

# Spesifikasjoner for sensorsystemer til måling av luftkvalitet

Anbefalinger ved anskaffelse

Franck R. Dauge, Leif Marsteen, Philipp Schneider



**NILU rapport 33/2018**



## Forord

Dette dokumentet er ment som et hjelpemiddel ved anskaffelse av sensorsystemer for måling av luftkvalitet. Den er først og fremst rettet mot kommunene som deltar i iFlink-prosjektet. Rapporten samler og forklarer nyttige begrep i forbindelse med måleytelse av instrumenter og gir råd og anbefalinger ved anskaffelse av måleutstyr.

iFlink-prosjektet sikter på å etablere et målenettverk for luftkvalitet basert på lavkostnad sensorsystemer i norske byer. Oslo, Bergen Drammen, Kristiansand og Bærum kommune er hovedpartnere sammen med NILU. Prosjektet er hovedsakelig finansiert av Forskningsrådet.

Vi ønsker å takke M. Gerbolès fra European Joint Research Center (Ispra) for nyttige innspill til tekniske spesifikasjoner.

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>2</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Bakgrunn</b> .....	<b>6</b>
1.1 Instrumentering til luftkvalitetsmåling .....	6
1.1.1 Norsk lovgivning for luftkvalitetsmåling .....	6
1.1.2 Varslingsklasser for luftkvalitet i Norge .....	8
1.1.3 Testing av kommersielt tilgjengelige sensorsystemer .....	8
<b>2 Metrologiske begrep ved vurdering av måleytelse</b> .....	<b>9</b>
2.1 Måleområde .....	9
2.2 Deteksjonsgrense .....	9
2.3 Responstid .....	10
2.4 Måleintervall .....	10
2.5 Presisjon .....	10
2.6 Determinasjonskoeffisient .....	10
2.7 Nøyaktighet .....	10
2.8 Oppløsning .....	11
2.9 Linearitet .....	11
2.10 Stabilitet .....	11
2.11 Kryssfølsomhet .....	11
2.12 Utvidet usikkerhet .....	11
<b>3 Fysiske krav til sensorsystemet</b> .....	<b>11</b>
3.1 Størrelse og vekt .....	11
3.2 Strømforsyning .....	11
3.3 Vanntetthet og egnethet ved lokale værforhold .....	11
3.4 Vedlikehold, levetid .....	11
<b>4 Anbefalte krav til ytelse</b> .....	<b>12</b>
4.1 Måleenhet .....	12
4.2 Deteksjonsgrense .....	12
4.3 Måleområde .....	13
4.4 Responstid .....	13
4.5 Presisjon .....	13
4.6 Fysiske krav .....	13
4.7 Dokumentasjon .....	14
4.7.1 Instruksjonsmanual .....	14
4.7.2 Resultater fra evaluering av målinger .....	14
<b>5 Datakommunikasjon og datainnsamling i iFlink-prosjektet</b> .....	<b>14</b>
5.1 Datakommunikasjon .....	14
5.2 Lokal data lagring .....	14
5.3 Ønsket format .....	14
5.4 Datasikkerhet .....	16
<b>6 Krav til vedlikehold</b> .....	<b>16</b>

<b>7</b>	<b>Klassifisering av sensorsystemer etter pris.....</b>	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>17</b>
	<b>Vedlegg A .....</b>	<b>18</b>
	<b>Vedlegg B Eksempler på tekniske spesifikasjoner .....</b>	<b>19</b>

## Sammendrag

***Innkjøp av sensorsystemer til måling av luftkvalitet er et aktuelt tema for mange norske byer. Formålet med rapporten er å forklare tekniske begrep knyttet til målelytelse, samt å gi anbefalinger og krav i forbindelse med utarbeidelse av anbud.***

iFlink-prosjektet sikter på å etablere et målenettverk for luftkvalitet basert på lavkostnad sensorsystemer i norske byer. Oslo, Bergen Drammen, Kristiansand og Bærum kommune er hovedpartnere sammen med NILU.

Rapporten går først gjennom eksisterende instrumentering til luftkvalitetsmåling i Norge og gjeldende lovgivning rundt temaet. Den nevner mulige applikasjoner for ny sensorteknologi.

Rapporten identifiserer noen viktige parametere knyttet til kvaliteten på sensorsystemer. En oversikt over metrologiske begrep sammen med forklaringer gir leseren en grunnleggende kunnskap for å kunne tolke instrumentspesifikasjoner.

# Spesifikasjoner for sensorsystemer til måling av luftkvalitet

## Anbefalinger ved anskaffelse

### 1 Bakgrunn

Rapporten fra WHO fra 2015 [1] om konsekvenser av dårlig luftkvalitet i byer verden over har økt fokuset fra publikum på temaet og problematikken. Parallelt har det blitt gjort utvikling innen måleteknologi som gjør det mulig å detektere luftforurensning med billigere målemetoder enn tradisjonelle referansemeter. Begge årsaker har bidratt til at det er kommet et stort utvalg såkalte mikrosensorer eller lavkostnadsinstrumenter for måling av luftkvalitet på markedet.

