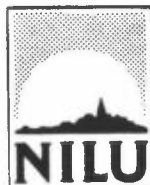


NILU OR : 89/86
REFERANSE: O-1125
DATO : JULI 1986
ISBN : 82-7247-771-8

FJELLINJEN VEITUNNEL I OSLO.

STØVUTSLIPP OG STØVNEDFALL
FRA VENTILASJONS-SJAKTER

Steinar Larssen



Norsk institutt for luftforskning

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU OR : 89/86
REFERANSE: O-1125
DATO : JULI 1986
ISBN : 82-7247-771-8

FJELLINJEN VEITUNNEL I OSLO.

STØVUTSLIPP OG STØVNEDFALL
FRA VENTILASJONS-SJAKTER

Steinar Larssen

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

SAMMENDRAG

Det er for Oslo Veivesen utført en vurdering av muligheten for at støvnedfall blir et problem rundt ventilasjons-sjaktene for Fjellinjen, ved at slitasjestøv fra veidekke-slitasje følger med ventilasjonsluften ut gjennom sjakten.

Det er anslått at støvnedfallet vil kunne bli i området $10 \text{ g/m}^2 \times \text{måned}$ i området 50-100 m fra sjakten i hovedvindretningene, dvs. mot nord og nordøst og sør og sørvest om vinteren og våren, da støvnedfallet vil være størst. Til sammenligning anslås at støvnedfallet i Oslo sentrum i dag er $5-10 \text{ g/m}^2 \times \text{måned}$. Nær veier og byggeplasser vil støvnedfallet kunne være en god del større. I vurderingsgrunnlaget for ulempen ved støvnedfall ligger $10 \text{ g/m}^2 \times \text{måned}$ på grensen mellom "moderat" og "høyt".

Tilleggsbelastningen fra sjaktene er derved anslått å kunne bli større enn dagens støvnedfall. Problemet med støvnedfall fra sjakten er knyttet til piggdekkseasonen og for øvrig utover våren, når vinterens veistøvdepot frigjøres og virvles opp. Det er grovstøvet (partikkelstørrelse større enn ca. $50 \mu\text{m}$) som gir støvnedfall. Finstøvet (eksospartikler) gir ikke støvnedfall.

Estimatet av støvnedfallet er knyttet til en rekke forutsetninger. En nærmere undersøkelse av støv i luft i tunneler og nær veier vil bedre grunnlaget. Spesielt gjelder dette undersøkelse av grovstøvet størrelsesfordeling (partikler større enn ca. $50 \mu\text{m}$ i diameter).

Støvplagen kan reduseres ved

- å redusere støvgenereringen (piggdekkforbud, renhold).
- å fjerne støv fra sjaktlufta.

Støv kan fjernes fra sjaktlufta ved hjelp av ulike typer utstyr. Ved vurdering av utstyr er det viktig å være klar over at det kun er grovstøvet (størrelse $>50 \mu\text{m}$) som skal fjernes. Finstøvet har ingen interesse i denne sammenheng. Det som synes best egnet i dette tilfellet er utfellingskamre, som kan fjerne grovstøv fra store luftmengder uten et vesentlig trykkfall. En foreløpig vurdering tyder på at vifte-

hallen og sjakten slik det nå er planlagt, er store nok til å gi rom for utfellingskamre. Det anbefales å få plassbehov og trykkfall for aksialsykloner nærmere utredet.

Beregningene av støvnedfall rundt sjaktene hviler på en rekke forutsetninger som er vanskelige å etterprøve. Vi mener at utfellingskamre med utskillingsgrad 50% eller mer for partikler større enn 50 μm i diameter, kombinert med hyppig renhold av tunnelen, vil redusere støvnedfallet så mye at det stort sett knapt vil merkes i forhold til det støvnedfall en har i området fra før. Det anbefales å måle støvnedfallet over en lengre periode før og etter at sjaktene settes i drift, for å bekrefte dette.

