	111	114	123	120	127	128	137	140	114
E-W-6	111	103	147	128	117	109	109	120	116	125	126	123	120	127	131	121
E-W-7	19	86	126	124	118	105	110	115	116	120	112	113	111	116	119	107
E-W-8	7	62	116	121	131	127	108	114	122	123	118	116	115	127	133	109
Vendsyssel	31	55	104	109	117	114	106	116	126	124	121	113	113	126	136	107
Himmerland	13	65	98	113	121	109	103	112	121	127	118	114	114	124	135	106
Karup	65	110	123	122	115	112	98	105	112	123	122	115	110	121	128	112
E-W-5	26	104	129	127	120	105	97	111	114	123	120	127	128	137	140	114
Sønderjylland	90	127	147	126	123	117	106	109	118	121	117	113	119	129	135	120
E-W-5	26	104	129	127	120	105	97	111	114	123	120	127	128	137	140	114
Beldringe, Fyn	708	186	134	110	117	105	107	108	110	111	111	111	109	120	118	158
Midtsjælland	64	121	151	130	131	113	100	112	111	115	116	107	108	122	129	115
Bornholm	50	119	123	127	131	119	106	106	116	119	111	110	103	105	106	110
E-W-1	3	41	80	97	110	106	100	107	120	134	126	117	122	138	146	103
E-W-2	9	80	111	110	114	107	94	102	116	123	119	123	130	141	149	109
Thy	8	35	92	108	124	111	117	122	123	126	118	110	105	124	124	103
Samsø	157	166	160	137	132	125	145	163	177	181	169	153	143	144	145	153
max	708	186	160	137	132	127	145	163	177	181	169	153	143	144	149	192
middel*	85	96	122	119	120	111	106	114	121	127	122	119	118	128	133	116
min	3	35	80	97	110	103	94	102	110	111	111	107	103	105	106	92

*Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang.

Tabel B13. Gennemsnit for 36 retninger af de *maksimale månedlige 99 %-fraktil* i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***60 m punktkilde*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**	**1000**	**1200**	**1400**	**1600**	**Midd.**
Aalborg	162	89	96	94	98	94	85	89	95	100	98	95	90	90	89	98
E-W-1	0	13	46	67	84	86	84	88	98	106	105	103	99	102	103	79
E-W-2	4	21	54	73	87	87	84	89	99	108	107	103	98	99	99	81
E-W-3	5	25	62	80	91	87	85	89	99	109	108	106	101	104	105	84
E-W-4	17	38	75	87	96	89	84	90	99	108	107	106	101	103	104	87
E-W-5	8	41	78	91	99	91	84	89	99	108	106	106	102	105	107	88
E-W-6	28	43	78	89	96	90	87	93	99	108	107	104	100	101	102	88
E-W-7	5	36	67	82	91	88	84	89	98	105	104	101	96	98	99	83
E-W-8	2	35	72	89	99	93	86	89	98	106	104	101	96	98	98	84
Vendsyssel	6	24	63	84	99	96	89	93	99	105	102	100	95	97	98	83
Himmerland	4	31	69	86	96	91	84	89	98	106	104	101	96	98	100	84
Karup	14	49	82	90	96	91	84	88	97	107	106	102	97	99	100	87
E-W-5	8	41	78	91	99	91	84	89	99	108	106	106	102	105	107	88
Sønderjylland	21	50	80	89	98	90	85	91	99	108	106	103	97	100	100	88
E-W-5	8	41	78	91	99	91	84	89	99	108	106	106	102	105	107	88
Beldringe, Fyn	137	77	89	89	95	90	85	88	95	104	102	100	94	95	94	96
Midtsjælland	22	58	89	95	100	93	86	89	97	105	103	100	94	96	97	88
Bornholm	21	43	75	89	100	96	90	93	99	104	101	98	93	94	94	86
E-W-1	0	13	46	67	84	86	84	88	98	106	105	103	99	102	103	79
E-W-2	4	21	54	73	87	87	84	89	99	108	107	103	98	99	99	81
Thy	1	15	49	71	88	88	88	93	100	106	104	100	95	97	98	80
Samsø	94	102	118	114	114	103	93	95	101	107	104	101	96	97	97	102
max	137	102	118	114	114	103	93	95	101	109	108	106	102	105	107	108
middel*	23	41	73	86	96	91	86	90	98	106	105	102	97	99	100	86
min	0	13	46	67	84	86	84	88	95	104	101	98	93	94	94	76

* Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang.