Så langt har måling av luftkvalitet vært under tilsyn og ansvar av eksperter. Dette skyldes blant annet relativt komplisert instrumentering og høye krav til målekvalitet.

Selv om enklere teknologi basert på mikrosensorer er blitt tilgjengelig, så er kravene til datakvalitet de samme. Hovedutfordringen er at disse nye instrumentene ofte er mangelfullt karakterisert og kan ha høy eller ukjent måleusikkerhet. Utstyr som måler med høyere måleusikkerhet enn tradisjonelle referanseinstrumenter, kan likevel bidra til å generere brukbare luftkvalitetsdata i målenettverket [2]. Det er imidlertid viktig å skille mellom sensorsystemer med akseptabel måleusikkerhet og «støygeneratorer».

Dette dokumentet sikter på å hjelpe innkjøpsansvarlige til å bedre forstå spesifikasjoner til kommersielle sensorsystemer. Det skal være et hjelpemiddel ved utarbeidelse av anbud der det stilles fornuftige krav, basert på aktuell informasjon og NILUs erfaringer. Dokumentet inneholder også råd om kritiske elementer rundt sensorsystemer. Vedlegget inneholder noen eksempler som fra websider til produsenter.

#### 1.1 Instrumentering til luftkvalitetsmåling

Selv om iFlink-prosjektet ikke nødvendigvis sikter på å etablere målenettverk for regulatoriske målinger av luftkvalitet i byer, så er det interessant å se på kravene til måleutstyr i det europeiske direktivet for luftkvalitet (CAFE, 2008/50/EC) [3]. Denne informasjonen kan brukes ved anskaffelse av måleutstyr.

##### 1.1.1 Norsk lovgivning for luftkvalitetsmåling

Måling av luftkvalitet i norske byer er en lovpålagt aktivitet som er regulert av forurensningsloven, kapittel 7 [4]. Loven er basert på det europeiske CAFE-direktivet. Direktivet er et omfattende dokument som dekker alle temaer knyttet til måling av luftforurensning. Det fastsetter blant annet hvilke komponenter som skal måles, hvilke målemetoder som skal brukes og grenseverdier.

Tabell 1 gir oversikt over de viktigste komponenter som skal måles, samt grenseverdier.

Tabell 1: Norske grenseverdier for luftkvalitet

Komponent	Midlingstid	Grenseverdi [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Øvre vurderingsgrense [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
NO <sub>2</sub>	Døgn	200	140
CO	8t	10000	7000
O <sub>3</sub>	8t	120	84
SO <sub>2</sub>	Døgn	350	210
PM <sub>10</sub>	Døgn	50	35
PM <sub>2,5</sub>	Årlig	15	

Direktivet setter krav til usikkerhet (kvaliteten) i måleresultatene avhengig av bruken av måleresultatene. Tabell 2 lister de forskjellige kategoriene av målinger med tilhørende maksimalt tillatte usikkerheter.

Tabell 2: Datakvalitetsmål i CAFE-direktivet

Komponent	Faste målinger Usikkerhet [%]	Indikative målinger Usikkerhet [%]	Objektive estimeringer Usikkerhet [%]
NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO	15	25	75
O <sub>3</sub>	15	30	75
PM <sub>10</sub>	25	50	100
PM <sub>2,5</sub>	25	50	100

Faste målinger, det vil si målinger gjort på permanente målestasjoner for dokumentasjon av overskridelser av grenseverdier, skal gjøres med referansemeter. Disse metodene er beskrevet i bilag VI i CAFE-direktivet. Den europeiske standardiseringsorganisasjonen CEN har på oppdrag fra EU-kommisjonen utviklet såkalte standarder for alle referansemeter oppført i luftkvalitetsdirektivene. En standard beskriver målemetoden og hvordan man skal teste om et måleinstrument har en måleusikkerhet som er i overenstemmelse med datakvalitetsmålet (Data Quality Objectives, DQO) i Tabell 2.

Hver type analysator som kommer på markedet må testes i henhold til den relevante CEN-standard, og resultatet av testene (den beregnede usikkerheten) bestemmer hvilken kategori i Tabell 2 instrumentet faller inn i. Testene utføres vanligvis av spesialiserte testbyrå, for eksempel TÜV i Tyskland, på forespørsel fra instrumentprodusenten.

Det pågår et arbeid i CEN for å utvikle en standard for testing av mikrosensorer (CEN / TC264, arbeidsgruppe 42). Det vil si at det foreløpig ikke finnes noen standardisert metode for å evaluere ytelsen til slike instrumenter. Informasjonen om måleusikkerhet i tilgjengelige sensorsystemer er derfor utilstrekkelig og kan ikke brukes til å sammenligne ytelsen til mikrosensorer fra forskjellige leverandører.



