

Støvpåvirkning omkring en grusgrav i Nordsjælland – måling af svævestøv og α -kvarts

Af Arne Oxbøl og
Karsten Fuglsang,
FORCE Technology A/S og
Jens Christian Storgaard,
Region Hovedstaden

Region Hovedstaden har undersøgt støvpåvirkning af omgivelserne i form af svævestøv, støvnedfald og α -kvarts fra en grusgrav i Nordsjælland. Projektet er gennemført af FORCE Technology i perioden marts 2020 til januar 2021. Projektets primære fokus var måling af mobiliseret og respirabelt svævestøv relateret til råstofindvinding med henblik på at belyse eventuelle sundhedsmæssige risici for de omkringboende borgere. I denne artikel fokuseres der på projektets resultater med fokus på svævestøv og bestemmelse af indholdet af α -kvarts i svævestøvet, samt de vundne erfaringer projektet har kastet af sig.

Baggrund

I takt med den generelt stigende efterspørgsel på råstoffer i Region Hovedstaden og samtidig med udtømmning af nuværende råstofgrave i det åbne land er det blevet stadigt vanskeligere at finde nye råstofforekomster af erhvervsmæssig interesse. De eksisterende restressourcer af råstoffer er derfor generelt beliggende tættere på bynære områder i dag end tidligere, og det har betydet, at der er kommet mere offentlig fokus på de miljømæssige aspekter af råstofindvinding.

Region Hovedstaden har ved udpegning af nye interesse- og graveområder oplevet en markant større fokus og bekymring fra de omkringboende borgere til de kommende råstofgrave. Borgernes bekymring går generelt på kommende gener i form af faldende huspriser, støj og støv. I forbindelse med råstofplan 2016 blev der fra borgernes side yderligere fokuseret på de sundhedsmæssige risici ved indvinding af silt-fraktion af råstofforekomsterne i form af respirabelt støv. Der var fra borgernes side frygt for indånding af små, næsten usynlige partikler, og der blev bl.a. stillet spørgsmål ved regionens erfaring med håndhævelse og måling af svævestøv. Svævestøv består af partikler (particulate matter, PM) som inddeles i to fraktioner som er mindre end hhv. 2,5 µm og 10 µm, og som næsten ikke kan ses eller mærkes.

Måleprogram

Med baggrund i et litteraturstudie om sundhedsskadeligt støv i forbindelse med råstofgravning besluttede Region Hovedstaden at få FORCE Technology til at belyse støvproblematikken ved råstofgravning. Det blev besluttet at gennemføre målinger af støvnedfald og svævestøvs-koncentrationer i forhold til koncentrationen af PM_{2,5} og PM₁₀ samt indhold af krystallinsk kvarts (α-kvarts) i svævestøv i området nær en repræsentativ råstofgrav i regionen.

Der blev udvalgt en råstofgrav ved Helsingør, dels fordi der her bliver indvundet en del finkornede materialer, og dels fordi gravens indretning og drift gjorde det muligt at udføre målingerne i en periode, hvor der blev påbegyndt indvinding på et nyt delareal, samtidig med at der kunne måles på støvpåvirkningen ved transporten af råstofferne på en intern kørevej (jf. Figur 1). Desuden skulle målingerne belyse, hvor omfattende svævestøv og støvnedfaldet var i forskellige afstande fra en grusgrav, når vinden kommer fra grusgraven og evt. bringer støv med sig. Det var et mål ved fastlæggelsen af måleprogrammet, at de indsamlede data skulle være repræsentative og omfatte de perioder, hvor der kunne forventes mest aktivitet i grusgraven samt perioder med lav nedbørsmængde, hvor støvpåvirkningen kunne forventes at være størst.

Hele måleprogrammet har inkluderet:

- Opstilling af måleudstyr øst for grusgrav (idet de fremherskende vinde er fra vest).
- Støvmålinger (både af støvnedfald og svævestøv) i 4 positioner i en afstand af 25 m og op til 200 m fra grusgraven, samt i en referenceposition (1,5 km fra grusgrav).
- Opsætning af støjmåler til registrering af lastbiler (til bestemmelse af støv forårsaget af kørsel på interne køreveje).
- Bestemmelse af middelkoncentrationer af svævestøv og støvnedfald fra grusgraven.
- Bestemmelse af α-kvarts indhold i udvalgte prøver af PM_{2,5} og PM₁₀.
- Indhentning af meteorologiske data.

Definition af støv

Der skelnes mellem to typer støv; henholdsvis svævestøv og støvnedfald.

Svævestøv er den del af det luftbårne støv, som holder sig luftbærent i længere tid. Svævestøv i udeluft karakteriseres typisk ved måling af partikler, der er mindre end hhv. 2,5 µm og 10 µm (PM_{2,5} og PM₁₀). Generelt bliver svævestøv også kaldt respirabelt støv.

Støvnedfald er den del af det luftbårne støv, som falder ned på overflader relativt tæt på kilden. Der er ikke en egentlig sundhedsmæssig risiko i nedfaldsstøv, så længe der er tale om inert (ikke toksisk) materiale, og støvnedfald omkring grusgrave vil derfor primært være i fokus på grund af generne som følge af støv, der lægger sig på overflader. Afhængig af partiklernes densitet, vindhastigheder, nedbørsmængder og luftens relative fugtighed vil støvnedfald forekomme relativt tæt på kilden – og i praksis altid inden for en radius af 500 m fra kilden. Støvdannelse fra aktiviteter såsom råstofindvinding er oftest karakteriseret ved at være domineret af relativt store partikler. Derfor har fokus traditionelt været på gener som følge af støvnedfald.

Grænseværdier for svævestøv

Svævestøv i udeluften karakteriseres oftest som PM_{2,5} og PM₁₀. PM er en forkortelse for det engelske "Particulate Matter". PM_{2,5} bruges som en betegnelse for den del af partikelmassen, der udgøres af partikler med en aerodynamisk diameter mindre end 2,5 µm. En tilsvarende definition gælder for PM₁₀, idet PM₁₀ omfatter partikler med en aerodynamisk diameter mindre end 10 µm. Da luftbårne partikler i udeluften består af partikler, der kan have meget forskellige vægtfylde, og da partiklerne langt fra altid er sfæriske, opererer man med den aerodynamiske diameter. Den aerodynamiske diameter defineres som diameteren af en kugleformet partikel med massefylden 1 g/cm³, som falder med samme hastighed som den betragtede partikel.