Tabel B14. Den *maksimale månedlige 99 %-fraktil* blandt 36 retninger i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***100 m punktkilde*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**	**1000**	**1250**	**1500**	**1750**	**2000**	**2250**	**2500**	**3000**	**Midd.**
Aalborg	107	112	111	103	108	107	107	101	105	104	104	101	102	102	100	105
E-W-1	53	79	88	98	111	126	121	125	141	132	129	125	131	135	143	116
E-W-2	73	87	89	95	109	121	119	107	112	103	110	114	123	128	135	108
E-W-3	86	100	104	99	109	120	116	106	107	103	103	103	105	104	115	105
E-W-4	93	99	97	99	110	117	114	104	107	102	112	116	119	118	115	108
E-W-5	88	96	99	101	106	113	110	105	109	103	104	105	108	112	117	105
E-W-6	115	95	98	101	109	115	113	108	114	106	108	107	113	116	118	109
E-W-7	78	94	97	101	111	120	117	111	125	116	111	110	117	123	130	111
E-W-8	68	86	94	102	115	126	142	156	172	157	148	140	136	131	128	127
Vendsyssel	69	80	88	88	103	113	117	105	112	104	110	117	122	126	127	105
Himmerland	65	90	95	94	103	115	114	104	108	102	105	106	105	113	122	103
Karup	131	102	99	98	113	118	111	102	108	104	105	106	108	109	112	108
E-W-5	88	96	99	101	106	113	110	105	109	103	104	105	108	112	117	105
Sønderjylland	75	87	94	97	111	115	111	105	109	103	102	104	105	108	118	103
E-W-5	88	96	99	101	106	113	110	105	109	103	104	105	108	112	117	105
Beldringe, Fyn	189	137	122	108	116	127	122	109	113	104	104	103	103	103	103	118
Midtsjælland	74	80	89	98	107	113	111	103	108	102	105	105	107	106	107	101
Bornholm	85	97	104	101	110	118	118	122	139	135	136	133	132	136	138	120
E-W-1	53	79	88	98	111	126	121	125	141	132	129	125	131	135	143	116
E-W-2	73	87	89	95	109	121	119	107	112	103	110	114	123	128	135	108
Thy	40	69	84	93	107	117	120	131	140	128	125	118	120	124	137	110
Samsø	114	97	100	103	115	119	119	129	155	143	142	139	138	142	145	127
max	189	137	122	108	116	127	142	156	172	157	148	140	138	142	145	143
middel*	88	93	97	99	110	118	117	114	122	115	115	115	117	120	124	111
min	40	69	84	88	103	113	110	102	107	102	102	103	103	103	103	95

*Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang.

Tabel B15. Gennemsnit for 36 retninger af de *maksimale månedlige 99 %-fraktil* i hver receptor-radius for 10 års meteorologiske datasæt. Værdierne er for hver radius normeret, således at 100 (arbitrær enhed) svarer til den maksimale månedlige 99 %-fraktil for Kastrup 1976 for alle retninger (konservativ). For ***100 m punktkilde*** og en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

Radius (m)	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**	**1000**	**1250**	**1500**	**1750**	**2000**	**2250**	**2500**	**3000**	**Midd.**
Aalborg	49	58	65	72	83	91	90	87	95	91	92	91	91	90	86	82
E-W-1	20	42	58	73	92	102	102	99	107	103	103	102	102	102	103	87
E-W-2	27	48	62	74	91	101	101	95	101	97	98	97	98	97	95	85
E-W-3	37	57	69	78	92	102	101	94	100	97	97	96	97	96	94	87
E-W-4	40	58	71	82	95	102	100	93	99	97	98	97	97	96	93	88
E-W-5	41	59	71	80	93	101	99	92	99	97	97	96	97	96	96	88
E-W-6	42	59	71	82	94	101	99	93	100	98	99	98	99	98	96	89
E-W-7	45	63	74	85	97	104	102	95	101	98	99	98	100	99	100	91
E-W-8	33	55	70	81	95	103	102	97	106	103	103	102	102	102	103	90
Vendsyssel	29	48	64	77	93	103	103	96	100	97	97	96	97	96	95	86
Himmerland	25	49	65	77	91	100	101	94	99	97	98	97	98	97	96	86
Karup	43	62	73	82	96	103	101	93	99	96	96	95	96	95	94	88
E-W-5	41	59	71	80	93	101	99	92	99	97	97	96	97	96	96	88
Sønderjylland	38	58	72	81	94	101	100	92	99	97	96	95	96	95	94	87
E-W-5	41	59	71	80	93	101	99	92	99	97	97	96	97	96	96	88
Beldringe, Fyn	95	88	89	92	102	107	104	95	100	97	97	96	96	95	92	96
Midtsjælland	35	57	71	81	95	103	102	94	100	97	98	96	97	96	93	88
Bornholm	27	48	64	78	94	104	105	101	109	104	104	103	105	106	107	91
E-W-1	20	42	58	73	92	102	102	99	107	103	103	102	102	102	103	87
E-W-2	27	48	62	74	91	101	101	95	101	97	98	97	98	97	95	85
Thy	16	38	56	72	91	102	103	99	106	102	102	100	101	101	102	86
Samsø	61	73	82	91	103	110	107	100	107	104	106	107	111	113	116	99
max	95	88	89	92	103	110	107	101	109	104	106	107	111	113	116	103
middel*	38	57	70	80	95	103	102	95	102	99	99	98	99	99	98	89
min	16	38	56	72	91	100	99	92	99	96	96	95	96	95	92	82