INNHOLD

	Side
SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	5
2 STØVGENERERING	5
2.1 Eksospartikler	5
2.2 Partikler fra veistøv-depotet	6
3 UTSLIPP AV STØV FRA SJAKTEN	9
4 STØVNEDFALL VED SJAKTER	10
5 MULIGHETER FOR REDUKSJON AV STØVNEDFALLET	13
6 KONKLUSJON	14
VEDLEGG 1	16

FJELLINJEN VEITUNNEL I OSLO. STØVUTSLIPP OG STØVNEDFALL FRA VENTILASJONS-SJAKTER

1 INNLEDNING

Luftbårne partikler fra slitasje av veibanen kan gi siktproblemer i veitunneller og problemer med støvnedfall rundt eventuelle ventilasjons-sjakter. Det er i første rekke piggdekk-bruk om vinteren som gir slitasje av veibanen.. Ved tørre veiforhold gir dette høye konsentrasjoner av luftbåret støv ved veien. Partiklene har en bred størrelses-fordeling, med partikkeldiametre fra rundt 1 μm og opp til flere hundre μm (1000 μm = 1 mm). Siktproblemene skyldes de minste partiklene, og støvnedfallsproblemet skyldes de største. I tillegg kommer eksospartiklene fra bilene, som i hovedsak har diametre mindre enn 1 μm . Sommerdekkenes slitasje av veibanen er liten, og eksospartiklene er da hovedkilden til luftbåret støv langs veien. Dette innebærer at støvnedfall ved ventilasjons-sjakter for veitunneller er et problem hovedsakelig om vinteren og våren.

2 STØVGENERERING

Hovedkildene til støv langs veier er:

- partikler fra veistøv-depotet, som hovedsakelig skyldes
 - slitasje av veibanen.
 - støv ført inn til veien med kjøretøyer.
- eksospartikler.

2.1 EKSOSPARTIKLER

Eksospartiklene er i hovedsak mindre enn 1 μm i diameter. Det er en rekke skadelige stoffer knyttet til eksospartikler, f.eks. bly fra bensinbiler og organiske stoffer fra både bensin- og dieslbiler. Diskusjonen her skal begrenses til partikkel-mengde. Dieseldrevne

lastebiler har et vesentlig større partikkelutslipp enn bensindrevne personbiler. Et rimelig godt estimat for partikkelutslipp ved bykjøring er følgende:

personbiler	0.15 g/km
dieseldrevne lastebiler	1.0 g/km

Fra en trafikkstrøm med 15% tungtrafikk er derved bidragene fra biler og lastebiler omtrent like store.

I en tunnel som Fjellinjen med tverrsnitt 85.5 m^2 og en lufthastighet på 6 m/s , vil 2000 biler/time med 15% tungtrafikk gi en konsentrasjon på ca 0.3 mg/m^3 pr 1000 m tunnellengde. Konsentrasjonen bygger seg opp fra munningen og innover. Gjennomsnittskonsentrasjonen for en 1000 m lang homogen tunnel blir da ca 0.15 mg/m^3 , og for en 2000 m lang tunnel ca 0.3 mg/m^3 . I tillegg til dette kommer bidraget fra veistøvet.

2.2 PARTIKLER FRA VEISTØV-DEPOTET

UTGANGSPUNKT A: MÅLINGER AV STØVKONSENTRASJON I LUFT I TUNNELLER.

Oppvirvling av veistøv gir en støvkonsentrasjon i luft som i en veitunnel i hovedsak er avhengig av

- trafikkmengden
- tunnelarealet
- ventilasjonshastigheten
- veiens tørrhet og luftens relative fuktighet

Her tas utgangspunkt i støvmålinger utført i norske veitunneler i piggdekkseasonen (Myran, 1985).

Tabell 1 gir et utdrag av Myrans måleresultater. Måleteknikken som er brukt innebærer at partikkelprøvene representerer størrelsesfraksjonen fra noen tiendels μm til $2\text{-}300 \mu\text{m}$ i diameter. Resultatene gir også en indikasjon på variasjonen i støvkonsentrasjonen når det er tørt, og forholdet mellom støvkonsentrasjon når det er tørt eller fuktig.