De relevante grænseværdier for svævestøv for nærværende måleprojekt ses i Tabel 1.

TABEL 1 OVERSIGT OVER EU'S GÆLDENDE GRÆNSEVÆRDIER FOR SVÆVESTØV SAMT EKSEMPLER PÅ GRÆNSEVÆRDIER FOR STØVNEDFALD.

Parameter		Grænseværdi	Reference
Svævestøv	PM ₁₀	50 µg/m ³ som døgnværdi, der ikke må overskrides mere end 35 gange pr. kalenderår ¹	EU's luftkvalitetsdirektiv er implementeret ved Bekendtgørelse nr. 1472, 2017 (4)
		40 µg/m ³ som årsmiddelværdi	
	PM _{2,5}	25 µg/m ³ som årsmiddelværdi	
	α-kvarts	0,005 mg/m ³ = 5 µg/m ³	B-værdivejledningen (5)

¹ Denne grænseværdi svarer til 90,4-percentilen af alle målte døgnværdier for PM₁₀ over et år.

FIGUR 1 MÅLEPOSITIONERNES PLACERING.



Bogstaverne på de enkelte positioner angiver, hvilket måleudstyr der blev anvendt på positionen – se beskrivelse i Tabel 2.

Der er ikke fastsat en specifik grænseværdi for α -kvarts i udeluft. α -kvarts er et stof, hvor kun den samlede dosis er afgørende, og for sådanne stoffer fastsættes B-værdien (en virksomheds bidrag til omgivelserne). B-værdien for α -kvarts er $0,005 \text{ mg/m}^3$, men det fremgår ikke eksplicit af vejledningen (5), hvilken partikelstørrelse den gælder for. B-værdien for mange andre stoffer i støv gælder imidlertid for PM_{10} fraktionen, og FORCE har i nærværende projekt vurderet, at koncentrationerne af α -kvarts i opsamlet PM_{10} og $\text{PM}_{2,5}$ var relevante at vurdere i forhold til B-værdien.

Målepositionernes placering

Det var en del af opgaven at undersøge, hvor omfattende støvnedfald og svævestøv er i forskellige afstande fra grusgravens aktiviteter, når vinden kommer fra grusgraven og evt. bringer støv med sig. Målepositionerne blev derfor placeret som vist på Figur 1 og i oversigten i Tabel 2. Der blev opsat to vindretningsbestemte støvopsamlere (til måling af støvnedfald) i forskellige afstande til et nyåbnet delareal i grusgraven. For at estimere påvirkningen i flere afstande blev der opsat opsamlingsbøtter, der opsamlede ved alle vindretninger (bulkopsamling), og som blev placeret mellem de to retningsbestemte støvopsamlere. Afstanden mellem de to retningsbestemte støvopsamlere var ca. 200 meter, og de to bulkopsamlere blev anbragt i ækvidistante afstande mellem dem (ca. 70 meter mellem hver position). På positionen tættest på grusgraven blev den retningsbestemte støvopsamler suppleret med en bulkopsamler for valideringsformål.

TABEL 2 OVERSICHT OVER DET ANVENDTE MÅLEUDSTYR PÅ DE ENKELTE MÅLEPOSITIONER.

		Måleudstyr svævestøv (PM _{2,5} og PM ₁₀) Afvigelse(RMSE)		Måleudstyr støvnedfald		Måleudstyr støj
Angivelse på Figur 1:		R	O	M	B	BL
Måleposition: Afstand fra grusgrav	Betegnelse	Referencemåling iht. EN 12341	Optisk mikro- sensor (OPC)	Metdust Støv fra kilde opsamles i vind- sektor (x grader fra nord; y grader fra nord)	Bulksamplers	Lydtryksmåler
25 m	Ved grusvej	X	X	X (150°;340°)	X	X
75 m	75 m fra grusvej		X		X	
150 m	150 m fra grusvej				X	
200 m	Ved Grønhøjgårdsvej		X	X (210°;300°)	X	
1500 m	Reference- position				X	

Der blev desuden opsat en bulkopsamler for nedfaldstøv som reference ca. 1,5 kilometer vest for grusgraven. Denne referencemåling havde til formål at sammenligne de indsamlede data ved grusgraven med resultater fra et område, der ikke var påvirket af grusgravning.

Til måling af svævestøv blev der i positionen 25 m fra grusgraven opsat udstyr med opsamling på filtre i henhold til referencemetoden EN 12341. Her blev støv opsamlet på filtre i perioder på 24 timer og blev derefter vejjet og omregnet til koncentrationer i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Svævestøvs koncentrationer blev desuden målt med optiske mikrosensorer i afstande af hhv. 25 m, 75 meter og 200 meter fra grusgraven. Figur 2 viser måleudstyret opsat i nærmeste position til grusgraven i Helsingør.

FIGUR 2 OPSTILLING AF STØVMÅLEUDSTYR VED GRUSGRAVEN I HELSINGØR.



Yderst til venstre ses bulk-opsamler til støvnedfald, i midten den vindretningsbestemte opsamler til støvnedfald (Mett-dust), og til højre ses det filterbase-rede måleudstyr til bestemmelse af svævestøvsindhold i luften (også kaldet den ottearmede).



Svævestøv – måleteknik

Der er udført akkrediterede målinger efter referencemetoden til $PM_{2,5}$ og PM_{10} (EN 12341). Målingerne er foretaget ved prøvetagning over et døgn pr. prøve. Der blev skiftevis taget prøver for $PM_{2,5}$ og PM_{10} over en periode på 8 uger. I alt blev der udtaget 28 døgnprøver for $PM_{2,5}$ og 29 døgnprøver for PM_{10} . Parallelt hermed er der målt med svævestøvmålere af mærket OPC-N2 Particle Monitor fra firmaet Alphasense. Disse målere anvender som måleprincip måling af partiklernes spredning af lyset fra en laserlyskilde. Målingerne med OPC-N2 er optiske mikrosensorer, der har kunnet installeres i flere målepunkter, sådan at det blev muligt at vurdere svævestøvs-koncentrationen som funktion af afstanden fra grusgraven. Svævestøvmålinger med OPC-N2 er ikke omfattet af akkrediteringen.