Som vist i Tabell 2, åpner direktivet for målinger med høyere usikkerhet, såkalte indikative målinger og for objektive estimeringer. Faste målinger kan dermed suppleres med indikative målinger eller modeller for å gi ytterligere informasjon om den romlige fordelingen av luftkvaliteten, se artikkel 6 i CAFE-direktivet. I alle soner og agglomerasjoner hvor forurensningsnivået er under den øvre vurderingsgrensen, kan en kombinasjon av faste målinger og modelleringsteknikker og / eller indikative målinger benyttes til å vurdere luftkvaliteten.

### 1.1.2 Varslingsklasser for luftkvalitet i Norge

Parallelt med lovverket har det blitt etablert en klassifisering av forurensningsnivåer som brukes i det norske varslingsystemet for luftkvalitet, se Luftkvalitet.info. Folkehelseinstituttet, Vegdirektoratet og Miljødirektoratet har etablert nasjonale varslingsklasser slik at de reflekterer den nyeste kunnskapen om hvilke nivåer som gir helseeffekter. Varslingsklassene vises i Tabell 3. Konsentrasjonene innenfor de ulike klassene baserer seg på hvilke forurensningsnivåer som er forbundet med negative helseeffekter. I tillegg er det sett i sammenheng med gjeldende regelverk. Måleområdet for hver sensor skal dekket det høyeste målenivået, slik at utstyret fanger opp episoder med høy forurensning.

Tabell 3: Varslingsklasser for luftkvalitet, alle verdier i [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Komponent	Lite	Moderat	Høyt	Svært høyt
NO <sub>2</sub>	<100	100-200	200-400	>400
O <sub>3</sub>	<100	100-180	180-240	>240
SO <sub>2</sub>	<100	100-350	350-500	>500
PM10	<50	50-80	80-400	>400
PM2,5	<25	25-40	40-150	>150

### 1.1.3 Testing av kommersielt tilgjengelige sensorsystemer

Det har vist seg at opplysninger fra produsenter om produktytelse ofte ikke stemmer med observasjoner [2, 5]. Forskning viser at ytelsen av slike instrumenter ofte er både steds- og klima-avhengig og krever individuell vurdering, gjerne på et sted som er representativt for fremtidige målinger. Utstyret bør derfor testes før innkjøpet finner sted, helst på målestedet det skal brukes. Det anbefales å teste tre instrumenter i parallell, på samme sted, i minst tre uker. Testperioden bør ideelt sett inneholde episoder med relativt høye forurensningsnivåer og skiftende værforhold. Hvis det er stor variasjon i resultatene mellom instrumentene, så er det en indikasjon på at instrumentene ikke er stabile. Ideelt sett burde instrumentene gå i parallell med et referanseinstrument (referansem metode) slik at en får en uavhengig metode å sammenligne resultatene med. Bare da kan en validere om instrumentene måler riktig nivå.

Instrumenter kan og bør også testes i et laboratorium. Å teste utstyret i et lukket miljø gir mange fordeler. Et klimakammer tillater å kjøre forskjellige sekvenser som involverer variasjoner i kjemiske og fysiske parametere som gasskonsentrasjoner, temperatur og fuktighet. Slike sekvenser gjør det mulig å gjenskape forskjellige meteorologiske og kjemiske forhold i løpet av relativt kort tid. Disse forholdene kan også oppstå utendørs, men over betydelig lengre tid. Hver sekvens er reproducerbar og tillater å teste så mange instrumenter som ønskelig, under samme forhold. Dette gjør det mulig å sammenligne instrumenter. Vedlegg B lister noen test-laboratorier.

## 2 Metrologiske begrep ved vurdering av måleytelse

Kvaliteten og egenskapene til måleinstrumenter kan evalueres ved hjelp av forskjellige parametere. Dette er verdier som oppgis av produsenten, vanligvis i tabellformat i et dedikert produktdatablad.

Tabell 4 gir en oversikt over de fleste typer metrologiske parametere, både på norsk og engelsk, som gis av produsenter.

Tabell 4: Relevante metrologiske parametere

Parametere	Engelsk oversettelse	Symbol/ Akronym	Kommentar
Måleområde	Measuring range, range		
Deteksjonsgrense	Limit of detection	LOD	
Responstid	Response time	$t_{90}$	
Måleintervall	Measuring interval		
Presisjon	Precision		
Determinasjonskoeffisient	Coefficient of determination	$R^2$	
Nøyaktighet	Accuracy		
Oppløsning	Resolution		
Linearitet	Linearity	% FS	Percentage of Full Scale
Stabilitet	Stability		
Kryssfølsomhet	Cross-sensitivity		
Utvidet usikkerhet	Expanded uncertainty	U	

Ingen instrumenter er perfekte og en analyse eller måling gjøres alltid med en usikkerhet knyttet til målemetoden. Usikkerheten i målemetoden oppgis vanligvis som utvidet usikkerhet i prosent av måleverdien. Det er da 95% sannsynlig at den virkelige konsentrasjonen ligger i et gitt intervall rundt den målte konsentrasjonen. Intervallet er lik målt verdi  $\pm$  oppgitt usikkerhet. F.eks. hvis utvidet usikkerhet er 12% og målt verdi er 80 ppb, så er usikkerheten  $12 \cdot 80 / 100 = 9,6$  ppb. Det er da 95% sannsynlig at den virkelige konsentrasjonen  $c$  ligger i intervallet 80-9,6 til 80+9,6. Dvs.  $70,4 < c < 89,6$ . Så jo større usikkerheten er, jo mindre er sjansen for at det virkelige konsentrasjonsnivået er i nærheten av målt konsentrasjon.

