



Nr B  
2390  
Augusti  
2020

## Åtgärder avseende diffusa partikelemissioner från bygg- och industriprocesser

Malin Gustafsson, Jenny Lindén, Gabriella Villamor Saucedo



**I samarbete med:**  
Swerock AB, NCC  
Industry AB, Skanska  
Industrial Solutions  
AB, Svenska  
Byggbranschens  
Utvecklingsfond och  
Stiftelsen IVL

**Författare:** Malin Gustafsson, Jenny Lindén, Gabriella Villamor Saucedo

**Medel från:** Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Stiftelsen IVL, Skanska Industrial Solutions AB, NCC Industry AB och Swerock AB

**Fotograf:** Bilder och fotografier i denna rapport är tagna av författarna eller har Creative Commons licens.

**Rapportnummer** B 2390

**ISBN** 978-91-7883-208-8

**Upplaga** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2020**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

## Förord

Detta projekt initierades som ett samarbete mellan IVL Svenska Miljöinstitutet AB (IVL), Swerock AB, Skanska Industrial Solutions AB och NCC Industry AB. Projektet genomfördes med finansiering från Svenska Byggbranschens utvecklingsfond (SBUF), Stiftelsen IVL och de deltagande företagen. Projektgruppen bestod av Peter Martinsson (Swerock), Monica Almefelt (Swerock), Per Murén (NCC), Pär Johnning (NCC), Katarina Wallinder (Skanska) Camilla Sarin (Skanska), Malin Gustafsson (IVL) och Jenny Lindén (IVL). Jerker Carlström (Swerock) och Håkan Gustafsson (Skanska) hjälpte till att organisera mätkampanjerna vid Swerocks bergtäkt i Vänersborg respektive Skanskas bergtäkt i Angered. Arbetsgruppen på IVL bestod av, utöver ovan nämnda, Gabriella Villamor Saucedo, Henrik Fallgren, Luka Merelli och Karin Söderlund.

Vi vill tacka SBUF, Stiftelsen IVL samt de deltagande företagen för den finansiering som gjorde projektet möjligt.

# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
1 Introduktion.....	7
1.1 Syfte.....	7
2 Vilka är de viktigaste källorna till diffusa partikelemissioner? .....	9
2.1 Loss hållning .....	10
2.2 Transporter.....	10
2.3 Materialhantering .....	11
2.3.1 Krossning och siktning .....	11
2.3.2 Lastning och lossning .....	12
2.4 Passiv damning .....	12
3 Vilka åtgärder är de mest effektiva? .....	13
3.1 Åtgärder avseende transporter.....	14
3.1.1 Städning av asfalterad väg .....	14
3.1.2 Vattenbegjutning av grusväg .....	17
3.1.3 Grusväg jämfört med asfalterad väg.....	20
3.2 Åtgärder avseende krossning och siktning.....	23
3.3 Övriga åtgärder.....	26
3.3.1 Åtgärder avseende borrning och sprängning.....	27
3.3.2 Åtgärder avseende lastning och lossning.....	27
3.3.3 Åtgärder avseende passiv damning .....	27
3.3.4 Växtbarriärer och vindskydd .....	29
4 Hur påverkar väderförhållanden och årstider emissionerna av partiklar? .....	30
4.1 Vinddriven damning .....	30
4.2 Effekten av luftfuktighet och nederbörd.....	31
4.3 Säsongsbaserad effekt på damningen.....	31
5 Vilka åtgärder ska sättas in och när? .....	32
6 Slutsatser och framtida studier .....	35
Referenser.....	36
Bilaga 1. Genomförande .....	38

# Sammanfattning

Partiklar i utomhusluft uppkommer på såväl naturlig väg som genom mänsklig verksamhet. Diffus damning är ett vanligt förekommande problem för verksamheter där material, såsom sten, jord, malm eller kalk, bryts, hanteras eller bearbetas. Drivkrafterna för detta projekt har sitt ursprung i industrins behov av att minimera diffusa partikelemissioner och begränsa spridningen av damm från diffusa källor förekommande på bergtäkter, med i första hand avsikt att förbättra arbetsmiljön. Syftet med denna studie är att identifiera och kvantifiera effekten av olika damningsreducerande åtgärder för att svara på ett antal frågor. Nedan ges en sammanfattning av resultaten och slutsatserna för respektive frågeställning.

*Vilka är de viktigaste källorna till diffusa partikelemissioner?*

För täktverksamhet identifierades fyra huvudsakliga källor till damning: *losshållning, transporter, materialhantering* och *passiv vinddriven damning* från upplag och öppna ytor. Av dessa konstaterades transporter och materialhantering (krossning och siktning) vara de källor som orsakade mest damning samt hade störst potential att kunna åtgärdas. Mätningar och beräkningar genomfördes för att uppskatta effekten av följande åtgärder: städning av asfaltsväg, vattenbegjutning av grusväg, vattenbegjutning vid krossning och siktning samt skumbegjutning vid krossning och siktning.

*Vilka åtgärder är de mest effektiva?*

Städning av asfaltsväg visade på i stort sett ingen effekt på kort sikt. Stora partiklar togs visserligen bort, men de små blev kvar och omfördelades på vägen. Om en asfalterad väg, på en bergtäkt eller liknande verksamhet, inte städas alls riskerar den dock att så småningom förvandlas till en grusväg med en hård underliggande yta. Städning kan också ha sina fördelar i att minska spridning av damm till andra vägar. Vattenbegjutning av grusväg visade sig däremot kortsiktigt vara mycket effektivt. Efter fem timmar var dock effekten av vattenbegjutningen borta, vilket innebär att vattenbegjutning bör ske två gånger under en arbetsdag vid torra förhållanden. En jämförelse mellan asfalts- och grusväg visade att emissionerna var lika stora eller högre för asfaltsvägen. Detta är något förvånande men belyser hur viktigt det är förstå vad det är som orsakar damning. Baserat på resultaten från denna och tidigare studier kan slutsatsen dras att vägar med ett hårt underlag (asfalt eller välpackat grus som inte har någon förmåga att via kapillärkraft dra upp fukt från underliggande mark), på vilka det ligger ett lager löst och torrt material, dammar mest. Fokus borde därför ligga på att minimera eller binda detta lösa lager med material. I framtida studier bör man istället för att bara skilja på asfalts- och grusväg identifiera viktiga egenskaper som kan påverka damningen från en väg.

För krossning och siktning visade sig skumbegjutning vara en mycket effektiv åtgärd.

Partikelemissionerna från krossen minskade med mellan 96 och 99%, med den största effekten på de större partikelfraktionerna. Skummet minskade dock även emissionerna av små partiklar (PM<sub>2.5</sub>) mycket effektivt. Skummet tillsattes i krossen men effekten återfanns även i sikten, vars partikelemissioner minskade med 78 - 87%. Skum är en intressant åtgärd som inte har någon påvisad effekt på slutprodukten, samt att den går att använda även vintertid. Eftersom bara lite vatten används blir inte heller materialet blött, vilket i vissa fall annars kan vara ett problem. I denna studie har vi inte tagit i beaktning eventuella miljöeffekter som skulle kunna uppkomma vid tillverkning eller användning av skum. Ingen information om skummets miljöpåverkan har kunnat hittats i litteraturen. Vattenbegjutning visade också goda resultat, med en ungefärlig halvering av emissionerna från både sikten och krossen.

*Hur påverkar väderförhållanden och årstider emissionerna av partiklar?*

Väderförhållanden har en stark påverkan på damning, med vind och nederbörd i främsta led. Vinden kan dra iväg med damm som lyfts mekaniskt, pga. exempelvis transporter eller sprängning, och vid höga vindhastigheter kan damm lyftas från marken och orsaka vad vi kallar passiv damning. Nederbörd har en mycket damningsreducerande effekt för alla partiklar utom små partiklar (PM<sub>2.5</sub>). Detta eftersom partiklarna är för små för att tas upp av vattendroppar. Små partiklar som emitteras kan sålunda transporteras långväga även om det regnar.

*Vilka åtgärder ska sättas in och när?*

Vilka damningsreducerande åtgärder som bör sättas in beror på verksamheten, anläggningens läge och utformning samt de lokala meteorologiska förhållandena. Det är därför viktigt att förstå hur det fungerar på varje anläggning. För att hitta de mest effektiva åtgärderna, både avseende minskning av damningsintensitet, spridning och investeringskostnader i förhållande till den damningsreduktion man kan uppnå, kan nedanstående steg följas.



Bra arbetsrutiner och sänkta hastigheter kan utan någon större investering minska den diffusa damningen. Ett viktigt steg i att reducera damning kan vara att i den mån det går anpassa arbetet efter väderlek, genom att exempelvis minimera dammande aktiviteter när det är torrt och blåsigt. Vattenbegjutning är ofta en bra åtgärd om den inkluderas i arbetsrutinen, vatten finns oftast tillgängligt och effekten är direkt, om ej så långvarig. Om en längre period med torrt väder väntas kan exempelvis rutiner där dammbindningsmedel läggs ut/arbetas in i underlaget införas.

För aktiviteter såsom krossning och siktning, där relativt stora mängder partiklar emitteras ett par meter över marken, bör vattenbegjutning alternativt skumbehandling användas som standard, där skumbegjutning är betydligt effektivare men har en högre kostnad.

Beroende på var verksamheten ligger kan olika typer av barriärer vara intressant för att reducera spridningen av damm. Exempelvis kan växtbarriärer minska både spridningen samt öka depositionen av partiklar. Växtlighet kan även hjälpa till att minska vinddriven damning och erosion från deponier, bullervallar samt andra öppna ytor, samtidigt som den bidrar till den biologiska mångfalden.

# 1 Introduktion

Diffus damning är ett vanligt förekommande problem för verksamheter där material, såsom sten, jord, malm eller kalk, bryts, hanteras eller bearbetas. Begreppet diffus damning inkluderar partikelemissioner från en mängd olika källor och aktiviteter vanligt förekommande inom industri och byggarbetsplatser. Till skillnad från punktutsläpp från exempelvis skorstenar är diffus damning betydligt mer komplicerat att kvantifiera och åtgärda. Svårigheten med diffus damning beror främst på att den kan uppstå från många olika källor på en stor geografiskt utspridd yta, samt att den påverkas av flertalet faktorer såsom verksamhetens aktiviteter, meteorologiska förhållanden och damningsbenägenheten hos de material som hanteras.

Hälso- och miljökäl är anledningar till att det finns ett behov inom industrin att minimera diffus damning. Detta är dock en utmaning eftersom kunskap saknas om vilka damningsreducerande åtgärder som är mest effektiva.

Denna rapport är resultatet från samarbetet mellan IVL, Swerock AB, NCC Industry AB och Skanska Industrial Solutions AB. Projektet är finansierat av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), Stiftelsen IVL, Swerock AB, NCC Industry AB och Skanska Industrial Solutions AB.