Målingerne med de optiske sensorer blev foretaget over hele måleperioden fra den 7. april 2020 til den 10. januar 2021.

I løbet af projektets gennemførelse viste det sig, at de optiske målere giver meget høje koncentrationer i perioder med tåge. Tåge er vanddråber i størrelsesorden ca. 2 til ca. 10 μm , og da de anvendte optiske målere ikke tørrer luften før måling, giver de små vanddråber i tågen meget høje registreringer ved målingen af lysspredningen i OPC'ernes målecelle – i størrelsesorden op til 30.000 $\mu g/m^3$. Tågedannelse om natten og i morgentimerne har specielt i efterårsmånederne givet anledning til et stort antal fejlvisninger på de optiske sensorer. Betydningen var størst for PM_{10} -målingerne pga. størrelsesfordelingen i tågen.

Disse registreringer blev fjernet fra måledata, før videre beregning af støvkoncentrationer kunne foretages. Som sorteringsparameter anvendtes den relative luftfugtighed, som blev hentet fra DMI's vejrstation i Sjælsmark. Alle værdier for timer med mere end 96 % relativ fugtighed blev fjernet.

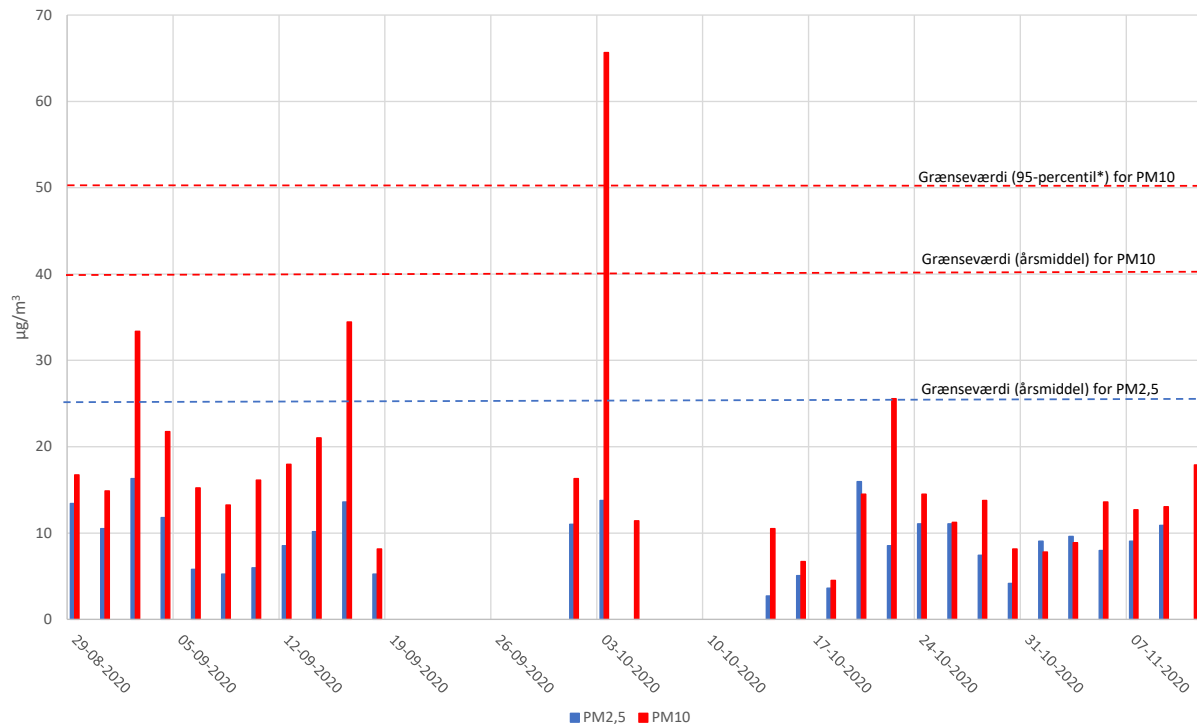
I EU's luftkvalitetsdirektiv er det anvist, at døgnmiddelværdier kun er valide, hvis der er mindst 18 valide timemiddelværdier. Derfor er der set bort fra døgnværdier, hvor tågehændelser har udgjort mere end seks timer, eller hvor data på anden vis ikke vurderes valide. Kalibreringerne er således foretaget for døgn med mindst 18 valide timer, hvilket har begrænset antal anvendelige døgn.

De målinger af svævestøv, der er foretaget med det filterbaserede måleudstyr i henhold til referencemetoden EN 12341, kan anvendes til sammenligning med grænseværdierne for $PM_{2,5}$ og PM_{10} . Den registrerede betydning af tåge gør, at OPC-målerne ikke er anvendelige til målinger i perioder, hvor tågedannelse er hyppig, som fx de sene efterårsmåneder og vintermåneder. I perioder med tågedannelse vurderes det, at emissionen og spredningen af støv vil være mindre end i perioder uden tågedannelse. Dette skyldes den høje fugtighed og de lave vindhastigheder, der typisk forekommer ved tågedannelse. Det vurderes derfor, at de udførte målinger med de optiske sensorer efter de foretagne sorteringer giver gode indikationer af svævestøvs-koncentrationer i de tre afstande fra grusgraven.

Indhold af α -kvars i svævestøv

Til bestemmelse af koncentrationen af α -kvars er der udvalgt filtre opsamlet med referencemetoden for svævestøv. Der er udvalgt fem filtre med $PM_{2,5}$ og fem filtre med PM_{10} – alle tilstræbt blandt dage, hvor vinden i 20-24 timer har været vestlig, dvs. med vindretning fra grusgraven mod målepositionen. For disse dage er udvalgt de fem filtre, hvor der var mest opsamlet støvmateriale for hhv. $PM_{2,5}$ og PM_{10} .

FIGUR 3 SVÆVESTØV MÅLT MED REFERENCEMETODEN.



Døgnværdier for PM_{2,5} og PM₁₀ målt med referencemetoden. EU's grænseværdier for hhv. PM_{2,5} og PM₁₀ er vist som stiplede linjer.