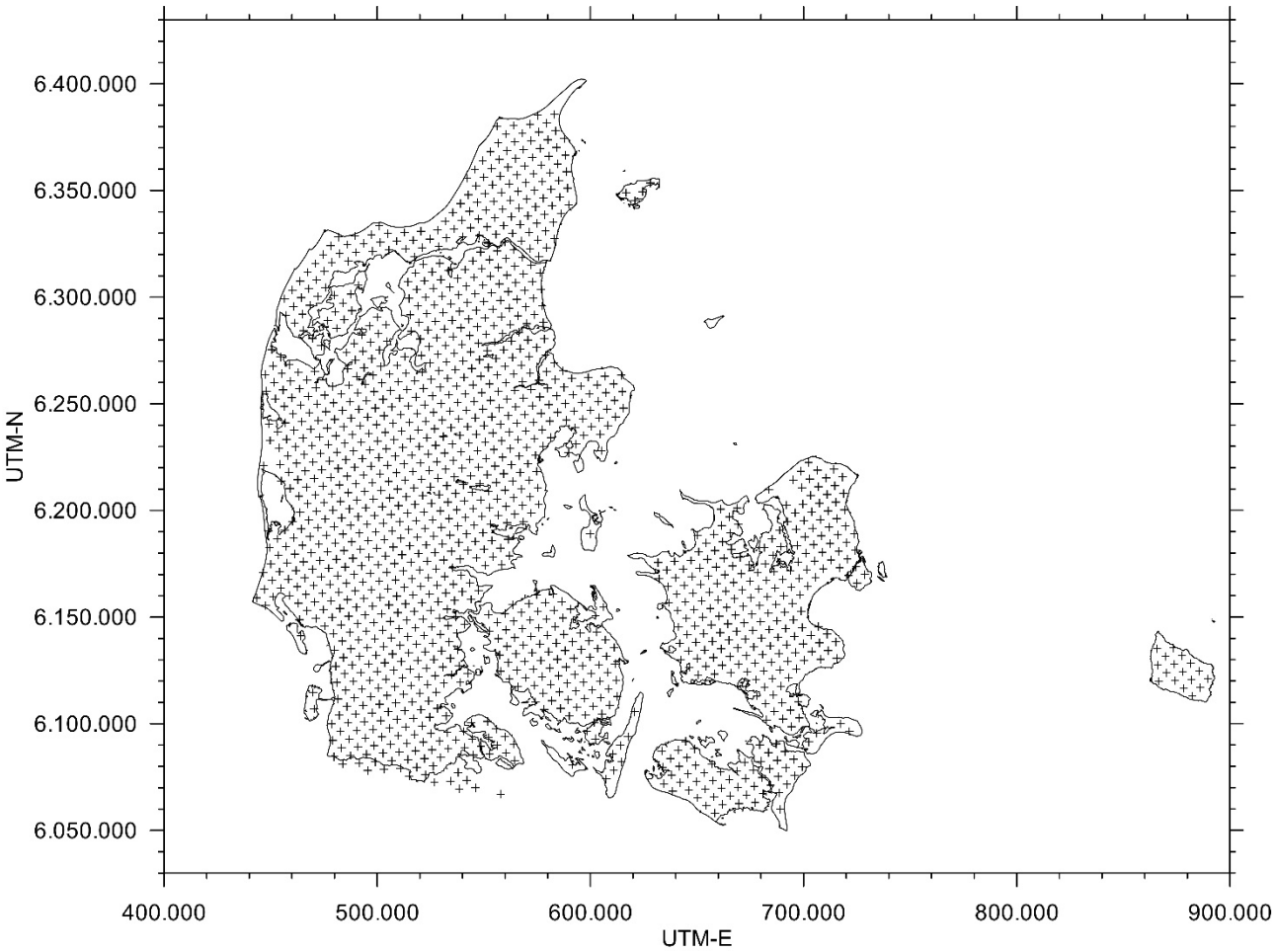
* Aalborg indgår ikke, og gentagne lokaliteter indgår kun én gang.