Tabell 1: Støvkonsentrasjon målt i luft i norske veitunneler (Myran, 1985).

Tunnel	Veiforhold	Målt støvkonsentrasjon* Gj.snitt av flere målesteder langs tunnel. mg/m ³	Støvkonsentrasjon normalisert til 500 biler/time, areal 52 m ² og lufthastig- het 2 m/s
Aranipa	Tørt	1.5	2.7
Troldhaugen	Tørt	2.7	1.1
Haukeli	Delvis fuktig	~0.3	~0.8
Høgenhei	Delvis fuktig	~0.5	-
Løvstakken	Tørt	1	0.55
Lier, opp	Tørt	1	0.65

* Partikkel-størrelsesfraksjon <2-300 µm diameter.

På grunnlag av disse resultater kan følgende estimer gis av støvkonsentrasjonen i luft i veitunneler, normalisert til 500 biler/time, tverrsnitt 52 m² og ventilasjonshastighet 2 m/s:

typisk tørt: 0.75 mg/m³

ekstremt tørt: 3 mg/m³

typisk fuktig (1/2-1/3 av typisk tørt): 0.25-0.35 mg/m³

Dette gir følgende støvkonsentrasjoner for Fjellinjen, med 2000 biler/time, 85.5 m² og 6 m/s:

typisk tørt: 0.6 mg/m³

ekstremt tørt: 2.4 mg/m³

typisk fuktig: 0.2-0.3 mg/m³

Disse tallene inkluderer bidraget fra eksospartikler. I en 2 km lang Fjellinje gir eksospartiklene en gjennomsnittlig støvkonsentrasjon på ca. 0.3 mg/m³. Bidraget fra veistøvdepotet blir differansen mellom total-tallene over og eksos-bidraget. Dette innebærer at under fuktige forhold er bidraget fra veistøvet lite, og at det er eksospartiklene som dominerer. Under forhold kalt "typisk tørt" blir veistøvbidraget ca. 0.3 mg/m³, mens det for "ekstremt tørt" blir ca. 2 mg/m³.

UTGANGSPUNKT B: DATA FOR VEIBANE-SLITASJE

Et gjennomsnittstall for slitasje av asfaltveier fra en trafikkstrøm med piggdekk og 10% tungtrafikkandel er 50 g/km. I en tunnel med 2000 biler/time gir dette slitasje-mengden 2.75 g støv pr sekund pr 100 meter tunnel-lengde.

Bare en del av dette støvet består av partikler små nok til å bli luftbåret særlig lenge. Under transport med luften gjennom tunnelen sedimenterer partiklene ut (faller ned av egen tyngde). Oversikten nedenfor gir den tunnel-lengde som ved lufthastighet 6 m/s er nødvendig for at partiklene felles ut.

Part.diameter μm	Fallhastighet ¹ cm/s	Tunnellengde (m) nødvendig for x meter fall	
		x = 2.5m	x = 5 m
100	25^2	60	120
200	100^2	15	30

1 Beregnet etter Stokes lov for sedimentasjon av sfæriske partikler med tetthet 1 g/cm³.

2 Forutsatt at Stokes lov gjelder tilnærmet for 100-200 μm partikler.

Veistøvet har en tetthet større enn 1 g/cm³. I følge dette er flertallet av partikler større enn 200 μm derved felt ut etter 30 m mindre enn transport langs tunnelen.

Her er forutsatt at fallhastigheten til 100-200 μm partikler følger Stokes lov som gjelder stillestående luft. Dette er bare tilnærmet riktig. Så store partikler har mindre fallhastighet enn Stokes lov gir, spesielt i den kraftige turbulensen en har i tunneler. Dette fører til at nødvendig tunnel-lengde for utfelling av partikler i realiteten er en del lengre enn gitt ovenfor.