## 1.1 Syfte

Drivkrafterna för detta projekt har sitt ursprung i behovet att minimera diffusa partikelemissioner och begränsa spridningen av damm från diffusa källor förekommande vid bergtäkter, med avsikt att förbättra arbetsmiljön.

Syftet med denna studie har varit att identifiera och kvantifiera effekten av olika damningsreducerande åtgärder. Studien har fokuserat på dammande processer associerade med täktverksamhet, men resultaten är delvis även applicerbara för verksamheter inom andra branscher, såsom gruvindustrin och byggsektorn. I denna studie har vi försökt svara på följande frågor:

## BAKGRUND

Partiklar i utomhusluft uppkommer på såväl naturlig väg som genom mänsklig verksamhet. Partikelemissioner från diffusa källor har varit ett känt problem under många år. De tidigaste studierna fokuserade främst på partikelemissioner från öppna icke vegeterade ytor orsakade av vinderosion [1-3]. Under de senaste årtiondena har partikeldamning associerade med verksamheter såsom gruvor, stålindustrin och jordbruk uppmärksammats allt mer [4-6].

Intresset för att hitta damningsreducerande åtgärder har under senare tid ökat [7-9]. Detta för att de negativa effekterna på människors hälsa och växtlighet samt problem med nedsmutsning har uppmärksammats [11-13]. Problematiken med diffus damning återfinns i stort sett hos alla industriella verksamheter som hanterar dammande material. Diffus damning är inte bara ett problem vid industriell verksamhet utan även för byggsektorn, där utvecklingen och förtätningen av våra städer leder till stora infrastrukturprojekt där många dammande aktiviteter genomförs i tätbefolkade områden. Detta ökar behoven av åtgärder som minskar emissioner från diffusa källor alternativt begränsar spridning av damm.

Kunskaperna om hur väl damningsreducerande åtgärder fungerar, samt vilka som är lämpligast och mest kostnadseffektiva, är idag mycket bristfällig eftersom kvantifiering av diffusa partikelutsläpp är komplicerat och kräver att man tar hänsyn till såväl aktiviteter, meteorologiska parametrar som materialegenskaper m.m. [10]. Därtill är kunskapen om hur nordiskt klimat, framförallt avseende tjäle, is och snö, påverkar diffusa emissioner närmast obefintlig.

- **Vilka är de viktigaste källorna till diffusa partikelemissioner?** Inom ett industriområde/byggarbetsplats finns det generellt flera källor/aktiviteter som bidrar till de diffusa partikelutsläppen, och det är därför viktigt att förstå vilka av dessa källor/aktiviteter som bidrar mest för att kunna fokusera åtgärdsarbetet där det gör mest nytta.
- **Vilka åtgärder är de mest effektiva?** Det finns många olika typer av damningsreducerande åtgärder som antingen minskar emissioner (t ex reducerad fordonshastighet, vattenbegjutning) eller begränsar spridningen av partiklar (t ex barriärer, naturliga eller uppsatta). Vilka är de mest effektiva åtgärderna för de olika typerna av källor/ aktiviteter som identifierats?
- **Hur påverkar väderförhållanden och årstider emissionerna av partiklar?** Hur stor påverkan har olika väderförhållanden, såsom hög vindhastighet och hög luftfuktighet, på emissionerna och spridningen av partiklar? Eftersom tidigare studier nästan uteslutande har genomförts under den varmare delen av året, ville vi undersöka hur emissionerna förändras under olika årstider, med fokus på vinterförhållanden.
- **Vilka åtgärder ska sättas in och när?** Effekt och lämplighet hos vissa åtgärder varierar vid olika meteorologiska förhållanden. Till exempel är vattenbegjutning, som vanligtvis är ett effektivt sätt att minska damning, inte lämpligt när det är minusgrader ute, och effekten av lövträd som planterats som en barriär minskar då dessa fäller sina blad under vinterhalvåret.

**Upplägget i denna rapport** utgår ifrån de fyra frågor som ställts ovan. För varje fråga ges först en övergripande beskrivning därefter presenteras en sammanställning de svar som vi kommit fram till utifrån litteraturen samt de mätningar och beräkningar som genomförts i detta projekt. Metodbeskrivning avseende mätningar och beräkningar återfinns i Bilaga 1.

## GENOMFÖRANDE

Projektet har innefattat tre huvudsakliga moment:

**Workshop:** Hösten 2018 genomfördes en workshop med nyckelpersoner från industrin och IVL Svenska Miljöinstitutet. Under denna workshop identifierades de viktigaste källorna till damning inom bergtäktsverksamhet samt för vilka åtgärder som mätningar skulle genomföras. En avslutande workshop där resultaten presenterades och diskuterades genomfördes i juli 2020.

**Litteraturstudie:** Litteraturstudien hade som syfte att identifiera och beskriva både de åtgärder för vilka mätningar skulle genomföras samt andra möjliga åtgärder. Litteraturstudien inkluderade även sammanställning av kunskapen kring hur meteorologiska förhållanden påverkar damning.

**Mätningar och beräkningar av åtgärder:** Under 2019/2020 genomfördes mätningar och beräkningar av effekten av olika åtgärder för transporter på asfalterat respektive grusatunderlag och krossning/siktning av medelkornig granitisk gnejs med visst inslag av amfibolitgångar, se Bilaga 1.

## FÖRKORTNINGAR

PM<sub>10</sub>-partiklar mindre än 10 mikrometer i diameter.

PM<sub>2.5</sub>-partiklar mindre än 2.5 mikrometer i diameter.

TSP- Total mängd Suspenderade Partiklar

EF-Emissionsfaktor

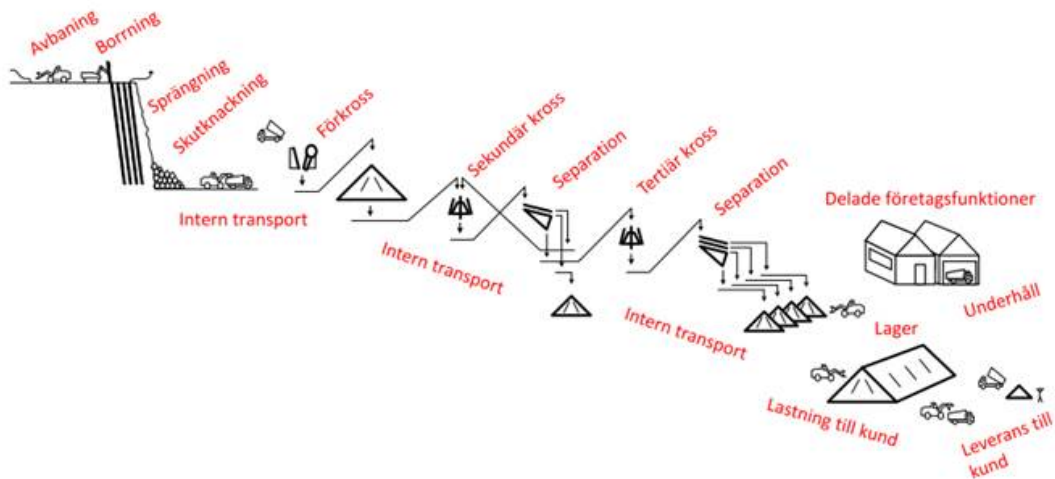


## 2 Vilka är de viktigaste källorna till diffusa partikelemissioner?

Vilka källor som står för de största diffusa utsläppen varierar inom och mellan olika typer av verksamheter (Figur 1). Inom bergtäktsverksamhet kan de viktigaste damningskällorna delas upp i fyra kategorier:

- **Losshållning:** borrhning, sprängning och skutknackning
- **Transporter:** interna transporter samt transporter in och ut från området.
- **Materialhantering:** krossning, siktning, lastning/lossning
- **Passiv damning:** upplag, deponier och öppna ytor

Utav dessa damningskällor identifierades, i samråd med deltagande parter, transporter samt krossning och siktning som de viktigaste källorna till damning, samt att det fanns mest potential att reducera emissioner från dessa källor. Under 2019 genomfördes mätningar av effekten av olika åtgärder för transporter och krossning/siktning. Resultaten presenteras i avsnitt 3.

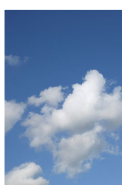


Figur 1 Flödesschema över arbetsprocessen från bergtäkt till färdigt material. Källa: Chalmers, Gauti Asbjörnsson 2017

I följande stycken beskrivs de huvudsakliga källorna till damning inom bergtäktsverksamhet inklusive de faktorer som påverkar damningsintensiteten från dessa källor.

## 2.1 Losshållning

Att bryta berg involverar flera steg, först ska jord och löst material tas bort från ytan (avbaning), därefter kommer ytterligare tre steg, som vi kommer diskutera här: borring, sprängning och skutknackning. I bergtäkter där man arbetar med mobil kross- och siktutrustning sker oftast borring och sprängning enbart ett fåtal gånger per år [8]. Lindahl [8] beskriver damning från losshållning i detalj. Sammanfattningsvis anses damningen från borring inte vara så stor eftersom borring helst ska ske med dammsugning och borrhax ska samlas upp i säckar eller skumbegjutas. Sprängning orsakar ofta ett större punktutsläpp av partiklar, det är därför viktigt att tänka på de meteorologiska förhållandena när man planerar att spränga, höga vindhastigheter kan orsaka att dammet sprids långväga. Skutknackning är den process där allt förstora stenblock från sprängsalvan delas i bitar som går att lasta in i förkrossen. Denna process kan generera en viss mängd damm, men anses generellt inte vara en av de största källorna till damning i en bergtäkt [8]. Hur mycket det dammar från losshållning beror på rådande **meteorologi** och **bergartens egenskaper**.



### METEOROLOGI

- Vind
- Nederbörd
- Luftfuktighet



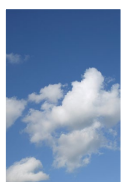
### BERGARTENS EGENSKAPER

- Mineralinnehåll
- Densitet
- Spaltning
- Sprödhet
- Fuktighet

## 2.2 Transporter

Inom en bergtäkt finns det flertalet vägar, transportsträckor och andra ytor som trafikeras av fordon vilka kan orsaka diffus damning. De fordon som främst ger upphov till damningen är bland annat dumprar, lastbilar och hjullastare.

Faktorer som kan påverka damning från transporter kan delas in i fyra kategorier; **meteorologi**, **fordonets egenskaper**, **körsätt** och **underlaget**.