Svævestøv – målt med referencemetoden

PM_{2,5} og PM₁₀ er målt med referencemetoden i hhv. 27 og 29 dage med bl.a. henblik på kalibrering af de optiske svævestøvmålere, der mælte mere eller mindre kontinuerligt fra april frem til november. Måling af svævestøvs-koncentrationer skulle ligeledes anvendes til sammenligning med grænseværdier. Resultaterne af målingerne er vist og sammenstillet med de respektive grænseværdier i Figur 3. Tabel 3 på næste side, viser resultaterne af svævestøvmålingerne med referencemetoden.

Den meget høje værdi for PM₁₀, som ses den 3. oktober 2020 på figur 3, formodes at kunne forklares ud fra de østlige vindretninger i perioden, der på grund af langtransporteret støv fra bl.a. "dust storms" i den sydlige del af Rusland (Rostov-na-Donu-regionen) medførte forhøjede koncentrationer af PM₁₀ over store dele af Skandinavien (8). Hvis der ses bort fra denne outlier viser resultaterne, at koncentrationsniveauet af svævestøv fra grusgraven i måleperioden ikke overskrider de fastsatte grænseværdier.

Der blev indsamlet måledata med referencemetode EN 12341 i august og september 2020, som var en periode med relativt lave nedbørsmængder og relativt høje temperaturer, og dermed i en periode med høj risiko for støvdannelse fra grusgravens aktiviteter. Idet der ikke blev målt overskridelser af grænseværdierne i løbet af august og september 2020, vurderes det, at risikoen for overskridelser af grænseværdierne for PM_{2,5} og PM₁₀ ved måling i årets øvrige måneder derfor vil være lav.

TABEL 3 RESULTATER AF SVÆVESTØVSMÅLINGER MED REFERENCEMETODEN (EN12341).

Måleværdi	PM _{2,5}	Grænseværdi	PM ₁₀	Grænseværdi
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Middelværdi	9	25	17	40
Maksimumværdi	16	-	66	-
Minimumværdi	3	-	5	-
90,4 percentil ²	-	-	28	50
Antal måledage	27		29	

² 90,4-percentilen gælder for døgnmiddelværdier målt over et år. Denne grænseværdi på 50 µg/m³ for PM₁₀ som er en døgnværdi, der ikke må overskrides mere end 35 gange pr. kalenderår.

Svævestøv – målt med optiske mikrosensorer (OPC)

Målingerne med de optiske mikrosensorer er som tidligere nævnt blevet påvirket af tågedannelse. Særligt i efterårs- og vinterperioden forekom der mange timer med meget tåge, og resultaterne for disse timer er derfor ikke pålidelige. I henhold til Bekendtgørelsen om luftkvalitet (4) er en døgnmiddelværdi kun valid, hvis døgnet har mere end 17 timer med valide resultater. FORCE har derfor fjernet døgnmiddelværdier for alle døgn, hvor der har været mere end seks timer med tåge. Men da der anvendes data fra DMI's målestation 15 km fra målepositionen/grusgraven, kan lokal tågedannelse potentielt være årsag til, at koncentrationerne målt med de optiske mikrosensorer i korte perioder i det sene efterår derfor kan være forhøjede.

Døgnmiddelværdier for PM_{2,5} og PM₁₀ er for de tre målepositioner vist grafisk i hhv. Figur 4 og 5. Der har i måleperioden været fejl og udfordringer med kalibreringen af OPC'erne, hvorfor der på nogle af positioner er hul i målingerne. Dette fremgår mere specifikt af rapporten, som kan downloades fra Region Hovedstadens hjemmeside.

De tre optiske mikrosensorer har skiftet position i løbet af måleprogrammets varighed, men i perioden 12. juni til 7. oktober 2020 har de stået fast på hver sin position. For denne periode er der beregnet middelværdier for PM_{2,5} i timer mellem kl. 6 og 16 på hverdage, hvor vinden har blæst fra grusgraven. Der er beregnet middelværdier for positionerne ved grusvejen, 75 meter fra grusvejen og 200 meter fra grusvejen. Resultaterne er vist i Tabel 4 på side 12.

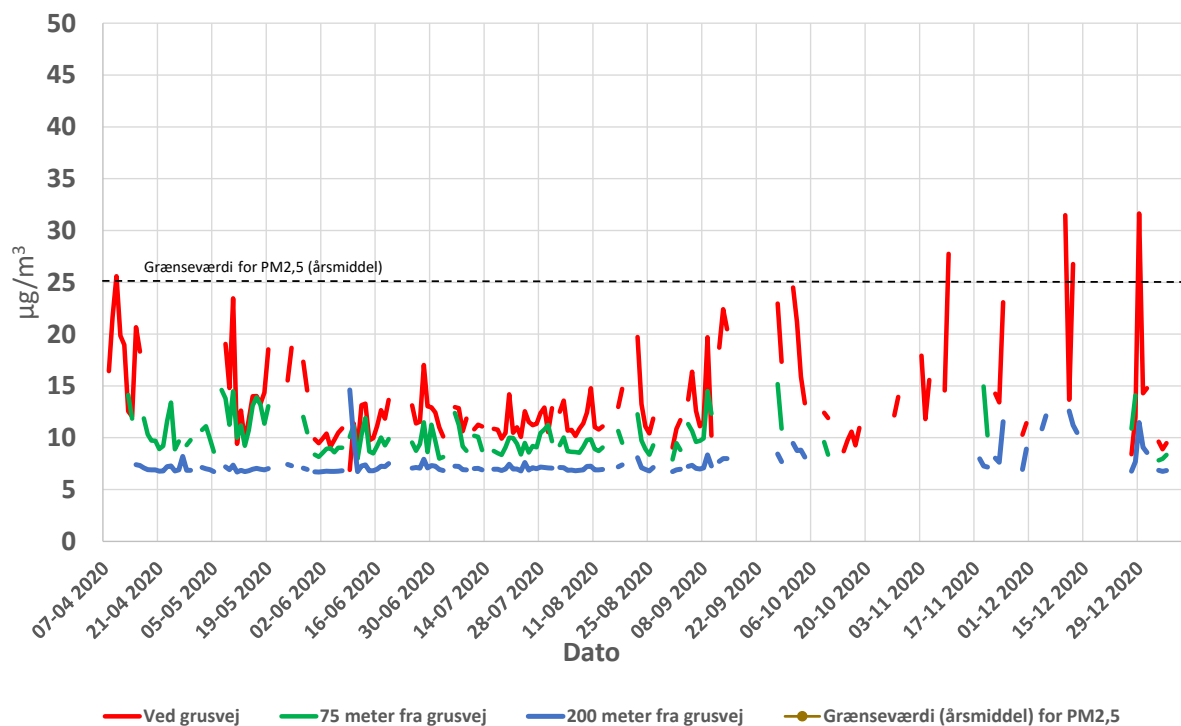


Døgnværdier for PM₁₀ målt med optiske mikrosensorer.