Som konklusjon på ovenstående får en at i en 30 meter lang tunnel-seksjon i Fjellinjen tunnel produseres samlet ca. 0.8 g støv/s fra veibane-slitasje. Med lufthastighet 6 m/s og tverrsnitt 85.5 m³ gir dette følgende konsentrasjoner av luftbåret støv, avhengig av andelen av total-slitasjen som blir luftbåret:

Andel av total-slitasje som blir luftbåret	Resulterende konklusjon av luftbåret støv
1/2	0.8 mg/m ³
1/4	0.4 mg/m ³
1/6	0.25 mg/m ³
1/8	0.2 mg/m ³

En andel luftbåret støv av total-slitasje på 1/4-1/6 gir samme luftbåret støvkonsentrasjon som estimert i seksjon 2.2.A, 0.3 mg/m³. En luftbåret andel på 1/4-1/6 kan synes rimelig ut fra måling av størrelsesfordelingen av partikler i veistøvdepot, utført på veistøv samlet i ulike gater i Oslo.

Begge estimatene bygger på en rekke forutsetninger, og de er derfor usikre.

Det bør utføres målinger av mengden og størrelsesfordelingen av luftbåret støv i veitunneler, spesielt for partikler større enn ca. 50 µm. Dette vil kunne bedre estimatet av støvnedfall ved sjakter betraktelig.

3 UTSLIPP AV STØV FRA SJAKTEN

Støvnedfall er en kumulativ effekt. Avsatt støv fjernes ved nedbør og renhold. Det er det gjennomsnittlige støv utslipp over lengre tid, f.eks. en måned, som er av størst interesse.

Lufthastigheten i tunnelen er av størrelse 6 m/s. I kanaler mellom tunnel og sjakt og i sjakten kan den være større. Under disse forhold vil man få en øvre grense på størrelsen av partikler som følger luftstrømmen ut til sjakten på anslagsvis 200-300 µm. Partikler større enn 300 µm vil sedimentere i løpet av ca. 20 m tunnellengde. Endel partikler i intervallet 200-300 µm vil også falle ut i kanalene mellom tunnelen og sjakten, dersom disse er noen ti-talls meter lange. I sjakten er lufthastigheten så stor at alle partikler i lufta som kommer dit føres opp og ut.

Gjennomsnittlig produksjon av veistøv-partikler i tunnelen er avhengig av frekvensen av tørre forhold. Det tas utgangspunkt i følgende støv-konsentrasjoner:

typisk fuktig:	0.1 mg/m ³
typisk tørt:	0.3 mg/m ³
ekstremt tørt:	2 mg/m ³

Kombinasjonen 50% fuktig, 45% tørt og 5% ekstremt tørt gir en gjennomsnittlig konsentrasjon på ca. 0.3 mg/m³.

Med utgangspunkt i en gjennomsnittlig ventilasjons-mengde i Fjellinjen på 520 m³/s, gir dette et utslipp av veislitasjestøv på ca. 160 mg/s.

4 STØVNEDFALL VED SJAKTER

Støvnedfallet beregnes ut fra sjakthøyde, partiklenes egen fallhastighet og gjennomsnittlig vindstyrke. Vindstyrken avgjør hvor langt partiklene transporteres fra sjakten før de når bakken. Jo større denne er gjennomsnittlig over lengre tid, jo større blir støvnedfallsområdet og jo mindre blir det gjennomsnittlige støvnedfallet.

Størrelsesfordelingen av partiklene er viktig for hvor stort støvnedfallet blir. Fallhastigheten øker med kvadratet av diameteren slik at jo større partiklene er, dess mindre blir støvnedfallsområdet, og dess større blir støvnedfallet her. Nedenfor gis fallhastighet i stillestående luft for sfæriske partikler med spesifikk tetthet 1 g/cm³. Fallhastigheten øker proporsjonalt med tettheten.

Partikkel diameter, μm	Fallhastighet cm/s
50	6
75	14
100	23
150	50*
200	90*

Fallhastigheten er noe mindre enn dette, som er beregnet ut fra Stokes lov. Denne gjelder ukorrigert opp til knapt 100 μm partikkeldiameter.