### METEOROLOGI

- Vind
- Nederbörd
- Luftfuktighet
- Temperatur



### FORDONET

- Storlek (höjd)
- Antal hjulpar
- Frigångshöjd
- Antal släp



### KÖRSÄTT

- Hastighet
- Inbromsningar/acceleration
- Placering på vägen (kant/mitt)
- Lastad eller tom



### UNDERLAGET

- Typ av underlag (asfalt/grus)
- Materialfuktighet
- Partikelfraktion på väg

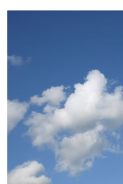
Antal hjulpar och typ av däck påverkar hur mycket damm som rivs upp från marken. Fordonets storlek, form och frigångshöjd påverkar den turbulens som bildas under och bakom fordonet vilken i sin tur påverkar hur mycket damm som lyfts från marken samt hur dammet sprids. Avseende underlaget så skiljer sig påverkan åt beroende på om vägen/ytan är asfalt eller grus. Om vägen är asfalterad har det betydelse hur smutsig den är: Det vill säga hur mycket partiklar finns det på vägen samt i vilka storleksfraktioner. För grusvägar påverkas damningen av materialsammansättningen, tätare sammansättning av vägmaterial ger en ökad fukthållande förmåga. Körsätt påverkar också hur mycket det dammar från transporter, exempelvis påverkar hastighet, acceleration och inbromsning damningsintensiteten. Meteorologiska parametrar påverkar i stort sett alla diffusa damningskällor. Avseende transporter så reducerar regn och dagg emissionen av diffusa partiklar från vägen, medan höga vindhastigheter kan ta tag i och dra iväg med partiklar som rivits upp av ett passerande fordon. För mer information om hur meteorologiska parametrar påverkar damning se avsnitt 4.

## 2.3 Materialhantering

Materialhantering har en stor betydelse för den totala diffusa damningen från en anläggning. Till materialhantering räknar vi krossning, siktning samt lossning/lastning.

### 2.3.1 Krossning och siktning

Krossning och siktning har betydande påverkan på damningen. Vikten av krossning och siktning som damningskällor beror på i vilken utsträckning material krossas, hur många krossteg samt till vilka storlekar materialet krossas och sikts. **Materialets egenskaper** och damningsbenägenhet är också viktigt. Inom bergtäktsverksamhet anges krossning och siktning som de främsta damningskällorna [29, 30]. Utöver materialegenskaper påverkas damningen från krossning/siktning främst av vilken **typ av kross/siktverk** som används samt **meteorologi**. Se en detaljerad lista över faktorerna som kan påverka damning från krossning och siktning nedan.



#### METEOROLOGI

- Vind
- Nederbörd
- Luftfuktighet
- Temperatur



#### KROSS/SIKTVERKET

- Typ av maskin
- Fallhöjd från transportband
- Metod för i- och urlastning
- Storleksfraktioner som krossas och sikts



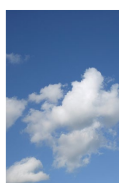
#### MATERIALEGENSKAPER

- Mineralinnehåll
- Densitet
- Vittringsbenägenhet
- Materialfuktighet

## 2.3.2 Lastning och lossning

En del av materialhanteringen inom täktverksamhet är lastning och lossning vid transport. Med lastning avser vi främst när en hjullastare lastar material på en dumper eller liknande fordon, medan lossning avser när materialet tippas av flaket. I den tidigare studien "DiffDamm" identifierades lastning och lossning som en relativt viktig damningskälla av de deltagande företagen [24]. I en studie som genomfördes på Vargön Alloys stod dock lastning och lossning bara för en mindre del av den totala damningen [10]. I denna studie beräknades emissionsfaktorer för lastning och resultaten var av samma storleksordning som emissionsfaktorerna föreslagna av AP-42 (emissionsfaktorer framtagna av Environmental Protection Agency, USA) [7]. Endast ett lastningsscenario undersöktes vilket innebär att lastning bör analyseras vidare för att förstå hur faktorer såsom fallhöjd, materialtyp och fuktighet påverkar emissionerna. Från observationerna kunde det dock noteras att den första skopan orsakade mest damning på grund av högre fallhöjd, medan damningen från skopa två och tre var lägre.

Faktorer som påverkar lastning/lossning såsom **meteorologi**, **arbetssätt** och **materialegenskaper**, är sammanställda och presenteras nedan.



### METEOROLOGI

- Vind
- Nederbörd
- Luftfuktighet
- Temperatur



### ARBETSSÄTT

- Tipphöjd
- Metod för i- och urlastning
- Anpassning efter meteorologi och materialegenskaper



### MATERIALEGENSKAPER

- Mineralinnehåll
- Materialfuktighet
- Partikelstorlek
- Vittringspotential

## 2.4 Passiv damning

Passiv damning innefattar diffusa partikelemissioner som orsakas av framförallt vind, vilken kan ske från alla öppna ytor och högar av material. Passiv damning påverkas utöver vindhastighet även av andra **meteorologiska parametrar**, såsom luftfuktighet och nederbörd, samt av **materialegenskaper** (se avsnitt 4).

För högar av material är det materialets egenskaper som är avgörande för benägenheten till passiv damning. Exempelvis bildar vissa material en skyddande skorpa då de exponeras för fukt, medan andra material, såsom kalk, är finkornigt och har självvittrande egenskaper och kan därför lättare lyftas med vinden. Omgivningstemperaturen påverkar huruvida material är frusna samt hur snabbt ytor och material torkar efter nederbörd och vattenbegjutning.

Nedan redovisas faktorer som kan bidra till passiv damning från materialhögar och öppna ytor.



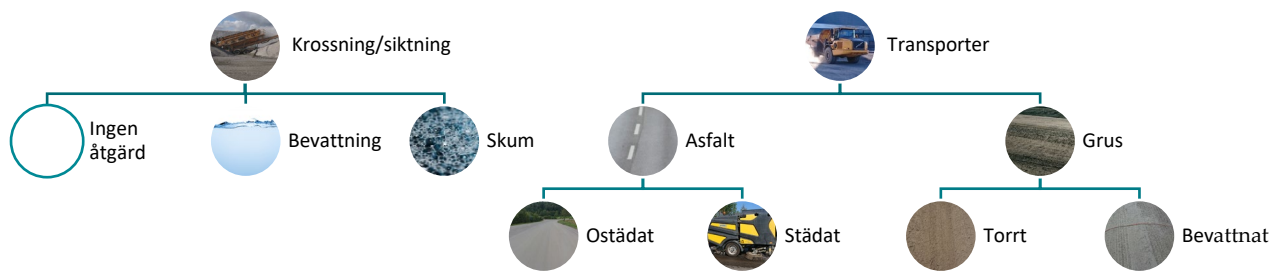
### 3 Vilka åtgärder är de mest effektiva?

Det finns flera olika tillvägagångssätt för att minska diffus damning. Dessa kan huvudsakligen delas in i två grupper; de som minskar emissionerna från en källa och de som begränsar spridningen av partiklarna. Faschingleitner och Höflinger [31] kallade dessa grupper för primär respektive sekundär damningsreducering och kom fram till att primär damningsreducering var ca fyra gånger mer effektiv än sekundär damningsbekämpning. Nedan ges några exempel på primära och sekundära åtgärder.

Primär damningsreducering:	Sekundär damningsreducering:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vattenbegjutning</li> <li>• Dammbindningsmedel</li> <li>• Reducerad fordonshastighet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetation eller andra barriärer</li> <li>• Vattenkanoner</li> <li>• Inbyggnation</li> </ul>

En viktig fråga avseende damningsreducering är vad man bör lägga kraft och pengar på. För de deltagande företagen i denna studie är arbetsmiljön en stor drivkraft för att minska den diffusa damningen. I och med det så bör åtgärder som minskar emissionerna från källan vara mest intressanta.

I denna studie identifierades transporter, krossning och siktning som de viktigaste källorna till damning. En workshop genomfördes hösten 2018 för att identifiera vilka åtgärder som var mest intressanta att utvärdera. Utgångspunkten var att identifiera rimliga åtgärder som antingen redan används i någon utsträckning och/eller åtgärder som var rimliga att införa i framtiden. Slutsatsen var att avseende transporter var skillnaden mellan typ av underlag (asfalt/grus), effekten av städning av asfaltväg samt vattenbegjutning av grusväg det viktigaste. För krossning och siktning beslutades att effekten av vattenbegjutning och skumbehandling var mest intressant att utvärdera. I Figur 2 redovisas samtliga scenarier som testades.



Figur 2 Schema över scenarier som projektet bedömt mest intressant och som testats i denna studie.

I följande avsnitt presenteras resultaten från de mätningar, modellering och beräkningar som genomförts i denna studie (avsnitt 3.1 och 3.2). Utöver de åtgärder som utvärderats i denna studie presenteras även resultaten från den litteraturstudie som har genomförts för att identifiera och beskriva andra damningsreducerande åtgärder (avsnitt 3.3).

## 3.1 Åtgärder avseende transporter



Damm som finns på vägar och ytor virvlas upp när fordonen kör på det, vare sig det kommer från markbeläggningen eller från dammande material som hamnat på körbanan. Förutom typ av markbeläggning och mängden dammande material på ytan så påverkar även mängden trafik, fordons hastigheten, markfuktighet samt meteorologi hur mycket det dammar från vägar och andra körbara ytor [32]. Nedan beskrivs de tester som genomförts i denna studie.

### 3.1.1 Städning av asfalterad väg

De främsta använda damningsreducerande åtgärderna avseende transporter är sopning och vattenbegjutning av vägunderlaget. På de asfalterade vägarna/ytorna är det främst borst- och spolbil som används. I denna studie utfördes mätningar före och efter städning av vägytan med hjälp av en traktordragen sopmaskin med mekanisk, bevattnad uppsamling av löst material från vägytan. Den asfalterade vägen där mätningarna genomfördes var den tvåfiliga infartsvägen till bergtäkten i Angered precis innanför området grindar. Vägen var asfalterad ytterligare ca 200 m

*”Resultaten visade att städningen inte gav någon signifikant förbättring...”*

in på området, och trafikerades främst av lastbilar som körde in och ut från bergtåkten. Typ av fordon, antal släp, hastighet och om fordonet körde in eller ut från området noterades för varje passage. Eftersom mätningarna genomfördes på verklig trafik mättes hastigheten med en lasermätare. Mätningar av partiklar i olika storleksfraktioner genomfördes 2019-08-27 på båda sidorna av vägen på tre olika höjder. Vindriktning, vindhastighet, temperatur och fuktighet registrerades också på platsen. Emissionsfaktorer (EF) för TSP (total suspenderade partiklar), PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> beräknades för varje passage och en statistikanalys genomfördes för att testa effekten av städning, antal släp och riktning in eller ut från området. De uppmätta absoluta halterna av TSP ska användas med försiktighet eftersom mätning av större partiklar med optiska instrument medför viss osäkerhet. TSP används därför i huvudsak för inbördes jämförelse i den här studien. Totalt 98 passager klarade granskningen och användes som underlag till resultaten som presenteras nedan. Dock var det bara lastbilar som hade tillräckligt många passager för att ge ett godtagbart statistiskt underlag, och därmed ingå i analysen.

Emissionsfaktorerna (EF) är angivna i gram partiklar per fordonskilometer för ett material med densiteten 2.7 (10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>), dvs. densiteten på det material som bryts och hanteras i här studerade bergtåkten. EF som anges nedan går att anpassa beroende på vilket material som dammar, genom att justera för densiteten.