Måleusikkerheten kan evalueres ved statistiske beregninger basert på en empirisk måte som gjerne involverer en rekke målinger under forskjellige forhold, eller på en mer teoretisk måte som tar i bruk alle usikkerhetsbidrag fra alle relevante påvirkningsfaktorer. Dessverre så oppgir produsenten vanligvis ikke måleusikkerheten.

### 2.1 Måleområde

Måleområdet er det konsentrasjonsområdet som kan detekteres av sensoren av den aktuelle gassen eller partiklene (i.e. gass eller partikkelkonsentrasjoner) som kan detekteres av sensoren.

### 2.2 Deteksjonsgrense

Deteksjonsgrense er lavest verdi som pålitelig kan detekteres av sensoren.

### 2.3 Responstid

Responstiden indikerer hvor fort sensoren responderer på et stimulus, dvs. hvor raskt den reagerer på en endring i gass eller partikkel-konsentrasjon. Det brukes vanligvis verdien  $t_{90}$  som representerer tiden det tar for sensoren for å generere 90% av sluttsignalet.

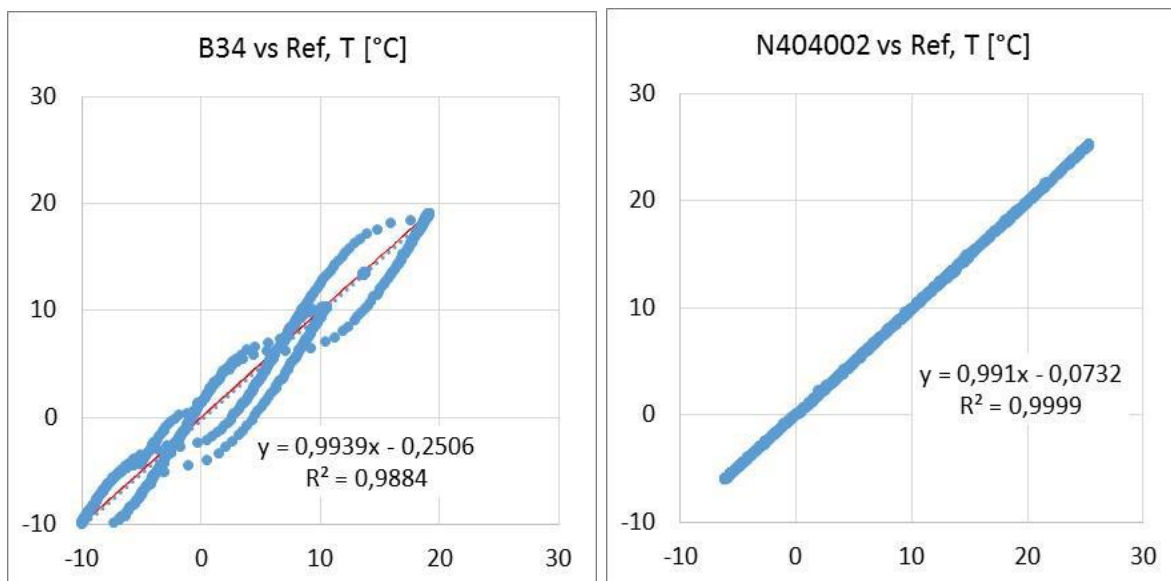
### 2.4 Måleintervall

Måleintervall er tiden mellom to separate målinger.

### 2.5 Presisjon

Presisjon er et mål på hvor likt sensoren måler samme konsentrasjon hver gang. Målinger kan være veldig presise slik at målinger av samme gasskonsentrasjon er tett samlet, men likevel ha stor målefeil, f.eks. hvis instrumentet alltid måler for lavt.

Presisjon kan vurderes ved å sammenligne en datasett av referansemålinger mot datasettet fra en samlokalisert sensor. Figur 1 viser to eksempler på en slik sammenligning. En determinasjonskoeffisient  $R^2$  nær 1 indikerer en god presisjon.



Figur 1: Eksempler på to sammenligninger gjort med to forskjellige termometere mot samme temperaturreferansemåler

### 2.6 Determinasjonskoeffisient

Determinasjonskoeffisient ( $R^2$ ) er et mål på hvor riktig sensoren måler over hele måleområdet, se punktet presisjon over.