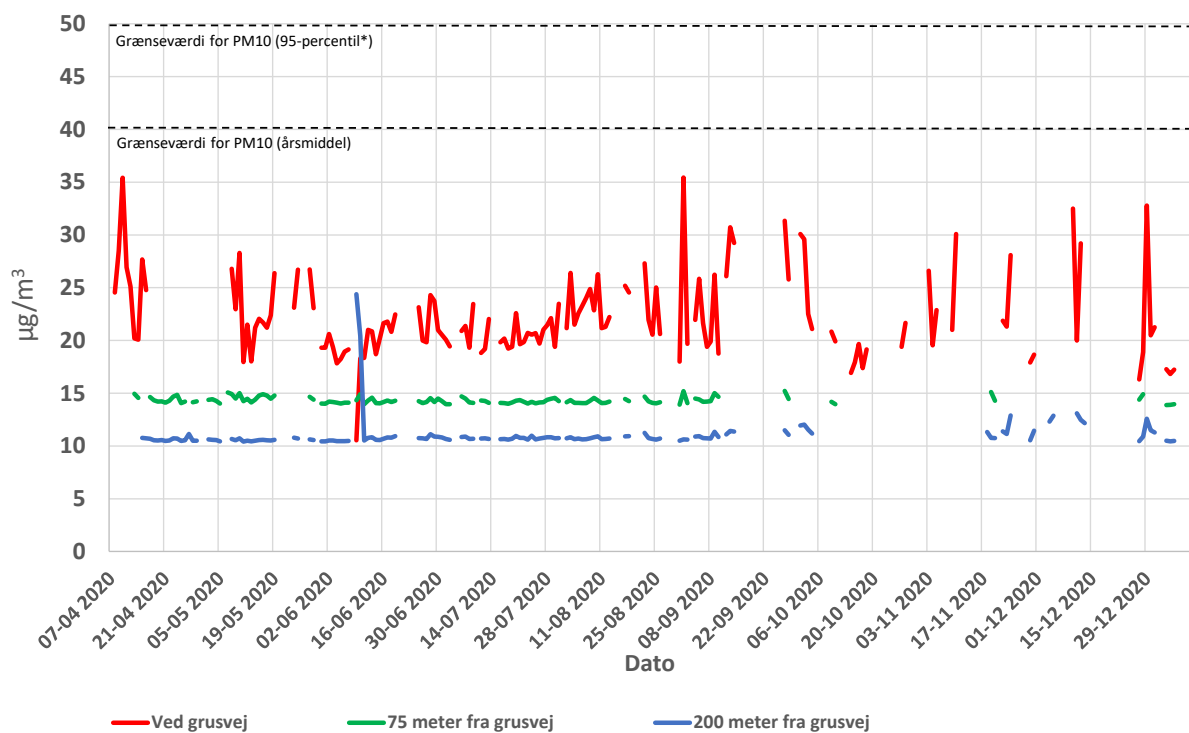
Døgnværdier for $PM_{2,5}$ målt med optiske mikrosensorer³.



FIGUR 4 DØGNMIDDELVÆRDIER FOR $PM_{2,5}$ MÅLT MED OPTISKE MÅLERE.



FIGUR 5 DØGNMIDDELVÆRDIER FOR PM_{10} MÅLT MED OPTISKE MÅLERE.³



³ Målingerne med mikrosensorer er ikke omfattet af akkrediteringen.

TABEL 4 PM_{2,5} MIDDELVÆRDIER FOR TIMER MED VIND FRA GRUSGRAVEN HHV. FRA MARKERNE FORDELT PÅ HHV. HVERDAGE OG IKKE-HVERDAGE. MÅLT I TRE FORSKELLIGE AFSTANDE FRA GRUSGRAVEN MED OPTISKE MIKROSENSORER.⁴

PM _{2,5} målt ved grusvej. Koncentration (µg/m ³) i tidsrummet 6 til 16					
Vindretning (° fra nord)	Betegnelse	Middelværdi		Antal timer	
		Hverdag	Ikke Hverdag	Hverdag	Ikke Hverdag
340-150	Marker	12	12	274	113
150-340	Grusgrav	13	13	484	179

PM _{2,5} målt 75 m fra grusvej. Koncentration (µg/m ³) i tidsrummet 6 til 16					
Vindretning (° fra nord)	Betegnelse	Middelværdi		Antal timer	
		Hverdag	Ikke Hverdag	Hverdag	Ikke Hverdag
340-150	Marker	10	11	274	113
150-340	Grusgrav	10	10	484	179

PM _{2,5} målt 200 m fra grusvej. Koncentration (µg/m ³) i tidsrummet 6 til 16					
Vindretning (° fra nord)	Betegnelse	Middelværdi		Antal timer	
		Hverdag	Ikke Hverdag	Hverdag	Ikke Hverdag
340-150	Marker	7	7	274	113
150-340	Grusgrav	7	7	484	179

⁴ Målingerne med mikrosensorer er ikke omfattet af akkrediteringen.

Koncentrationsniveauet for PM_{2,5} og PM₁₀ målt med OPC ved grusvejen er generelt højere end på den position, der ligger 75 m fra grusgraven, som igen generelt er højere end positionen 200 m fra grusgraven. Generelt gælder dette for hele måleprogrammets varighed. Ved vurderingen af data skal det erindres, at den anvendte målemetode med OPC ikke er en akkrediteret og standardiseret metode. Trods kalibrering over for referencemetoden kan resultaterne ikke tillægges samme validitet som resultater for referencemetoden, og det skal bemærkes, at det har været nødvendigt at fjerne data fra en række måledage med høj relativ fugtighed og tågedannelse.