Resultaten visade att städningen inte gav någon signifikant förbättring för vare sig TSP, PM<sub>10</sub> eller PM<sub>2.5</sub> timmarna efter städning (Figur 3). Det ska noteras att långtidseffekten av städning inte undersöktes i denna studie. Det vill säga om asfalterade ytor, i och i närheten av denna typ av verksamhet, inte städas finns det risk att de så småningom kommer mer likna en grusväg.

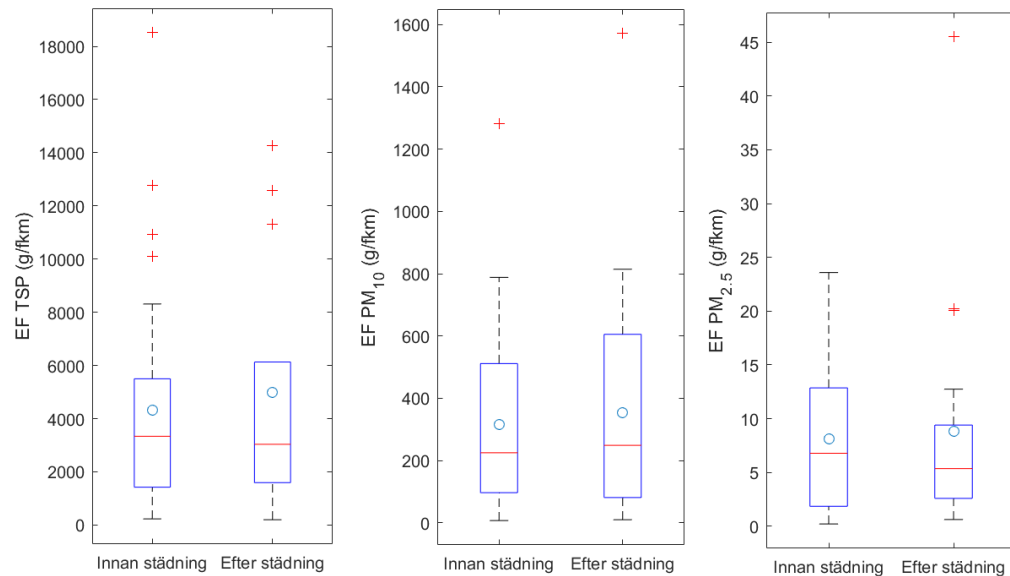
## STÄDNING AV VÄGAR

Städning är en vanligt förekommande åtgärd för att minska damning. Sopning tillsammans med vattenbegjutning sker främst under vår- och sommarmånaderna. På vinterhalvåret sopas och bevattnas det inte lika frekvent dels för att det är risk för halka och dels för att behovet inte är lika stort då vägar är frusna och eventuellt snöbelagda.

Norman och Johansson [19] visade 2006 att städmaskiner med högtryckstvättar endast resulterade i en marginell minskning av PM<sub>10</sub> halter (~6 %) i en svensk urban miljö. En liknade studie i Madrid 2011 visade på en 2–15 % minskning av PM<sub>10</sub> halter efter städning [23], effekten varade dock bara i ett fåtal timmar [26]. Gustafsson et al. [27] fann att de ytor där dammförrådet var stort, exempelvis i kanten av och mellan hjulspår var städning effektivt medan det i hjulspåren var opåverkat.

I denna studien visade sig städning inte var speciellt effektivt vilket också framkom i en enkätundersökning [24] där deltagande företag beskrev att de upplevde att städmaskiner bara sprider dammet även om man tillför vatten. Detta har föranlett införandet av mer effektiva städmaskiner som ska kunna samla upp mindre partiklar, såsom PM<sub>10</sub>.





**Figur 3** Emissioner från transporter före och efter städning för TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub>. Boxarna visar halter inom 25- till 75-percentilen av alla mätvärden, de röda linjerna indikerar medianvärden, den blå cirkeln medelvärdet och de röda plustecknen visar outliers.

Under mätningarna noterades att städmaskinen såg ut att endast samla upp större material från vägytan, medan mindre partiklar snarare omfördelades på vägen. Innan städning gjordes en visuell bedömning att det låg mer damm på ena halvan av vägbanan (riktning ut från området) medan det efter städning låg en tunn film av lera över hela vägen (Figur 4). En liknande omfördelning av vägdamms efter städning noterades av Gustafsson et al. [27]. Det vatten som användes av städmaskinen torkade snabbt upp varpå det dammade kraftigt från den städade ytan.

#### A. Före städning



#### B. Efter städning



**Figur 4** Bilder från mätplatsen före (A) och efter (B) städning.

För att uppskatta hur mycket damm som städades bort av städmaskinen, dammsögs en 1x4 meter bred remsa tvärs över vägen innan städning och efter städning dammsögs en lika stor remsa

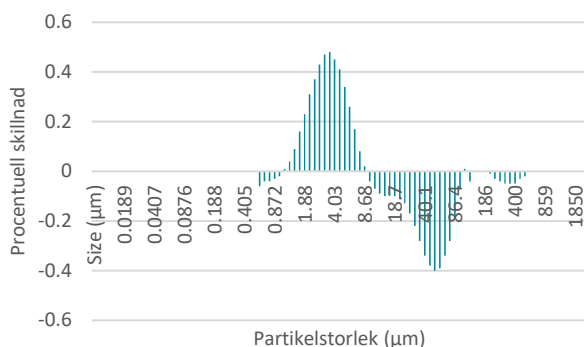


bredvid den första. Innehållet i påsarna analyserades för olika partikelfraktioner. Den absoluta vikten ska tas tolkas med försiktighet, på grund av osäkerheter i mätmetoden (Tabell 1). Dock låg det i samma storleksordning som tidigare mätningar utförda med en WetDustSampler ca 200 m från grusad yta [32].

**Tabell 1** Mängd partiklar per kvadratmeter innan och efter städning.

Vikt före städning (g/m <sup>2</sup> )	Vikt efter städning (g/m <sup>2</sup> )
64.5	51.5

Analysen av partikelfraktioner före och efter städning visade att efter städning hade en förskjutning skett i storleksfördelning till att en större procentuell andel av provet bestod av små partiklar (<PM<sub>10</sub>) medan andelen stora partiklar (>PM<sub>10</sub>) hade minskat. Detta innebär att städmaskinen främst tog bort stora partiklar (Figur 5). Inte heller riktning in/ut från området eller fordons hastighet visade någon signifikant effekt på partikelemissionerna. Fordons hastighet har tidigare visats ha stor betydelse för partikelemissionerna från trafik [10, 14-17]. Här var variationen i hastighet inte så stor med ett medel på 21 km/h och 85% av de passerande fordonen höll en hastighet 21±5 km/h, vilket kan förklara att ingen signifikant effekt av hastighet kunde noteras.



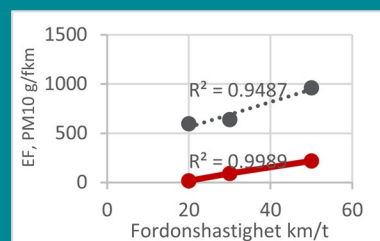
**Figur 5** Procentuella skillnaden i storleksfördelning innan – efter städning.

### 3.1.2 Vattenbegjutning av grusväg

För att undersöka effekten av vattenbegjutning av en grusväg genomfördes mätningar inne på bergtäckten i Angered. Vägen består av material från täkten och bestod av olika kornstorlekar upp till grovgrus. Under

## REDUCERAD HASTIGHET

För att minska uppvirvling av damm från vägbanan samt damning från lasten är sänkning av fordons hastigheten ett alternativ. Gustafsson och Peterson [10] visade att fordons hastighet vara en betydande faktor för partikelemissionen orsakat av fordon, vilket överensstämde med tidigare studier [14-18].



**Figur 1.** Emissionsfaktorer (g PM<sub>10</sub> per fordon och kilometer) för en dumper vid körning på asfalterat (rött) respektive grusat (svart) underlag i tre hastigheter (20, 30 och 50 km/t) [10].

Sänkta hastigheter kan därför vara en lämplig åtgärd för att minska damningen på industriområden. För att sänka hastigheterna kan skyltar sättas upp eller farthinder placeras ut. I vissa arbetsfordon går det även att ställa in en maximal hastighet. Likaså finns det möjlighet att använda GPS för att hålla koll på körstil.

Att införa hastighetsbegränsningarna kan vara en kostnadsfråga till följd av att transporterna kan komma att ta längre tid. Inom studien DiffDamm [24] uppskattade ett av företagen att entreprenadkostnaden skulle stiga med ca 5% vid en hastighetssänkning från 40 till 30 km/h. Förutom att de sänkta hastigheterna kan bidra till minskad damning så bidrar de även en ökad säkerhet på anläggningen och troligen ett minskat slitage på fordonen.

mättillfället i augusti var vägbanan på ytan torr innan vattenbegjutning, men någon cm ner i vägbanan var materialet konstant fuktigt. Vägbanan hade bevattnats strax innan mätningarna påbörjades på morgonen, och tilläts därför att torka upp innan vägen åter vattenbegjöts.

Mätningarna genomfördes på samma sätt som för den asfalterade vägen, och fordonstyp, hastighet och antal släp registrerades för varje fordon som passerade. Denna väg trafikerades främst av lastbilar och dumprar, och totalt 134 godkända passager har använts för beräkningarna.

#### A. Före vattenbegjutning



#### B. Efter vattenbegjutning



**Figur 6** Bilder från mätplatsen före (A) och efter (B) vattenbegjutning.

Det första testet som genomfördes utvärderades med avseende på om det fanns skillnader i emissioner från lastbilar och dumprar. Ingen sådan skillnad hittades, därför slogs data för lastbilar och dumprar ihop för att göra det statistiska underlaget större i övriga analyser.

Vattenbegjutning gav en signifikant minskning av partikelemissioner från trafik, som var synbar för blotta ögat (Figur 6). Figur 7 visar förändringen i emissioner över tid efter vattenbegjutning. Femte timmen efter vattenbegjutning var ytskiktet av underlaget torrt. Vattenbegjutning hade en markant damningsreducerande effekt på alla storleksfraktioner av partiklar, och är därmed en mycket effektiv åtgärd.