### 2.7 Nøyaktighet

Nøyaktighet er et mål på hvor riktig sensoren måler en konsentrasjon.

## **2.8 Oppløsning**

Oppløsningen indikerer den minste endring i konsentrasjon som sensoren kan måle og rapportere.

## **2.9 Linearitet**

Sensorsystemer viser en linear respons. Avviket fra linearitet rapporteres vanligvis i prosent av måleområdet (% Full Scale).

## **2.10 Stabilitet**

Stabilitet er et mål på hvor mye responsen til sensoren endrer seg over tid. Responsen endrer seg ved at følsomheten til sensorer vanligvis avtar. Dette kan skyldes for eksempel tilsmussing av sensor eller endring i kjemisk innhold av sensor (elektrokjemisk sensor).

## **2.11 Kryssfølsomhet**

Kryssfølsomhet er et mål på hvor mye sensoren påvirkes av andre komponenter i lufta enn dem den skal måle. En perfekt gass-sensor burde detektere bare en type gass, upåvirket av andre gasser som befinner seg i lufta. I virkeligheten er alle gass-sensorer ofte følsomme for andre gasser også.

## **2.12 Utvidet usikkerhet**

Usikkerhet er et mål på hvor godt instrumentets målinger representerer virkelige luftkonsentrasjoner. Usikkerheten beregnes vanligvis som utvidet usikkerhet, dvs.  $\pm 2$  standard avvik ved 95% konfidensintervall.

# **3 Fysiske krav til sensorsystemet**

## **3.1 Størrelse og vekt**

Sensorsystemer bør være kompakte og lette, slik at installasjonen i felt blir enklest mulig.

## **3.2 Strømforsyning**

Et batteridrevet instrument tillater enklere installasjon og blir ikke påvirket av mulige strømbrudd. Det er viktig å få informasjon om batterikapasitet, spesielt ved kalde forhold.

## **3.3 Vanntetthet og egnethet ved lokale værforhold**

Instrumentene må tåle norske forhold. De må tåle sol, regn, storm, varme og kulde. Elektronikken må fungere under alle forhold. Hvis innkapslingen av produktet ikke inneholder avkjøling eller skjerming mot solstråling, så må elektronikken og sensorene være i stand til å fungere under høye temperaturer.

## **3.4 Vedlikehold, levetid**

Nødvendig utstyr til vedlikehold bør være lite. Tilbudet må inneholde informasjon om instrumentets antatte levetid, gjerne basert på uavhengige kilder. Antatt vedlikeholdsbehov må dokumenteres.

Elektrokjemiske sensorer er ofte følsomme for enten veldig lav eller veldig høy fuktighet. Produsenten må gi informasjon om mulige begrensninger knyttet til dette.

## 4 Anbefalte krav til ytelse

Dette kapitlet inkluderer også informasjon og krav om CO-sensorer. CO måles ikke lengre i norske kommuner og informasjonen som presenteres her er kun til orientering.

### 4.1 Måleenhet

Måleresultater fra hver sensor kan gis i forskjellige enheter. Det anbefales derfor å sette et krav om det ved innkjøp, slik at man kan standardisere formatet for hver målekomponent i en tidlig fase og dermed gjøre datainnsamlingen enklere.

Tabell 5: Oversikt over måleenheter

Komponent	Anbefalt enhet	Akseptabel enhet	Kommentar
NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	ppb	
CO	mg/m <sup>3</sup>	ppm	
PM	µg/m <sup>3</sup>		Kan også gi partikkel telling (counts, bins)
Temperatur	Deg Celsius		
Atmosfærisk trykk	hPa eller mBar		
Luftfuktighet	%		

### 4.2 Deteksjonsgrense

Anbefalt LOD-verdi er basert på NILUs erfaringer fra tester av ulike sensorsystemer samt draftutgave av CEN standard for evaluering av sensorsystemer for måling av luftkvalitet.

Tabell 6: Anbefalt deteksjonsgrenser

Komponent	Anbefalt LOD [µg/m <sup>3</sup> ]	Max. LOD [µg/m <sup>3</sup> ]
NO, NO <sub>2</sub>	<19	<28
O <sub>3</sub>	<20	<30
CO	<300	<500
SO <sub>2</sub>	<40	<80
PM	<2	<5

### 4.3 Måleområde

På bakgrunn av norske varslingsklasser, anbefales måleområdene som vist i Tabell 5.