Tabel B16. Afstand (m) til den maksimale *middelværdi* for 7 konstruerede punktkilder for 10 års meteorologiske datasæt for en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

	Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
Lokalitet	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**
Aalborg	10	20	60	60	250	600	1250
E-W-1	10	20	60	60	250	500	1250
E-W-2	10	20	60	60	250	500	1000
E-W-3	10	20	60	60	250	500	1000
E-W-4	10	20	60	60	250	500	1250
E-W-5	10	20	60	60	250	600	1250
E-W-6	10	20	60	60	250	600	1250
E-W-7	10	20	60	60	250	600	1250
E-W-8	10	20	60	60	250	600	1250
Vendsyssel	10	20	60	60	250	500	1000
Himmerland	10	20	60	60	250	500	1250
Karup	10	20	60	60	250	600	1250
E-W-5	10	20	60	60	250	600	1250
Sønderjylland	10	20	60	60	250	500	1250
E-W-5	10	20	60	60	250	600	1250
Beldringe, Fyn	10	20	60	60	250	500	1000
Midtsjælland	10	20	60	60	250	500	1000
Bornholm	10	20	60	60	250	500	1000
E-W-1	10	20	60	60	250	500	1250
E-W-2	10	20	60	60	250	500	1000
Thy	10	20	60	60	250	500	1000
Samsø	10	20	60	60	200	500	1000

Tabel B17. Retning (gradet) til den maksimale *middelværdi* for 7 konstruerede punktkilder for 10 års meteorologiske datasæt for en række lokaliteter. Aalborg er beregnet for 1974-83 med data fra OML's præprocessor og de øvrige lokaliteter (figur 6.3) er med data for 2008-17 fra vejrmodellen WRF.

	Skorstenshøjde (m) / Bygningshøjde (m)						
Lokalitet	**5/5**	**10/10**	**10/0**	**30/30**	**30/0**	**60/0**	**100/0**
Aalborg	70	70	70	80	60	60	70
E-W-1	60	300	70	300	70	70	80
E-W-2	70	70	70	70	70	120	130
E-W-3	40	40	40	50	120	120	120
E-W-4	50	60	50	60	50	50	50
E-W-5	60	60	60	60	60	70	70
E-W-6	60	60	60	60	60	70	70
E-W-7	70	60	70	70	70	70	70
E-W-8	60	70	70	70	70	70	70
Vendsyssel	80	80	80	80	80	80	90
Himmerland	80	80	80	80	80	90	90
Karup	60	60	60	90	60	60	60
E-W-5	60	60	60	60	60	70	70
Sønderjylland	70	70	70	70	70	70	70
E-W-5	60	60	60	60	60	70	70
Beldringe, Fyn	90	90	90	90	80	80	80
Midtsjælland	60	90	100	100	100	100	100
Bornholm	80	90	90	90	90	90	90
E-W-1	60	300	70	300	70	70	80
E-W-2	70	70	70	70	70	120	130
Thy	100	100	100	100	110	110	110
Samsø	70	70	60	70	60	60	70



Figur B1. Vejrmodellen WRF's punkter med meteorologiske data for landområder i Danmark. Afstand mellem punkterne er ca. 5,6 km.

METEOROLOGISKE DATASERIER TIL OML-MODELLEN

Luftkvalitetsmodellen OML, som anvendes ved regulering af luftemissioner fra virksomheder og stalde med husdyrbrug, anvender meteorologiske data fra Kastrup 1976 og Aalborg 1974-83. Muligheden for anvendelse af andre og nyere danske meteorologiske data er undersøgt. Nuværende data er baseret på manuelle meteorologiske observationer og målinger fra master samt radiosonder, som bearbejdes i mikrometeorologiske modeller. Andre mere direkte måledata anvendelige for OML er spredte og tidsmæssigt usammenhængende. Data fra AU's beregninger med vejrmodellen WRF dækker årene 1979-2017. WRF-data for årene 2008-17 for 17 lokaliteter udviser kun mindre statistiske forskelle. OML-beregninger med disse data giver generelt større immissionskoncentrationer end de nuværende anvendte data. Der er relativt store variationer mellem lokaliteterne, og geografisk set er der kun ringe systematik i variationerne.

ISBN: 978-87-7156-408-2
ISSN: 2244-999X