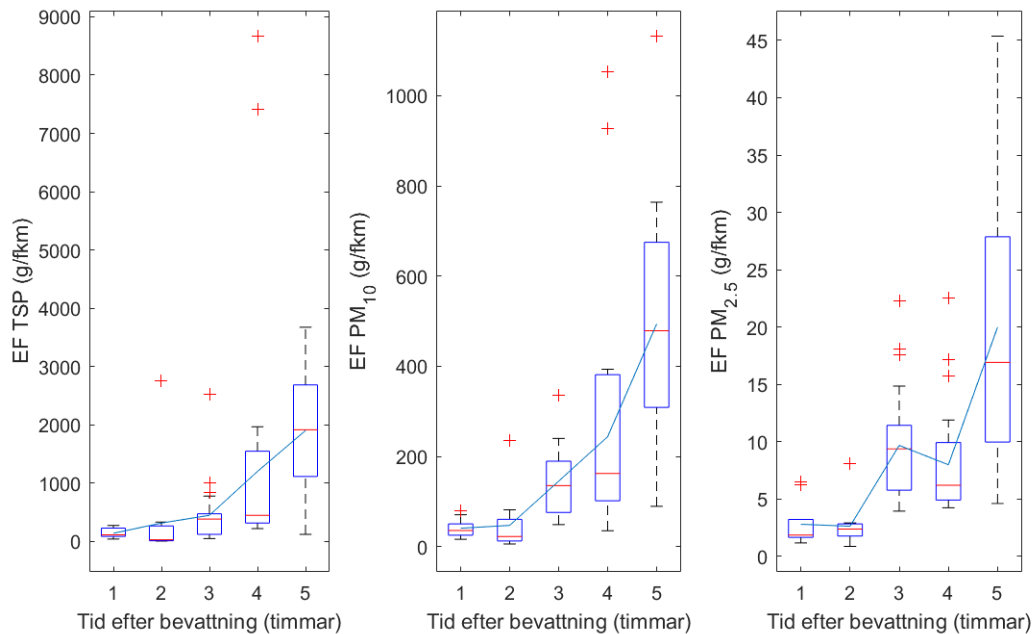
## VATTENBEGJUTNING AV VÄGAR

Vattenbegjutning minskar diffus damning genom ökad adhesion vilket gör partiklarna större och tyngre och därmed mindre benägna att virvla iväg. Till vilken grad förekommer det dock oenigheter om [19, 21].

I denna studie fann vi att vattenbegjutning signifikant minskade emissionerna från trafik. Effekten avtog gradvis, och under rådande förhållanden varade effekten i ca 4 timmar. Hur länge effekten av vattenbegjutning håller i sig beror självklart på flera faktorer såsom temperatur, vind, luftfuktighet och typ av underlag [25].

Effektiviteten av vattenbegjutning som damningsreducerande åtgärd framkom även tydligt i Gustafsson och Peterson [10], med en 10–100 gånger lägre PM<sub>10</sub>- och PM<sub>2.5</sub>-emission efter det att vägen vattnats. Amato et al. [25] undersökte effektiviteten av vattenbegjutning och Calcium Magnesium Acetate (CMA) på en asfalterad respektive grusad väg inom ett industriområde. De fann att vattenbegjutning var mer effektivt än CMA med en genomsnittlig minskning upp till 18 % (dygn) av PM<sub>10</sub> vid väggkanten samt >90 % minskning under första timmen efter vattenbegjutning.

Fördelarna med vattenbegjutning är att det är en effektivdamningsreducerande åtgärd och ofta relativt enkel att genomföra. Nackdelarna är att den inte går att använda på vintern för risk för halka, samt att effekten inte sitter i speciellt länge.



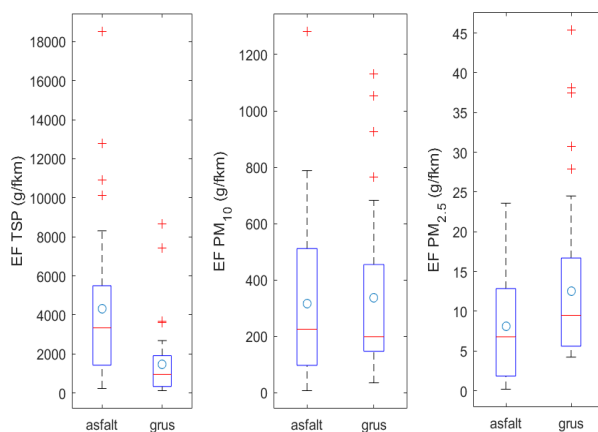
**Figur 7 Emissioner av TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> från trafik (g/fkm) varje timme efter vattenbegjutning. Boxarna visar halter inom 25- till 75-percentilen av alla mätvärden, de röda linjerna indikerar medianvärden, den blå linjen medelvärden och de röda plusstecknen visar outliers.**

Absoluta EF uträknade från mätningarna i Angered låg något lägre än de EF som beräknades i en tidigare studie på Vargön Alloys [10]. Detta kan förklaras av att mätningarna på Vargön skedde efter en lång torrperiod och underlaget var mycket torrt. Grusvägen på Vargön Alloys upplevdes som hård med ett lager löst material ovan på, medan grusvägen vid Angeredstälken upplevdes som packad, mer fjädrande och med mindre löst material på ytan. Hur en grusväg är uppbyggd och underhålls påverkar de diffusa emissionerna markant. Detta indikerar att fokus borde ligga på att reducera eller binda löst material som ligger på hårda ytor.

Inga signifikanta samband hittades avseende hastighet. Hastighet har i andra studier visat sig ha stor effekt, och avsaknaden av samband här kan sannolikt kopplas till att hastigheten vid passagera var likartade för de olika fordonen. Medelhastigheten låg på 21 km/h och 90% av passagera höll en hastighet på 21 +/- 5km/h. Se faktaruta "Reducerad hastighet" för mer information om hastighet och damning.

### 3.1.3 Grusväg jämfört med asfalterad väg

Många verksamheter använder asfaltering eller annan hårdgörning av transportvägar och körbara ytor som en åtgärd för att minska damningen då detta underlättar sopning och ytbehandling [24]. Tidigare studier har visat att diffus damning från asfalterade vägar generellt är lägre än från grusade ytor [10]. Resultaten i denna studie visade att effekten av underlaget är mer komplext än så. Den diffusa partikelemissionen i samband med fordonstrafik jämfördes före och efter åtgärd i Figur 8 och 9. Emissionerna av TSP var signifikant högre för den asfalterade vägen än den grusade före åtgärd. Efter åtgärd var både TSP och PM<sub>10</sub> signifikant högre för den asfalterade vägen. Effekten av underlaget påverkade inte PM<sub>2.5</sub> lika mycket, och för perioden innan åtgärd kan en motsatt trend till TSP ses för PM<sub>2.5</sub> (Figur 8). Resultaten stämmer överens med upplevelsen vid mätningarna.



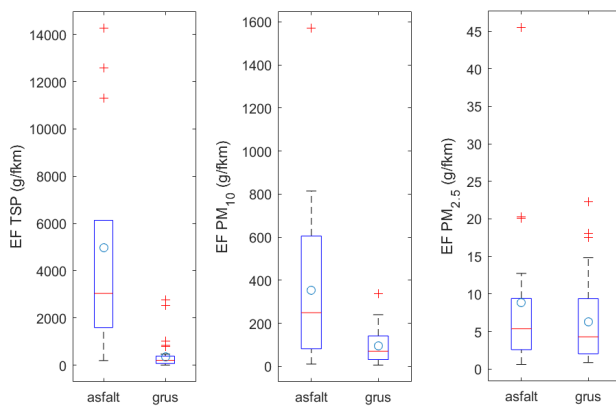
**Figur 8 Emissioner av TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> från fordonstrafik på asfalt- och grusväg före städning respektive bevattning. Boxarna visar halter inom 25- till 75-percentilen av alla mätvärden, de röda linjerna indikerar medianvärdet, den blå cirkeln medelvärdet och de röda plustecknen visar outliers.**

## DAMMBINDNINGSMEDEL

Grusade ytor kan behandlas med dammbindningsmedel, såsom lignin eller vägsalt, för att reducera underlagets damningsbenägenhet. Liksom vattenbegjutning fungerar dammbindningsmedel genom ökad adhesion vilket gör partiklarna större och tyngre.

En produkt som ofta används är Dustex ([dustex.se](http://dustex.se)), en ekologisk biprodukt från skogsindustrin innehållande lignin, som blandas med vatten och kan spridas på vägar men även på slagghögar och depåer.

Utöver Dustex finns det ett stort antal andra dammbindningsmedel. Lindahl [8] nämner medlet DustCon, vilket är baserat på citrusolja. DustCon gör så att vattnet blir kvar längre och kan tränga djupare ner i körbanan då det innehåller fuktbevarande ämnen och sänker vattnets ytspänning. Enligt leverantören reduceras därför vattenbehovet och vattningsfrekvensen med upp till 50 %. För asfalterade ytor har fyra olika dammbindningsmedel (kalciumklorid (CaCl<sub>2</sub>), magnesiumklorid (MgCl<sub>2</sub>), kalciummagnesiumacetat (CMA) och sockerlösning) testats av VTI 2010 [22]. Resultaten visade att dammbindningsmedlen hade en likartad reducerande effekt på PM<sub>10</sub>-halter (ca 35–40 %) första dygnet efter utläggning. Effekten avtog dock under 3–4 dygn. Användning av dammbindningsmedel på asfalterade ytor kan reducera friktionen och göra ytan hal, till vilken grad beskrivs i Gustafsson et al. [22]. CMA har även testats på flera andra platser i Europa till exempel Storbritannien [28] och Spanien [21]. I denna studie har vi inte tittat på om det föreligger någon risk för negativa miljöeffekter vid användning av dammbindningsmedel.



**Figur 9 Emissioner av TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> från fordonstrafik på asfalts- och grusväg efter städning respektive vattenbegjutning. Boxarna visar halter inom 25- till 75-percentilen av alla mätvärden, de röda linjerna indikerar medianvärden, den blå cirkeln medelvärden och de röda plustecknen visar outliers.**

Sammansättningen och mängden partiklar på vägen påverkar damningen starkt. I detta fall var asfaltsvägen relativt smutsig, jämfört med den asfaltväg som analyserades av Gustafsson et al. [32]. Städningen tog i denna studie inte bort mindre partiklar, och det kvarvarande dammet spreds dessutom ut över asfaltsvägen. Grusvägen var packad relativt jämn och, som nämnts ovan, var marken fuktig någon cm under ytan, vilket kan påverka torkningsgraden för vägen och sedermera damningen efter vattenbegjutning. Denna grusväg beskrivs vara fuktig större delen av vinterhalvåret på grund av markvattnet. I fallet Angeredstälken visar resultaten att en vattenbegjutning av grusvägen minskade damningen betydligt mer än städning av asfaltsvägen. För att asfaltsvägen ska orsaka mindre damning behövs en mer effektiv städrutin, där även mindre partiklar samlas upp, alternativt användning av dammbindningsmedel i kombination med städning och vattenbegjutning. Det ska noteras att denna studie har endast tittat på korttidseffekten av städning, om en asfaltväg inte städas alls kommer den sannolikt damma mer.