Tabell 7: Anbefalte måleområder

Komponent	Anbefalt måleområde	Kommentar
NO [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[0 - 1000]	Omregningsfaktor fra ppb til $\mu\text{g}/\text{m}^3$ : 1,25
NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[0 - 1000]	Omregningsfaktor fra ppb til $\mu\text{g}/\text{m}^3$ : 1,91
O <sub>3</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[0 - 1000]	Omregningsfaktor fra ppb til $\mu\text{g}/\text{m}^3$ : 2
SO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[0 - 1000]	Omregningsfaktor fra ppb til $\mu\text{g}/\text{m}^3$ : 2,66
CO [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	[0 - 10]	Omregningsfaktor fra ppm til $\text{mg}/\text{m}^3$ : 1,16
PM <sub>2,5</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[0 - 500]	
PM <sub>10</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[0 - 1000]	
Atmosfærisk trykk [hPa]	900 - 1200	
Luftfuktighet [%]	0 - 100	
Temperatur [°C]	[-30 - 40]	

### 4.4 Responstid

Tabell 8: Anbefalt responstid

Sensortype	Anbefalt t <sub>90</sub> [min]	Maks. t <sub>90</sub> [min]
Gass	6	15
PM	10	15

### 4.5 Presisjon

Anbefalt R<sup>2</sup>-verdi er basert på NILUs erfaringer fra tester av ulike sensorsystemer. Minimum R<sup>2</sup>-verdi er minimumskrav for bruk i datafusionberegninger.

Tabell 9: Anbefalt presisjon

Komponent	Anbefalt R <sup>2</sup>	Minimum R <sup>2</sup>
NO <sub>2</sub>	0,8	0,6
O <sub>3</sub>	0,8	0,6
SO <sub>2</sub>	0,7	0,6
CO	0,8	0,6
PM <sub>10</sub>	0,7	0,6
PM <sub>2,5</sub>	0,8	0,6

### 4.6 Fysiske krav

Tabell 10: Anbefalte fysiske krav

	Anbefalt krav	Kommentar
<b>Vanntetthet</b>	IP65	Hvis ikke, gjør en visuell vurdering av produktet
<b>Min. temp [°C]</b>	-25	
<b>Maks. temp [°C]</b>	50	
<b>Strømforsyning</b>	AC, 220V	Enheden kan også være batteridrevet

## 4.7 Dokumentasjon

### 4.7.1 Instruksjonsmanual

Produktet må leveres med et dokument, helst i elektronisk format, som gir følgende informasjon:

- Installasjonsprosedyre
- Vedlikeholdsoppgaver
- Enkel feilsøking

### 4.7.2 Resultater fra evaluering av målinger

Produsenten bør tilby resultater fra evalueringskampanjer gjort av uavhengige institusjoner (forskningsinstitutt, universitet, testlaboratorier)

## 5 Datakommunikasjon og datainnsamling i iFlink-prosjektet

### 5.1 Datakommunikasjon

Metode for overføring av data til sentral server, krav til båndbredde og krav overføringskapasitet må være dokumentert. Hvis sensorene må kommunisere kontinuerlig med hjemmesystemet, kan kostnaden for mobildata bli høy.

Datakommunikasjonen mellom instrument/sensor og sentral server skjer vanligvis over HTTP(s) ved bruk av et REST-basert grensesnitt. Dette betyr at instrumentet må være koblet opp mot Internett når det skal overføre data, og at instrumentet må ha nødvendig programvare (HTTP klient med SSL støtte) installert.

Det er pr. i dag ikke støtte for å sende flere måleverdier som bulk (oppsamlede måleverdier, f.eks. data for perioden kl. 1000 til 1800), men det er teknisk mulig å implementere det i fremtidig løsning.

Det er mulig å sende måleverdier for flere komponenter i samme datautvekslingspakke (slik som f.eks. «hackAIR» PM-sensoren).

### 5.2 Lokal data lagring

Det må oppgis hvor mye data instrumentet kan lagre ved strømbrytning.

### 5.3 Ønsket format

Utvekslingsformatet som er støttet pr. i dag er JSON, men det er ingenting i veien for å kunne bruke XML i fremtidig løsning (i prinsippet andre formater også, så lenge de er standardiserte).

Data bør leveres med informasjon om hvor mye og hva slags databehandling de har gått gjennom. Tabell 11 foreslår en klassifisering med fem prosesseringsnivåer. Tabell 12 viser det samme, oversatt til engelsk. Begrepene i tabellen er ikke endelig definerte og kan bli justert senere.

Tabell 11: Klassifisering av data

Nivå	Navn	Beskrivelse	Eksempel, NO <sub>2</sub> sensor
0	Rådata	Opprinnelig målestørrelse generert av sensoren, inkl. elektronisk grensesnitt, ved sensorens prøvetakingsfrekvens	Spenning, strøm, motstand, konduktans
1	Mellomliggende geofysiske størrelser	Estimat av en geofysisk størrelse utledet fra Nivå-0 data, basert på grunnleggende fysiske antagelser og ingen korreksjoner	NO <sub>2</sub> konsentrasjon i µg/m <sup>3</sup> eller ppb, bare ved bruk av Nivå-0 data fra NO <sub>2</sub> sensor
2	Standard geofysiske størrelser	Estimat av en geofysisk størrelse basert på tilgjengelige data i sensoren/ sensorplattformen	NO <sub>2</sub> konsentrasjon i µg/m <sup>3</sup> eller ppb, basert på data fra integrerte NO <sub>2</sub> , NO, and O <sub>3</sub> sensors. Kan være korrigert for T/RH
3	Avanserte geofysiske størrelser	Som Nivå-2, men som i tillegg gjør bruk av eksterne målinger som ikke er en integrert del av sensor-systemet	NO <sub>2</sub> konsentrasjon i µg/m <sup>3</sup> , korrigert for T/RH-effekter og data fra nærliggende meteorologi-stasjoner
4	Geo-refererte geofysiske størrelser	Kontinuerlig fordeling av en geofysisk størrelse på kart, basert på observasjoner fra distribuerte sensor-systemer	Kontinuerlig fordeling på kart