Ingen af de målte koncentrationer af PM_{2,5} og PM₁₀ overskrider de fastsatte grænseværdier for svævestøv. Resultaterne indikerer, at der ikke er signifikant forskel på middelkoncentrationer på hverdage versus ikke- hverdage, og der er heller ikke forskel på middelkoncentrationer ved vind fra grusgraven versus vind fra andre retninger – i Tabel 4 kaldet "Marker".

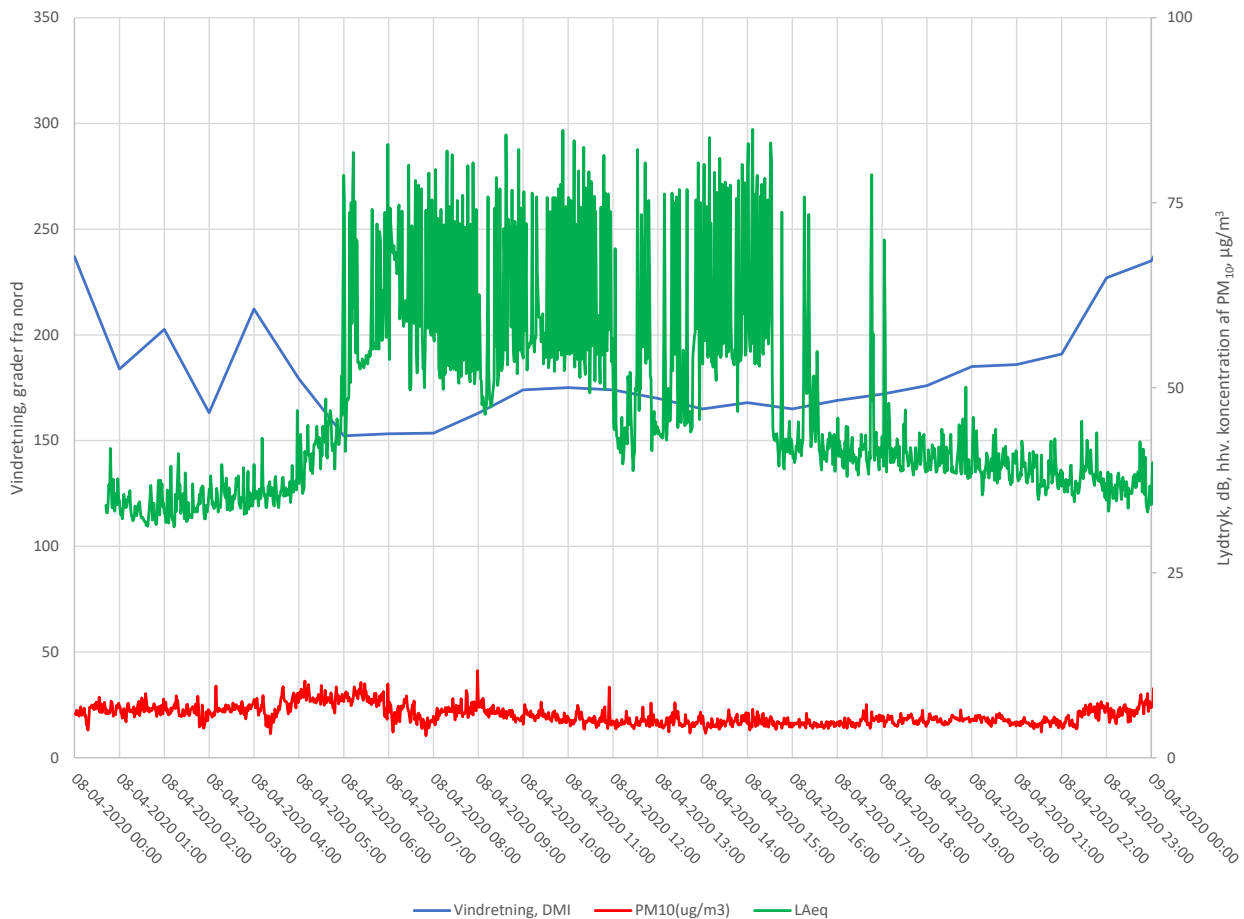
Resultaterne indikerer en lille forskel mellem koncentrationerne tæt på grusvejen – og dermed tæt på grusgraven – i forhold til koncentrationerne længere væk. Forskellene er imidlertid relativt små, og alle koncentrationer er lave.

Vurdering af svævestøv relateret til trafik og øvrig råstofaktivitet

Der blev opstillet en støjmåler ved indkørselsvejen til grusgraven for bl.a. at undersøge, om trafik på tilkørselsvejen umiddelbart påvirker koncentrationen af svævestøv tæt på tilkørselsvejen. Figur 6 viser målinger af PM₁₀ og støj for den 8. april 2020, hvor vinden var fra syd-sydvest, og evt. ophvirvlet støv fra tilkørselsvejen blev derfor ført mod måleudstyret.

Ved vurdering af PM_{2,5} i forhold til trafik på indkørselsvejen til grusgraven ses ingen forhøjede koncentrationer i timer med trafik, hvilket sandsynligvis kan tilskrives, at der sker daglig vanding af grusvejen for at reducere støvflugten. Tilsvarende ses ingen forøgede koncentrationer inden for grusgravens åbningstider på hverdage fra kl. 6 til 16, og grusgravens aktiviteter er således ikke årsag til forhøjede koncentrationer af PM_{2,5}. Målinger af lydepisoder ved grusgraven (antageligt forårsaget af trafik på indkørselsvejen) har vist, at de fleste forbi-kørsler har fundet sted i tidsrummet 6-16 på hverdage i perioden frem til ca. uge 40.

FIGUR 6 SAMMENSTILLING AF VINDRETNING, STØJ OG SVÆVESTØV, 8. APRIL 2020.⁵



⁵ De viste målinger af lydtryk, PM_{10} og vindretning er ikke omfattet af akkrediteringen.

Figur 6 viser det registrerede lydtryk den 8. april 2020, hvor der var meget høj trafikaktivitet på tilkørselsvejen. Trods det, at vinden var fra sydlige retninger, og at evt. ophvirvlet støv den 8. april derfor føres mod måleudstyret, måles der på denne dag ikke særligt høje koncentrationer af svævestøv (se resultater for PM_{10} i Figur 6). På alle hverdage bliver der kørt vand på grusvejen omkring kl. 9-10. Dette formodes at være årsagen til, at resultaterne for PM_{10} ikke blev påvirket af støvdannelse fra grusvejen.