Ved en forenklet beregning av støvnedfallet fra sjakter for Fjellinjen tunnel tas utgangspunkt i følgende forutsetninger:

Støvets størrelsesfordeling: 50% vekt større enn 100 μm
 50% vekt mindre enn 100 μm
 Gjennomsnittlig vindstyrke : 2 m/s
 Sjakthøyde (over flater som påvirkes av støvnedfallet) : 25 m

Den antatte størrelsesfordelingen bør kontrolleres ved målinger. Forutsetningen ovenfor gir antagelig et overestimat av andel partikler større enn 100 μm .

Støvnedfallet kan på grunnlag av dette beregnes til følgende, dersom en også forutsetter samme hyppighet av vind i alle retninger:

Partikkelfraksjon μm	Antatt gj.snitts- diameter μm	Støvnedfall g/m^2 måned	Influensområde, radius fra sjakten meter
< 100	75	~ 0.25	150-300
> 100	150	~ 3	50-150

En ser at partikler med diameter større enn 100 μm dominerer støvnedfallet, og vil falle ned stort sett mellom 50 m og 150 m avstand fra sjakten.

Hyppigheten av vind er ulik i ulike retninger. Hovedvindretningene i Oslo medfører at områder nord og nordøst for og sør og sørvest for sjaktene kan få opptil 3 ganger så høy belastning som gjennomsnittet beregnet ovenfor, dvs. anslagsvis 10 g/m^2 måned. Dette blir en ekstra belastning i tillegg til det støvnedfall en har i området fra før.

Som vurderingsgrunnlag for ulempen ved støvnedfall, benyttes i Norge følgende kriterier:

Støvnedfall g/m ² . måned	Vurdering
≤ 5	Lavt
5-10	Moderat
10-15	Høyt
> 15	Meget høyt

Dette innebærer at tilleggsbelastningen fra sjakten gir et moderat til høyt støvnedfall i de mest belastede områder, i tillegg til det støvnedfall en har i området fra før.

Støvnedfall er tidligere ikke målt i Oslo sentrum. Eksempler på målinger foretatt andre steder i Norge er gitt nedenfor:

Målested	Støvnedfall g/m ² mnd. gj.snitt maks. måned
E6, Skedsmo 5 m fra veikant	10 36
E6, Skedsmo 20 m fra veikant	3.5 12
Drammen tak i bysentrum (Strømsøe)	2.0 (sommer) 3.8 1.4 (vinter)
Kristiansand Sentrum	4-6 14
Mo i Rana ved E6 i sentrum (Jernverket)	10 40
Sentrum, unna vei	10-15 30 (typisk) 60 (ekstremt)
Narvik Ved LKAB's malmlager	6-15 20 (typisk) 80 (ekstremt)
Oslo Groruddalen, v/Haraldrud søppe- forbrenning	3.9

Fra dette kan støvnedfallet i Oslo sentrum estimeres til 5-10 g/m³ i gjennomsnitt, med maksimalverdier opp i det dobbelte. Dette gjelder områder tilbaketrukket fra sterkt trafikkerte veier. Svært nær veier kan støvnedfallet bli en god del større.

Den tilleggsbelastning som tunnel-sjakten er beregnet å gi vil derved doble støvnedfallet i de områder som belastes mest fra sjakten.

Som nevnt i innledningen vil støvnedfallet fra sjaktene gjøre seg gjeldende først og fremst om vinteren og våren og kanskje spesielt i mars-mai.

5 MULIGHETER FOR REDUKSJON AV STØVNEDFALLET

Støvnedfallet kan reduseres enten ved å redusere produksjonen (veibane-slitasje) eller ved å fjerne luftbåret støv fra sjaktluften.

Veibane-slitasjen kan reduseres ved mindre bruk av piggdekk. Ved piggdekk-forbud vil veibane-slitasjen bli liten, og mengden luftbåret støv reduseres vesentlig.

Mengden luftbåret støv kan også reduseres en del ved hyppig renhold av veibanen i tunnelen.

Luftbåret støv kan i utgangspunktet fjernes fra sjakt-luften ved ulike teknikker. Ved vurdering av disse må en huske på at støvnedfallet i hovedsaken skyldes partikler større enn anslagsvis 100 μm , og at det er disse som må fjernes.