Resultaten från denna studie visar vikten av att förstå damningsproblematiken på varje individuell anläggning. För till exempel Angeredstälken indikerar studien att ytor inte bör asfalteras, men att de grusade ytorna bör vattnas regelbundet om ytan är torr. Om en anläggning istället har stora asfalterade ytor är det

## FORDON- OCH DÄCKRENGÖRING

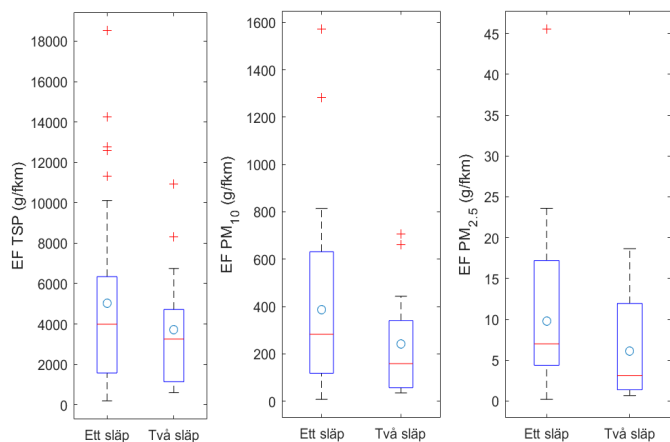
För att ytterligare minska den diffusa damningen är det möjligt att tvätta/spola av arbetsmaskiner. Ofta sker detta då fordonen lämnar extra dammiga områden. Exempelvis kan en spolbåge användas vilken kan fungera bra om det inte finns något behov av att ta vara på tvättvattnet, eftersom vattnet leds från spolbågen till en angränsande deponi. Om man däremot vill omhänderta materialet som spolas bort från fordonen krävs en mer komplex anläggning som även samlar upp materialet för att kunna återvinna eventuella metaller mm. I de fall där det handlar om stora mängder material som fastnar på fordonen behöver materialet dessutom kunna tas om hand på ett bra sätt, spolar man bara ner materialet i en bassäng kommer den snabbt att bli full.

Tillgängliga metoder för en hjul- och underrestvätt beskrivs av Norin et al. [20]. Metoderna som beskrivs inkluderar manuella och automatiska tvättar, galler, bassänger samt andra tillgängliga metoder. Om de platser på området där behovet av fordonsrengöring finns varierar, kan ett alternativ vara mobila däckrengöringslösningar.

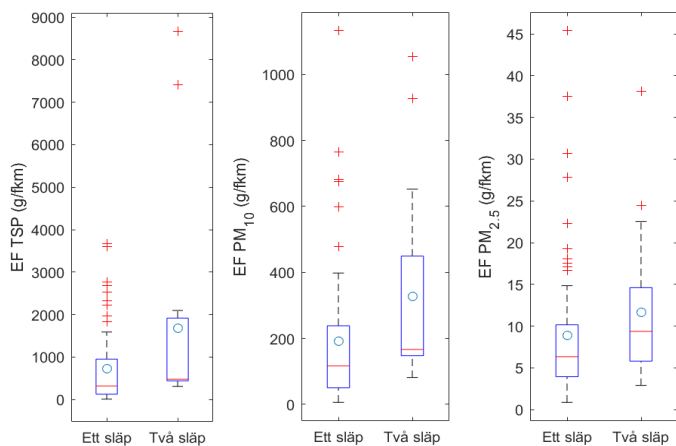


[http://www.tammermatic.com/swe/Tammermatic-Group/TFTvatt/Standardprodukter/Dack-hjul-och-chassi/Permanent/\(offset\)/24](http://www.tammermatic.com/swe/Tammermatic-Group/TFTvatt/Standardprodukter/Dack-hjul-och-chassi/Permanent/(offset)/24)

viktigt att städmaskiner som effektivt samlar upp även mindre partiklar (PM<sub>10</sub>) används för städning av dessa ytor.



**Figur 10** Emissioner av TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> (g/fkm) från transporter med ett respektive två släp på asfaltväg. Boxarna visar halter inom 25- till 75-percentilen av alla mätvärden, de röda linjerna indikerar medianvärden, den blå cirkeln medelvärden och de röda plustecknen visar outliers.



**Figur 11** Emissioner av TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> (g/fkm) från transporter med ett respektive två släp på grusväg. Boxarna visar halter inom 25- till 75-percentilen av alla mätvärden, de röda linjerna indikerar medianvärden, den blå cirkeln medelvärden och de röda plustecknen visar outliers

Ett förvånande resultat som framkommit i denna studie är att EF för PM<sub>2.5</sub> visade sig vara signifikant lägre för lastbilar med två släp jämfört med de med ett släp (p-val 0.02) när de körde på asfaltväg, se Figur 10. För transporter på grusväg var trenden motsatt, med en statistiskt signifikant högre EF för TSP avseende två släp (Figur 11). Orsaken till de olika resultaten är svår att fastställa eftersom underlaget avseende antal passager av lastbilar med ett respektive två släp skiljde sig betydligt åt mellan platserna. Antal fordon med ett/två släp på grusvägen var 17/80 och på asfaltvägen 32/66. Det kan därmed inte uteslutas att det var andra faktorer än antal släp som orsakade de skilda resultaten. För att få klarhet i hur antal släp påverkar damningen behöver kontrollerade tester genomföras, där olika faktorer testas systematiskt under samma förhållanden. Något entydigt svar kunde heller inte hittas i litteraturen.

## TÄCKNING ALTERNATIVT VATTENBEGJUTNING AV LAST

I de fall då damningsproblemet kan härledas till själva lasten är vattenbegjutning alternativt övertäckning av lasten ett alternativ [8]. Övertäckning av last görs för att både minska damning från lasten samt förhindra att material ramlar av lasten ner på vägbanan. Vattenbegjutning av lastat material kan vara effektivt för att minska den direkta damningen från lasten men problematiskt om det är av vikt att det är torrt när det kommer fram. Vattenbegjutning av last löses ofta genom att köra sakta under en spolbåge. Spolbågen kan vara utrustad med fotocell för att spola vatten då fordonet kör in under den men förarna får själva anpassa hastigheten så att allt material hinner bli fuktigt [8].

I studien DiffDamm [24] visade det sig att det var få som använde täckning av last som en åtgärd. Ett problem gällande täckning av lasten är att det är svårt att kontrollera fordon framförallt från leverantörer som kommer utifrån. Ett annat problem är att det ryms mindre material vilket påverkar kostnadsbildningen.

## 3.2 Åtgärder avseende krossning och siktning

Det finns flera åtgärder som kan minska damning vid krossning och siktning. Två av dessa är vattenbegjutning och skumbegjutning, vilka är åtgärderna som har testats i denna studie. Vidare finns det även möjligheter att minska på damningen med hjälp av inbyggnationer/inkapslingar av vissa delar av maskinerna. Det finns även möjlighet att koppla på en dammsugningsanläggning med filter. Minskad fallhöjd från transportband till efterföljande hög kan också påverka damningen. Det finns kross- och siktverk med ställbara transportband som kan höjas eller sänkas beroende på högens höjd. Trattar kan även fästas i slutet av ett transportband för att minska spridningen av damm.



Figur 12 Översiktsbild från bergtåkten i Vänersborg (vänster). Till höger, karta över tåkten, med placering av krossen och sikten utritade.

I denna studie genomfördes mätningar vid bergtåkten i Vänersborg, en överblick av området visas i Figur 12. Eftersom vi ville få fram effekten av åtgärderna på krossen respektive sikten, genomfördes partikelmätningar vid både krossen och sikten. Då endast damning från kross respektive sikt ska ingå i analysen genomfördes mätningar på både lä- och lovartsida om respektive verksamhet. Halten damm som finns i omgivningsluften mäts då på lovartsidan, och genom att dra bort denna halt från mätningar på läsidan (där både damm i omgivningsluft och från verksamheten ingår), kan verksamhetens bidrag utskiljas. Under mätningarna krossades respektive siktades först materialet torrt, därefter bevattnades processen, och sist sattes skummaskinen in.

När mätningarna genomfördes gick det att se visuellt att plymen av damm från framförallt sikten steg uppåt, vilket innebar att vi inte fångade in hela plymen med mätarna. Detta ledde till beslutet att använda av en högupplöst spridningsmodell (MISKAM) för att beräkna hela plymens storlek och de emissioner som krävdes för att återskapa de halter som uppmätts. Detta kallas inverterad spridningsmodellering och beskrivs ytterligare i faktarutan "Spridningsmodellering".

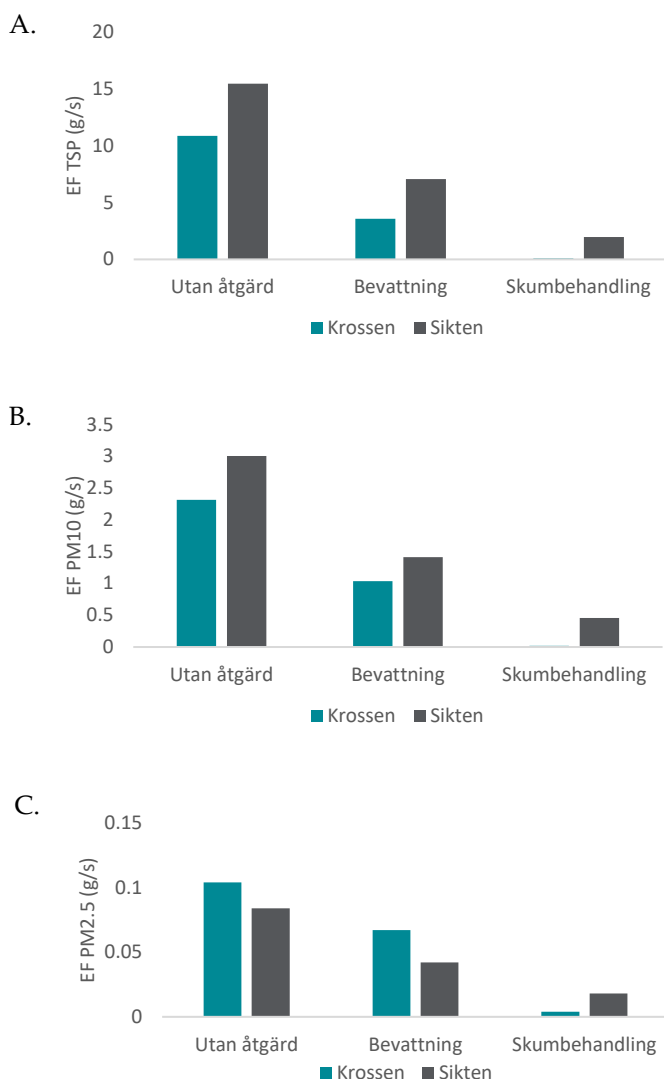
---

*"Skumbehandlingen reducerade damningen kraftigt från både krossen och sikten"*

---

På samma sätt som för transporterna, har EF för TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub>, från krossen och sikten beräknats. Även här ska resultaten för TSP beaktas med försiktighet eftersom mätning av större partiklar med optiska instrument medför viss osäkerhet. För en fullständig beskrivning av de mätningar och beräkningar som genomförts, se Bilaga 1.

Skumbehandlingen reducerade damningen kraftigt från både krossen och sikten (Figur 13). För krossen var emissionen av TSP och PM<sub>10</sub> mer än 99% lägre när skum tillsattes vid krossning än utan åtgärd. Samma siffra för PM<sub>2.5</sub> var 96%, vilket innebär att skum även minskar emissionen av de små partikelfraktionerna markant. Effekten av tillsatsen av skum i krossteget minskade även damningen när materialet sedan siktades. Störst var effekten på stora partiklar, där emissionen av TSP minskade med 87 % när skum tillsattes vid krossteget. Minskningen var något lägre för PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub>, 84 respektive 78%.