Generelt viser resultaterne for sammenstillingen af vindretning, lydtrykningsniveauet fra forbi-kørende lastbiler og den daglige vanding omkring kl. 10, at der er et lille fald i støvkoncentrationer lige omkring dette tidspunkt, hvilket må være forårsaget af vandingen af vejen.

Generelt viser resultaterne dog, at der ikke er forskel på middelkoncentrationer af svævestøv hhv. i situationer med og uden kørsel på grusvejen, og der er heller ikke forskel på middelkoncentrationer ved vind fra grusgraven versus vind fra andre etninger – i Tabel 5 kaldet "Marker". Årsagen er formodentlig den daglige vanding af grusvejen for binding af støvet. Selve råstofgraven (dvs. indvinding, sortering og læsning af råstoffer) bidrager heller ikke med en målbar, forhøjet koncentration af svævestøv til omgivelserne.

TABEL 5 PM_{2,5} MIDDEL-VÆRDIER MÅLT I PERIODER MED VIND FRA GRUSGRAVEN HHV. FRA MARKERNE, FORDELT PÅ TIMER MED KØRSEL HHV. IKKE-KØRSEL PÅ GRUSVEJEN. MÅLT I TRE FORSKELLIGE AFSTANDE FRA GRUSGRAVEN MED OPTISKE MÅLERE.⁶

PM _{2,5} ved grusvej. Koncentration (µg/m ³) i tidsrummet 6 til 16					
Vindretning (° fra nord)	Betegnelse	Middelværdi		Antal timer	
		Kørsel på grusvej	Ikke Kørsel på grusvej	Kørsel på grusvej	Ikke Kørsel på grusvej
340-150	Marker	12	12	210	177
150-340	Grusgrav	13	12	436	227

PM _{2,5} 75 m fra grusvej. Koncentration (µg/m ³) i tidsrummet 6 til 16					
Vindretning (° fra nord)	Betegnelse	Middelværdi		Antal timer	
		Kørsel på grusvej	Ikke Kørsel på grusvej	Kørsel på grusvej	Ikke Kørsel på grusvej
340-150	Marker	10	10	210	177
150-340	Grusgrav	10	10	436	227

PM _{2,5} 200 m fra grusvej. Koncentration (µg/m ³) i tidsrummet 6 til 16					
Vindretning (° fra nord)	Betegnelse	Middelværdi		Antal timer	
		Kørsel på grusvej	Ikke Kørsel på grusvej	Kørsel på grusvej	Ikke Kørsel på grusvej
340-150	Marker	7	7	210	177
150-340	Grusgrav	7	7	436	227

⁶ De viste målinger af PM_{2,5} er foretaget med mikrosensorer og er ikke omfattet af akkrediteringen.

α-kvarts i svævestøv

Til belysning af, om der kan være α-kvarts i det støv, der kommer i vindretninger fra grusgraven, og for at vurdere omfanget af luftbåret α-kvarts, er der udvalgt 10 filtre til laboratorieanalyse for indhold af α-kvarts – fem PM_{2,5}-filtre og fem PM₁₀-filtre. Det var tilstræbt, at alle filtre skulle være fra dage med mere end 20 timers vind fra grusgravens retning, og heraf filtre med de største opsamlede støvmængder. Der er imidlertid i to tilfælde sket fejl, idet der er foretaget laboratorieanalyse for α-kvarts fra dage uden vind fra grusgraven (markeret med timeantal 0 i Tabel 6). De samlede resultater ses i Tabel 6. Det fremgår her, at der er fundet α-kvarts i enkelte døgnprøver af svævestøv ved vindretninger fra grusgraven i niveauer fra <0,1 µg/m³ til 0,5 µg/m³. Den fastlagte grænseværdi for α-kvarts er på 5 µg/m³ som B-værdi, og denne koncentration er ikke fundet overskredet i de målte prøver fra råstofgraven. Dog er der i et enkelt tilfælde uden vind fra grusgraven fundet 6,9 µg/m³, hvilket formentlig kan tilskrives en regional påvirkning, der stammer fra store støvstorme i det sydlige Rusland, hvor støv efterfølgende er blæst ind over Skandinavien.

B-værdien for α-kvarts er 5 µg/m³ – se Tabel 6. Det skal understreges, at B-værdien ikke må overskrides som timemiddelkoncentration i mere end syv timer på en måned. B-værdien er således ikke direkte sammenlignelig med de fundne koncentrationer, men må kun anvendes som en indikator for størrelsesordenen, og er i øvrigt et mål for det tilladelige bidrag fra kilden (her råstofgravens aktiviteter) – ikke en grænseværdi for den samlede koncentration i udeluften.

TABEL 6 α -KVARTS I SVÆVESTØV SAMMENHOLDT MED DET MÅLTE INDHOLD AF HHV. $PM_{2,5}$ OG PM_{10} MED REFERENCEMETODEN.⁷

Eksponeringsdato	Timer med vind fra kilden	Partikler		α -kvarts	
		Størrelse	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Andel af partikler	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
04-09-2020	23	$PM_{2,5}$	12	< 0,8%	< 0,1
14-09-2020	21	$PM_{2,5}$	10	< 0,9%	< 0,1
16-09-2020	21	$PM_{2,5}$	14	1,3%	0,2
20-10-2020	18	$PM_{2,5}$	16	0,7%	0,1
09-11-2020	0	$PM_{2,5}$	11	< 0,8%	< 0,1
03-09-2020	24	PM_{10}	22	2,4%	0,5
11-09-2020	20	PM_{10}	18	1,3%	0,2
13-09-2020	24	PM_{10}	21	< 0,4%	< 0,1
02-10-2020	0	PM_{10}	66	10,5%	6,9
21-10-2020	24	PM_{10}	26	0,8%	0,2

⁷ De viste målinger af $PM_{2,5}$ er foretaget med mikrosensorer og er ikke omfattet af akkrediteringen.

Konklusion og perspektivering – "Lessons learned"

Målingerne af svævestøv med referencemetoden over 4 uger i oktober-november tæt på grusgraven og tilkørselsvejen hertil har vist, at koncentrationerne af $PM_{2,5}$ og PM_{10} er væsentligt under de gældende grænseværdier for svævestøv. Målinger af svævestøv med små optiske sensorer (ikke akkrediteret metode) fra april til januar bekræfter, at koncentrationerne af $PM_{2,5}$ og PM_{10} over hele måleperioden generelt var lave og under grænseværdierne. Resultaterne indikerer, at der generelt er lidt højere koncentrationsniveau af svævestøv tæt på tilkørselsvejen til grusgraven.