Tabell 12: Klassifisering av data, på engelsk

Level	Name	Description	Examples, NO <sub>2</sub> sensor
0	Raw measurement	Original measurand produced by the sensor plus interface electronics at original sampling frequency	Voltage, current, resistance, conductance
1	Intermediate geophysical quantities	Estimate of a geophysical quantity derived from corresponding Level-0 data, using basic physical assumptions and no compensation schemes	NO <sub>2</sub> concentration in µg/m <sup>3</sup> or ppb, using only Level-0 data from NO <sub>2</sub> sensor
2	Standard geophysical quantities	Estimate of a geophysical quantity using any available data within the sensor system itself	NO <sub>2</sub> concentration in µg/m <sup>3</sup> or ppb based on embedded NO <sub>2</sub> , NO, and O <sub>3</sub> sensors. Possibly corrected for interferences and T/RH
3	Advanced geophysical quantities	As Level-2 but in addition using external data not measured within the actual sensor system	NO <sub>2</sub> concentration in µg/m <sup>3</sup> , corrected for T/RH effects, and using data from nearby meteorological stations
4	Spatially exhaustive geophysical quantities	Continuous maps of a geophysical quantity using observations from distributed sensor systems	Spatially exhaustive map



## 5.4 Datasikkerhet

All datakommunikasjon mellom instrument og REST-server(e) bør være kryptert. Derfor anbefales det at HTTPS-protokollen benyttes.

For at instrumentet skal være i stand til å lagre data, må det også foreligge en autentiseringsmekanisme mellom instrument og server.

Dette gjelder generelt også for annen datakommunikasjon hvor tilgangskontroll er nødvendig.

## 6 Krav til vedlikehold

Produsenten må gi tydelig informasjon om vedlikeholdsbehov. Dette inkluderer:

- Anbefalt periode mellom kalibrering
- Levetid for sensorene
- Rengjøringsbehov, filterskifte
- Batterikapasitet, hvis relevant
- Kostnader knyttet til vedlikehold

## 7 Klassifisering av sensorsystemer etter pris

Begreper som sensorsystem, mikrosensorer og low cost sensors er ofte assosiert med lave kostnader. Selv om alle enheter som finnes på markedet selges for betydelig lavere pris enn referanseanalytatorer, finnes det store prisforskjeller. I Tabell 13 er det foreslått en enkel klassifisering basert på innkjøpsprisen av sensorsystemer.

Tabell 13: Prisklasser

Pris klasse	Typisk pris [NOK]	Kommentar
Lav	<5.000	Gjelder vanligvis bare for PM måleenheter
Medium	Ca. 20.000	
Høy	Ca. 50.000	

Billige instrumenter kan kreve tilpasninger (fysisk innkapsling, datakommunikasjon o.s.v.) som øker den endelige kostnaden av produktet.

## 8 Referanser

- [1] WHO Regional Office for Europe, OECD (2015) Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf) (accessed 14.11.2018)
- [2] Popoola, O.A.M., Carruthers D., Lad Ch., Bright V.B., Mead M.M., Stettler M.E.J., Saffell J.R., Jones R.L. (2018) Use of networks of low cost air quality sensors to quantify air quality in urban settings. *Atmos Environ* 194 (58-70), <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.030>
- [3] EC (2008) Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21. May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0050>
- [4] Lov om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven). ISBN 82-504-1304-0. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6> . Forskrift om begrenning av forurensning (forurensningsforskriften). <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931>. (begge vist 14.11.2018).
- [5] Castell N., Dauge F.R., Schneider P., Vogt M., Lerner U., Fishbain B., Broday D., Bartonova A. (2017) Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environ. Int.* 99 (293-302), <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.007>

## Vedlegg A

### Liste over testlaboratorier

NILU <http://www.nilu.no/>

NPL National Physics Laboratory <http://www.npl.co.uk/>

RIVM, National Institute for public health and the environment <https://www.rivm.nl/en>