Figur 13 Emissionsfaktorer (g/s) av TSP (A), PM<sub>10</sub> (B) och PM<sub>2.5</sub> (C) från krossen och sikten för scenarierna "Utan åtgärd", "Vattenbegjutning" och "Skumbehandling".

Erfarenhet från personal på täkterna indikerar att effekten av skumbegjutning satt i även efter krossning

## SPRIDNINGSMODELLERING

Spridningsmodeller kan användas för att beräkna spridning och deposition av partiklar från dammande källor. Med hjälp av spridningsmodellering kan olika utsläppscenarion simuleras för kombinationer av olika gaser, partiklar, aerosoler och luft från olika typer av källor. Haltbidraget från industrin, tillsammans med den lokala bakgrundshalten, kan därefter jämföras med gällande miljö kvalitetsnormer och hygieniska gränsvärden. Modeller som används för spridningsberäkningar varierar i komplexitet och beräkningsmetodik. Beroende på frågeställning och storlek på område som ska modelleras väljs en passande modell ut.

Spridningsmodellering kan också användas som ett verktyg tillsammans med mätningar för att beräkna emissioner från diffusa källor genom så kallad inverterad spridningsmodellering. Inverterad spridningsmodellering innebär att en trolig emission från en källa beräknas och resultaten jämförs med resultat från partikelmätningar som genomförts på lä-sidan om källan. Om den modellerade och uppmätta halten inte stämmer överens justeras emissionsfaktorerna och processen görs om.





och siktning. Det vill säga materialet var mindre damningsbenäget vid lastning och lossning. Detta kan innebära att den totala effekten av skumbegjutning kan vara större än vad som beräknats i denna studie.



Att tillsätta vatten vid krossningen medförde en ungefärlig halvering av emissioner från både krossen och sikten avseende TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub>. För krossen var emissionerna för TSP 66% lägre vid vattenbegjutning än vid krossning utan åtgärd. Samma siffra för PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> var 55 respektive 36%. EF presenterade i figur 13 är i samma storleksordning avseende TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> som i andra studier [7, 10].

*”Att tillsätta vatten vid krossningen mer eller mindre halverade alla emissioner från både krossen och sikten avseende TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub>”*

De minsta partiklarna (PM<sub>2.5</sub>), som kan transporteras långt med vinden, emitteras till större utsträckning från krossen än från sikten. För att ge maximal minskning av dessa partiklar är det därför viktigt att åtgärden sker tidigt i processen, gärna redan vid första krossteget. Detta har undersökts i en tidigare studie, där PM<sub>2.5</sub> minskade med 80% när själva krossprocessen bevattnades, medan om bara sista transportbandet bevattnades minskade PM<sub>2.5</sub> bara med 20% [10].

För- och nackdelar med användning av vatten- och skumbegjutning som damningsreducerande åtgärd har sammanställts i Tabell 2.

**Tabell 2 Fördelar och nackdelar med vattenbegjutning och skumbehandling vid krossning och siktning.**

ÅTGÄRD	FÖRDELAR	NACKDELAR
<b>VATTEN-BEGJUTNING</b> 	Minskar damning med ca 50% + Många krossverk har dysor monterade. Mest effektivt är att bevattna med dysor tidigt i processen. + Låg kostnad.	- Det är inte alltid möjligt med vattenbegjutning om det föreligger problem att materialet blir blött. - Säsongsbegränsningar- går inte att använda om det finns risk för att det fryser - Vattenbegjutning kan försvåra siktningen, ofta kan bara en mindre mängd vatten användas för att behålla ett bra siktresultat. -Vindsiktars kapacitet minskar snabbt med ökad fukthalt i materialet.
<b>SKUM</b> 	+ Minskade damningen med 87% till 99% + Reducerar effektivt emissionen av små partiklarna (PM <sub>2.5</sub> ). + Använder relativt lite vatten så materialet blir inte blött. + Påverkar inte slutprodukten. + Ger ett mycket bra siktresultat.	- Kostnad att köpa in en skumanläggning ca 200 000 SEK. - Driftskostnad på ca 80 öre per ton - Säsongsbegränsningar - fungerar med rätt utrustning ner till -12 °C. - Behöver utbildad personal för att sköta. - Fungerar inte vid vindsiktning. -Potentiella miljöeffekter (ej inkluderade i denna studie)

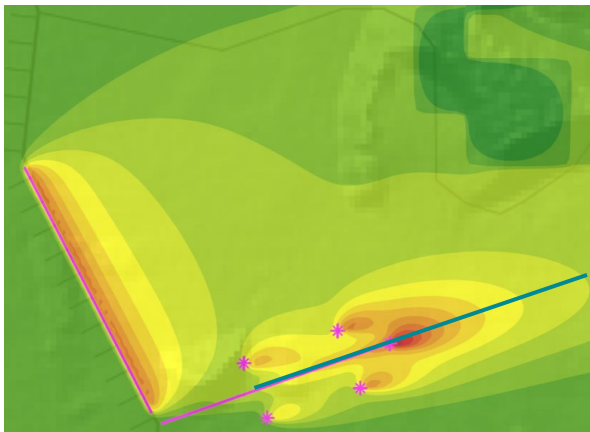
## SKUMBEHANDLING

Denna studie har visat att skumbehandling har en starkt damningsreducerande effekt både på krossning och siktning. Skummets funktion är att agglomerera fina partiklar vilka delvis även binds till grövre partiklar [8]. DustFoam är en av de produkter som kan användas tillsammans med vatten för att skapa skummet. Skummet appliceras till materialet som transporteras, krossas, tippas eller sorteras av maskinerna.

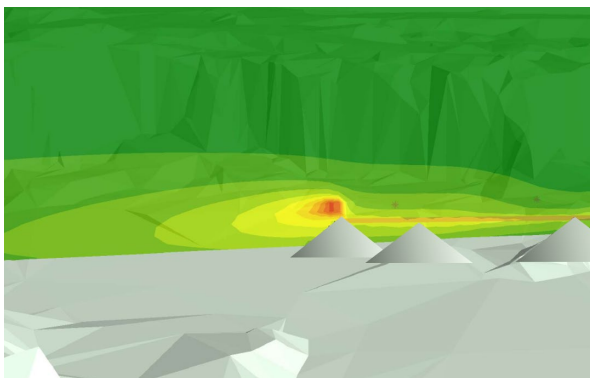
I en bilaga till Lindahl [8] undersöktes effekten av skumbehandling vid krossning. De angav där att skumtekniken gav en direkt och markant förbättring avseende damning. Deras mätningar visade en 80–95 % reduktion av emitterat stoft. Endast ett fåtal mätningar genomfördes dock i denna studie och olika partikelfraktioner diskuterades inte. Installationen av skumutrustningen ansågs vara relativt lätt och skummet gav inga uppenbara negativa effekter på krossprodukten. Jämfört med vattenbegjutning används bara en liten mängd vatten vilket inte påverkade krossningen eller siktningen negativt.

Att använda inverterad spridningsmodellering visade sig vara en effektiv metod för att beräkna emissionen från krossen och sikten. I Figur 14 visas exempel på de horisontella och vertikala haltkartor som producerades med hjälp av spridningsberäkningar. Eftersom denna studie fokuserar på effekten av åtgärder har vi inte utvärderat halterna genererade av krossen och sikten förutom i avseende att se till att de beräknade halterna matchar halterna som uppmätts vid mätplatserna.

A.



B.



Figur 14 Exempel på spridningskartor från krossen och sikten. A. Haltkarta på 3 meter över marken för området nära krossen och sikten. B. Vertikal profil som genomsöker sikten (den blåa linjen i A).

### 3.3 Övriga åtgärder

I följande avsnitt beskrivs möjliga åtgärder för dammande processer och källor som inte inkluderats mättnings- och beräkningsdelen av denna studie. Föreslagna åtgärder är baserade på den litteraturstudie som har genomförts.

## Vattenbegjutning

Vattenbegjutning har visats minska damning från krossning och siktning avsevärt [10]. Det går att använda vattenbegjutning på olika ställen i krossningsprocessen. Mest effektivt är att bevattna med dysor tidigt i processen, detta är dock inte alltid möjligt om det medför problem att materialet blir blött. I en studie vid Vargön Alloys testades effekten av vattenbegjutning vid krossning av slagg och produkten ferrokrom (FeCr) [10]. Vid krossning av slagg kunde vattenbegjutningen ske tidigt i processen medan för FeCr kunde bara det sista transportbandet med findelen bevattnas. Resultaten från denna studie visade effektiviteten av vattenbegjutning för att reducera damning orsakat av krossning. Det var mer än en halvering av emissionerna för FeCr respektive en ca 80 % minskning för slagg.

Typen av material som krossades påverkade också damningen, där emissionen var ca 55 % högre vid krossning av FeCr än slagg. Den procentuella skillnaden mellan emissionsfaktorerna för krossning av torrt respektive vattnat material var samma för alla storleksfraktioner för slagg, där vattnat slagg visade en 80 % minskning i emission medan samma procentuella skillnad för FeCr var betydligt högre för TSP (55 %) än för PM<sub>10</sub> (35 %) och PM<sub>2.5</sub> (12 %). Detta indikerar att när bara sista bandet vattnas är påverkan störst på större partiklar. Små partiklar genereras förmodligen i en annan del av processen. Det vill säga för att minska små partiklar bör hela processen vattnas.

### 3.3.1 Åtgärder avseende borrning och sprängning

Åtgärder för att reducera damning från losshållning, borrning och sprängning, är få. För borrning finns det främst två metoder för att minimera damningen; samla upp dammet med **dammsugare** eller använda **skumteknik**. Lindahl [8] beskriver i detalj hur skumteknik kan användas för att reducera damning vid borrning. Avseende sprängning är den främsta åtgärden att **vattenbegjuta** innan och efter sprängning.

---

*”Anpassa borrning och sprängning efter årstid och väder”[8]*

---

Vid mindre täkter sker borrning och sprängning vanligtvis bara ett par gånger per år. Om möjligt bör sprängningen vid dessa täkter därför planeras till årstider och dagar då de meteorologiska faktorerna minimerar spridningen av dammet. Vid större täkter sker borrning mer kontinuerligt och sprängning veckovis, vilket gör att möjligheten att anpassa arbetet efter väderleken mindre. En annan möjlighet att minska damningen är genom optimering av sprängladdningen, med målet att anpassad salvan till förkrossens inmatningsöppning för att minimera skuthantering, samtidigt som man vill undvika oönskad finandel om sprängmedelskoncentrationen ökas för mycket [8].

### 3.3.2 Åtgärder avseende lastning och lossning

Med lastning avser vi främst när en hjullastare lastar material på en dumper eller liknande fordon, medan lossning avser när materialet tippas av ett flak eller skopa med exempelvis en dumper eller hjullastare.