Utfellingskamre som benytter seg av den kombinerte effekt av partiklenes tyngde og treghet synes å være den best egnete teknikk for avskilling av disse partiklene. Elektrofiltre, grovfiltre og sykloner blir alle for plass- og kostnadskrevende, og har en utskillingsgrad som er langt høyere enn det som er nødvendig i dette tilfellet.

Ifølge Norsk Viftefabrikk kan enkle utskillingskamre konstrueres som gir en utskillingsgrad på 50% eller mer for partikler med diameter større enn 50 μm . Trykkfallet er oppgitt til å bli lite, i nærheten av 30 mm WS.

6 KONKLUSJON

Nedfall av støv ved veier og nær ventilasjons-sjakter for veitunneler skyldes i hovedsak piggdekkenes slitasje av veibanen. Problemet begrenser seg til tørre perioder om vinteren og våren, og er generelt størst i april-mai, når veistøvdepotet som har bygd seg opp gjennom vinteren frigjøres når veibanen tørker.

Produksjonen av luftbåret støv fra slitasje av veibanen er estimert ved to ulike metoder. De to estimatene, basert på hvert sitt sett av forutsetninger, stemmer bra overens.

Støvnedfallet ved sjakter skyldes i hovedsak partikler med diameter større enn 100 μm . Ved en 25 m høy sjakt for Fjellinjen er det gjennom en forenklet beregningsmetode anslått at støvnedfallet i de mest hyppige vindretninger kan bli 10 g/m^3 måned. I svært tørre måneder om våren kan det bli større. Støvnedfallet vil være størst i avstander fra 50 til 150 m fra sjakten.

I de retningslinjer for støvnedfall som benyttes av NILU regnes støvnedfall på 10 g/m^2 pr. måned for å være på grensen mellom "moderat" og "høyt".

På bakgrunn av målinger utført i andre byer kan en estimere at støvnedfallet i dag i Oslo sentrum, tilbaketrukket fra veier, er mindre enn 10 g/m^2 måned størstedelen av året, i gjennomsnitt ytterligere mindre. Ventilasjonssjaktene for Fjellinjen vil dermed medføre en vesentlig økning av støvnedfallet i områdene nær sjakten, spesielt i retningene nord og nordøst og sør og sørvest innenfor 50-150 m fra sjakten. I de områdene som belastes mest fra sjakten blir støvnedfallet da "meget høyt".

Støvnedfallet kan reduseres ved å redusere produksjonen eller ved å fjerne støv fra sjakt-luften. Produksjonen vil bli vesentlig mindre ved piggdekk-forbud, og en vil da ikke ha noe støvnedfallsproblem. Hyppig renhold av tunnelen vil også redusere mengden luftbåret støv en del.

Den best egnete metode for fjerning av grovstøvet fra sjaktluften synes å være bruk av utfellingskamre. Sjakthallen, slik den var utformet på tegninger lagt fram på møte i Vegdirektoratet 14.11.1986, synes å gi nok plass for utfellingskamre.

Beregningen av støvnedfallet fra sjaktene hviler på en rekke forutsetninger som er vanskelig å etterprøve. En tror likevel at en utskillingsgrad på 50% eller mer for partikler av diameter større enn 50 μm er nødvendig og sannsynligvis tilstrekkelig til å redusere det ekstra støvnedfallet fra sjaktene, som blir plassert i trafikkerte områder, slik at det knapt blir merkbart, kanskje bortsett fra enkelte spesielle tilfeller med svært mye støvproduksjon i tunnelen. Kombinert med hyppig renhold av tunnelen skulle imidlertid et utfellingskammer gi akseptable forhold rundt sjakten.

Det anbefales å la et firma som har erfaring med utfellingskamre å beregne utskillingsgrad og trykkfall.

REFERANSER

Myran, T. (1985) Partikkelforurensning i veitunneler. Trondheim, SINTEF, Avd. for bergteknikk. SINTEF (Rapport nr. STF 36A85045).