Målinger af α -kvarts i svævestøvet viser døgnværdier, der er markant lavere end den tilhørende B-værdi. De to sæt værdier kan ikke sammenlignes direkte, da B-værdien er angivet som maksimal timemiddelværdi, og sammenligningen kan derfor kun anvendes til indikation af størrelsesordenen.

Sammenstilling af data for støv, vind og støj indikerer, at trafikken på tilkørselsvejen ikke giver anledning til forhøjede koncentrationer af $PM_{2,5}$ og PM_{10} . Det kan formentlig tilskrives, at tilkørselsvejen vandes dagligt.

Med baggrund i måleresultaterne konkluderes, at råstofaktiviteterne i sig selv ikke bidrager med en målelig, forhøjet koncentration af svævestøv til omgivelserne.

Dertil kommer, at hovedbestanddelen af smeltevandsaflejret sand og grus udgøres af korn/partikler i fraktionen 0,06–20 mm. Kornstørrelsen er dermed væsentligt større end de 10 μm der karakteriseres som svævestøv.

Målinger af svævestøv med en optisk metode har i den konkrete opgave vist en væsentlig begrænsning, idet små vandaerosoler i tåge har givet anledning til en betydelig fejlvisning på de små, optiske målere. Det er forsøgt løst ved at fjerne data fra "tåge"-målinger ud fra timer med høj luftfugtighed, som korrelerer godt med forekomsten af tåge. For at kunne foretage en sådan eliminering bedst muligt,

skal data for fugtighed være geografisk så tæt sammenhørende med støvmålingerne som muligt. I det aktuelle tilfælde er de meteorologiske data målt på DMI's målestation, som ligger i en afstand på ca. 15 km fra grusgraven. Lokal tågedannelse omkring grusgravsområdet kan derfor potentielt være årsag til, at koncentrationerne målt med de optiske målere for det sene efterår ser lidt for høje ud. For fremtidig brug af de optiske målere anbefales det at etablere en meteorologisk målestation ved støvmålestationen for at opnå en fuldstændig korrelation af aerosolkoncentrationer og timer med tåge.

Målingernes formål var at dokumentere forhold ved en grusgrav i drift og med en tilkørselsvej, der vandes dagligt. For en dokumentation af, om vanding har en god effekt, bør man en anden gang involvere en periode uden vanding, således at udbredelsen af ophvirvlet støv kan inddrages i vurderingen. FORCE Technology har erfaring for, at det ses tydeligt og hurtigt, når en svævestøvmåler er placeret på en position tæt på en tilkørselsvej.

Samlet må det konkluderes, at de optiske mikrosensorer har været nyttige i denne opgave, hvor det ønskedes vurderet, hvordan koncentrationen af svævestøv ændres som funktion af afstanden til grusgraven. Det har imidlertid vist sig, at relativt store mængder data fra de optiske mikrosensorer under vejrforhold med høj fugtighed ikke var valide og derfor måtte frasorteres. Hvis man ønsker $PM_{2,5}$ og PM_{10} målt omkring grusgrave i fremtidige måleprogrammer, er det derfor FORCE Technologys anbefaling, at der udføres akkrediteret måling med referencemetode på en eller to "realistiske worst case" positioner, dvs. positioner nær naboområder med hyppige vindretninger fra kilden. Herved opnår man et mere sikkert og validt datagrundlag, og det vurderes samtidigt, at der (1) vil være en tidsbesparelse i forbindelse med den efterfølgende databehandling, og (2) at der ikke skal udføres en tidskrævende validering af de optiske mikrosensorer (ved indledende kalibrering med referencemetoden).

Målinger af støj gav gode informationer om trafikken på tilkørselsvejen til grusgraven og dermed en god indikation af aktiviteten. Sådanne målinger må klart anbefales, når det som her er muligt, fordi det i et betydeligt omfang kan besvare spørgsmål om, hvorvidt der var aktivitet i grusgraven. For at kunne anvende denne information må det forudsættes, at trafikken hovedsageligt har med grusgraven at gøre, og at grusgravens øvrige aktivitet er korreleret med mængden af udleveret grus.

Referencer

- /1/ **Arne Oxbøl og Karsten Fuglsang.** Notat til Region Hovedstaden: Erfaringer og anbefalinger vedrørende støvnedfald og svævestøv ved råstofindvinding, FORCE Technology. 2021.
 - /2/ **Karsten Fuglsang, Ole Schleicher og Arne Oxbøl.** Baggrundsdokument for fastsættelse af grænseværdi for nedfald af støv og regulering af støvemissioner fra diffuse kilder. dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ (nu en del af FORCE Technology). Miljøprojekt nr. 879, 2003.
 - /3/ **Ministry for the Environment.** Good Practice Guide for Assessing and Managing Dust. Wellington, New Zealand: ISBN: 978-0-908339-73-0, 2016.
 - /4/ **BEK nr. 1472 af 12/12/2017.** Bekendtgørelse om vurdering og styring af luftkvaliteten. 2017.
 - /5/ **Miljøstyrelsens vejledning nr. 20.** Vejledning om B-værdier. 2016.
 - /6/ **Bundesrat Drucksache 767/20.** Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft.
 - /7/ **BEK nr 209 af 13/02/2021.** Bekendtgørelse om grænseværdier for stoffer og materialer. 2021.
 - /8/ **Det europæiske Copernicus Monitoring Service program.** https://policy.atmosphere.copernicus.eu/reports/CAMS71_PM10_episode_October2020_draft.pdf. [Online]
 - /9/ **John Cappelen og Bent Jørgensen.** Technical report 99-13, Observed wind speed and direction in Denmark – with climatological standard normal, 1961-90. Copenhagen: Danish meteorological institute, 1999.
 - /10/ **Arne Oxbøl og Karsten Fuglsang.** Rapport til Region Hovedstaden: Måling af støvpåvirkning fra en grusgrav i Region Hovedstaden ved måling af støvnedfald, svævestøv og α -kvarts, FORCE Technology. 2021.
-