VITO <https://vito.be/en>

## Vedlegg B

### Eksempler på tekniske spesifikasjoner

#### A. Fysiske krav

##### TECHNICAL FEATURES

<b>Size / Weight</b>	122 x 202 x H: 90 mm / < 1.5Kg
<b>Envelope</b>	PC IP67 & Metal Panel (optional)
<b>Energy Consumption</b>	< 10 mA @ 3.7 Vdc. (with PM < 350 mA)
<b>Battery</b>	8.1 Ah rechargeable (always included)
<b>External Power</b>	Charger 5 – 17 Vdc., solar panel, etc
<b>Communications</b>	GPRS, Wifi, RS232, Ethernet
<b>Work.Temp. Range</b>	-20°C to +50°C
<b>Interface</b>	Micro USB
<b>Built-in Sensors</b>	Internal and external temperature, battery and signal level, relative humidity, atmospheric pressure and power.
<b>Compatibility</b>	Kunak AIR P10, Kunak Noise N10 and third party sensors
<b>GNSS</b>	GPS/Glonass (optional)
<b>Sampling</b>	Continuous sampling 3Hz*

#### B. Måleytelse

	Ranges :	Detection limit :
O <sub>3</sub> / NO <sub>2</sub>	0-250 ppb	20 ppb
NO <sub>2</sub>	0-250 ppb	20 ppb
CO	0-20 ppm	0.05 ppm
H <sub>2</sub> S / CH <sub>4</sub> S	0-1000 ppb / 0-20 ppm / 0-200 ppm	10 ppb / 30 ppb / 200 ppb
NH <sub>3</sub>	0-25 ppm	0.5 ppm
SO <sub>2</sub>	0-1000 ppb	50 ppb
CH <sub>2</sub> O / Organic solvents	0-1000 ppb	10 ppb
nM VOC	0-16 ppm	10 ppb
CO <sub>2</sub>	0-5000 ppm	1 ppm

Gas	Range	Detection Limit	Accuracy in Field Conditions <sup>1)</sup>
NO <sub>2</sub>	2000 ppb	5 ppb	±25 ppb
O <sub>3</sub>	2000 ppb	5 ppb	±60 ppb
CO	10 000 ppb	10 ppb	±200 ppb
SO <sub>2</sub>	2000 ppb	5 ppb	±50 ppb

1) 90 % confidence interval in comparing with reference instrument, includes T and %RH dependence in typical field conditions and sensor drift during calibration interval. Electrochemical cell replacement interval 12–24 months, depending on local conditions.

Sensor	Limit of confidence <sup>#3</sup>	Typical precision to ref <sup>#4</sup>	Typical mean prescaled accuracy <sup>#5</sup>
NO	< 5 ppb	>0.9 R2	+/- 5 ppb
NO2	< 10 ppb	>0.85 R2	+/- 10 ppb
NOx	< 10 ppb	>0.9 R2	+/- 10 ppb
O3	< 5 ppb	>0.9 R2	+/- 10 ppb
CO	< 50 ppb	>0.8 R2	+/- 0.3 ppm
SO2	< 10 ppb	>0.7 R2	+/- 10 ppb
H2S	< 5 ppb	>0.7 R2	+/- 5 ppb
CO2	< 1 ppm	>0.9 R2	+/- 30 ppm
Sensor	Limit of detection	Typical precision to ref <sup>#4</sup>	Typical mean prescaled accuracy <sup>#5</sup>
Pod temperature	0.1°C	>0.9 R2	+/- 2°C
Pressure	1 mb	>0.9 R2	+/- 5 mb
Humidity	1% RH	>0.9 R2	+/- 5% RH
Average noise <sup>#6</sup>	20 Hz to 20 kHz	>0.8 R2	+/- 1 dB
Peak noise <sup>#6</sup>	20 Hz to 20 kHz	N/A	+/- 3 dB
Particle count	0 particles	>0.9 R2 variable	N/A
PM1 (v2.0)	0 µg/m3	>0.9 R2 variable	+/- 15 µg/m3 variable
PM2.5 (v2.0)	0 µg/m3	>0.85 R2 variable	+/- 20 µg/m3 variable
PM10 (v2.0)	0 µg/m3	>0.7 R2	+/- 30 µg/m3 variable
GPS	<0.5m	N/A	+/- 3m radius

## **NILU – Norsk institutt for luftforskning**

NILU – Norsk institutt for luftforskning er en uavhengig stiftelse etablert i 1969. NILUs forskning har som formål å øke forståelsen for prosesser og effekter knyttet til klimaendringer, atmosfærens sammensetning, luftkvalitet og miljøgifter. På bakgrunn av forskningen leverer NILU integrerte tjenester og produkter innenfor analyse, overvåkning og rådgivning. NILU er opptatt av å opplyse og gi råd til samfunnet om klimaendringer og forurensning og konsekvensene av dette.

*NILUs verdier: Integritet – Kompetanse – Samfunnsnytte*

*NILUs visjon: Forskning for en ren atmosfære*

NILU – Norsk institutt for luftforskning  
Postboks 100, 2027 KJELLER

E-post: [nilu@nilu.no](mailto:nilu@nilu.no)

<http://www.nilu.no>

ISBN: 978-82-425-2956-5  
ISSN: 2464-3327