Det finns inte lika många uppenbara åtgärder som kan genomföras avseende lastning och lossning som för till exempel transporter. Tänkbara åtgärder inkluderar:

- **Reducera tipphöjd** både under lastning och lossning
- **Vattenbegjutning** av material innan lastning
- **Vattenkanoner** används vid last och lossningsplatser
- **Anpassa arbetet efter väderlek** - minimera antal last- och lossningstillfällen när det är torrt och bläsigt

Många verksamheter försöker optimera arbetet och planera placering av upplag och deponier för att minimera antal lastnings och lossnings tillfällen samt minskning av transportsträckor.

### 3.3.3 Åtgärder avseende passiv damning

Passiv damning kan ske från alla öppna ytor och högar av material och innefattar diffusa partikelemissioner som orsakas av framförallt vind. På anläggningar och byggarbetsplatser där aktiviteter som mekaniskt lyfter damm sker, står den passiva damningen generellt för endast en liten del av den totala damningen[10, 33].

Det finns flera sätt att minska passiv damning, exempelvis påverkas damningen av placeringen av högar i förhållande till varandra och till den förhärskade vindriktningen [34, 35]. En åtgärd kan vara att sätta upp vindskydd eller vegetation för att reducera vindhastigheten och därmed minska

den vinddrivna damningen. Relevanta åtgärder avseende upplag, deponier och öppna ytor beskrivs i Tabell 3.

Tabell 3 Åtgärder avseende reduktion av passiv damning från öppna ytor och upplag.

ÅTGÄRD	BESKRIVNING	FÖRDELAR/NACKDELAR
PLACERING AV UPPLAG  	Utformning av högar samt placeringen av högar i förhållande till varandra kan motverka damning. Enligt Cong et al. [34] blir damningen som lägst om högarna är platta och placerade på ett organiserat sätt jämfört med slumpmässigt placerade konformade högar. Högar som ligger tätt intill varandra i linje med vindriktningen så att högarna bidrar till skuggning av varandra är mest effektiv för att minska damningen. Det har beräknats att den totala emissionen minskar med 23–48 % för platta högar och 8–11 % för konformiga högar om de placeras organiserat så att högarna agerar som vindsydd för varandra. Andra studier bekräftar att placeringen i förhållande till vindriktning är den viktigaste faktorn för att minska damning från högar och upplag [35].	+ Om plats finns kan planering av högar vara en kostnadseffektiv åtgärd. - Begränsade möjligheter att påverka placering av högar.
VATTENBEGJUTNING  	Öppna ytor och högar kan bevattnas för att minska passiv damning. Exempelvis kan vattenkanoner användas för att sprida en dimma över området. Fukt gör så att det yttersta materialet bildar en skyddande skorpa som minskar risken för vinddriven damning.  Att bevattna stora ytor kräver mycket vatten, men om torra och blåsiga förhållande väntas kan det vara en effektiv åtgärd.	+ Effektiv åtgärd. - Svårt att bevattna stora områden. - Det är inte alltid möjligt med vattenbegjutning om det föreligger problem att materialet blir blött. - Säsongsbegränsningar- går inte att använda om det finns risk för att det fryser
DAMMBINDNINGS- MEDEL *  	Dammbindningsmedel kan spridas över högar eller öppna ytor, exempel på dammbindningsmedel är Dustex DustCon eller DustFi.  På grusade ytor används oftast medel som Dustex. Detta kan läggas på i omgångar och upplevs då ge en långvarig effekt [8].	+ Ger en långvarig effekt - Svårt att sprida dammbindningsmedel över stora områden. - Vissa material kan bli förstörda av medlet. - Innebär kostnader för medel och spridning
FÖRVARING I BYGGNADER/TÄLT  	Vissa material kan förvaras under tält eller byggnader. Produkter eller råmaterial som måste hållas torra förvaras generellt på detta sätt.  Förvaring inomhus av material med hög damningsbenägenhet, exempelvis kalk, är också att rekommendera.	+ Medför att materialet håller sig torrt. + Möjlighet att använda gamla industrilokaler som inte används längre. - Kan vara väldigt kostsamt. - Utrymme kan vara en begränsande faktor.
TÄCKNING **  	Täckning är en annan åtgärd för att minska på dammet från högar och depåer. Det finns företag som använder sig av gräsbeklädnad för slutdepåer, vilket medför att det inte finns risk för damning av depån i framtiden.	+ Binder dammet på marken och minskar vinddriven damning. + Täckning av lagerhögarnas toppar med presenning kan reducera vinddriven damning + Vegetation ökar depositionsytan, små partiklar kan fastna på bladen och på så vis rensas från luften. - Kan vara kostsamt.

\* Bild från <https://www.dustex.se/> \*\* Bild från Vargön Alloys

### 3.3.4 Växtbarriärer och vindskydd

Bevarande av gröna ytor och vegetation inom ett verksamhetsområde samt plantering av skog och annan växtlighet på strategiska platser kan användas för att minska spridningen av damm. Om vegetation placeras på rätt ställen kan den reducera vindhastigheten och därmed den passiva damningen. Vegetation kan även öka depositionen av partiklar, eftersom den totala ytan ökar drastiskt, och därmed minska halterna i luft [36]. Hur stor effekten är av ökad deposition är dock omdebatterat. Växtlighet kan även hjälpa till att minska erosion av från öppna ytor, deponier eller bullervallar, samtidigt som den bidrar till den biologiska mångfalden.

Som komplement till vindskyddande växtlighet är det möjligt att sätta upp andra typer av barriärer för att skydda mot vinden. I kombination med lämplig höjd och placering på materialupplag och aktivitetsområden kan både naturliga vindskydd som bergväggar eller skyddsvallar och tillverkade vindskydd som plank, väv eller murar vara en bra åtgärd om damningen främst är vinddriven [8]. Vid den stadsnära Årstakrossen begränsas damning till omgivningarna genom vindskydd i form av en hög barriär av containrar runt de mest dammande aktiviteterna i kombination med ett tält som innesluter krossen (Figur 15)



Figur 15 Begränsning av damning från krossverksamhet med hjälp av barriärer.

Studier har visat att porösa barriärer, det vill säga barriärer som släpper igenom delar av vinden, minskar vindhastigheten och därmed uppvirvling av damm från materialhögar [37, 38]. Störst minskning gav ett avstånd mellan vindskydd och hög på tre gånger högens höjd [37], och då vindskyddets porositet låg mellan 20 – 30 % [38].

Genom spridningsberäkningar har effekten från olika utformning av täta barriärer undersökts [39, 40]. I studierna konstaterades att barriärer kan reducera spridningen av damm upp till 66 % under de värsta förhållandena [39]. Helt täta vindskydd riskerade dock att ge en virvel med hög hastighet mellan barriären och högen, vilket kan resultera i ökad damning. Damningen begränsades som mest av ett plank som var öppet två meter närmast marken [40].

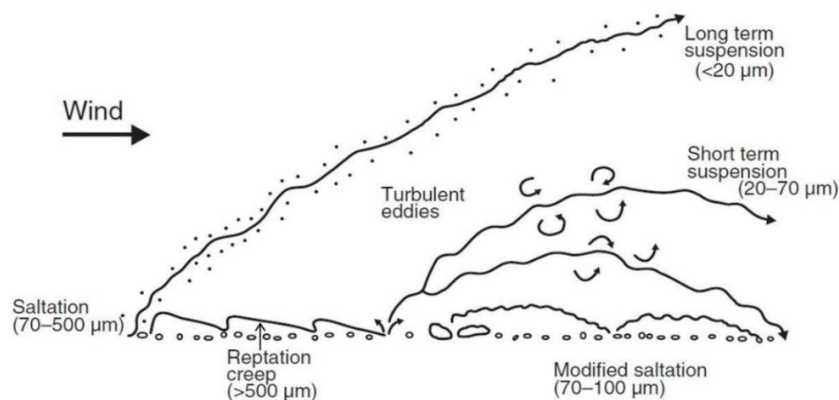
## 4 Hur påverkar väderförhållanden och årstider emissionerna av partiklar?

Meteorologi påverkar nästan alla dammande aktiviteter. Hur mycket det dammar, hur dammet sprids i omgivningen och hur bra de olika damningsreducerande åtgärderna fungerar påverkas till stor del av årstid och väder. Nedan beskrivs några meteorologiska faktorer som kan påverka damningen. Informationen baseras på resultaten från litteraturstudien. Som tidigare nämnts uteblev de planerade vintermätningarna på grund av den varma vintern 2019/2020.

### 4.1 Vinddriven damning

Vid låga till måttliga vindhastigheter bidrar den passiva damningen relativt lite i förhållande till andra dammande aktiviteter. Exempelvis i Gustafsson et al. [33] genomfördes mätningar av partikelhalter vid en öppen grusad yta, där lastning/lossning och transporter skedde dagtid på veckodagar medan under kvällar och helger förekom det ingen aktivitet. Studien fann ett starkt samband mellan aktivitet och partikelhalter, med timmedelvädren för  $PM_{10}$  på mellan  $100\text{--}300\mu\text{g}/\text{m}^3$  när aktiviteter förekom medan under timmar utan aktivitet låg halten under  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Transport av partiklar med vind beror främst på partikelstorlek och vindhastighet (Figur 16). När vindhastigheten ökar är partiklar med en diameter på  $\sim 100\mu\text{m}$  de som börjar förflyttas först [41]. Efter lyft hoppar dessa partiklar längs ytan i en process som kallas saltation [1] [42] från det latinska ordet salto, vilket betyder att hoppa eller springa. Dessa "stora" partiklar som hoppar över markytan kan mobilisera partiklar i ett flertal storlekar. I själva verket lyfts normalt inte dammpartiklar direkt av vind eftersom kraften som håller samman partiklarna generellt är större än de aerodynamiska krafterna. Istället kastas dessa små partiklar främst upp i luften genom påverkan av saltation [41]. Efter att partiklarna lyfts upp i luften blir de mottagliga för turbulens och går därför vanligtvis in i kortvarig (storlek  $\sim 20\text{--}70\mu\text{m}$  i diameter) eller långvarig (storlek  $< 20\mu\text{m}$  i diameter) suspension (Figur 16). De små partiklarna ( $< 20\mu\text{m}$ ) kan förbli i atmosfären i upp till flera veckor och kan således transporteras tusentals kilometer från källan [41, 43].



Figur 16 Schematisk bild över de olika sätten för eolisk transport, från Kok et al. [41].

Vid hårda vindar under torra förhållanden riskerar damm att "dra" över stora öppna ytor vilket gör det svårt att bekämpa. Effekten av vind är inte linjär. Studien vid Vargön Alloys visade att vid vindhastigheter över 6 m/s ökade damningen drastiskt, exempelvis när vindhastigheten var över 6 m/s orsakade en mindre skåpbil lika mycket damning som en dumper gjorde vid lägre vindhastigheter [10]. För att minska damning vid hård vind kan en effektiv åtgärd vara att avstå eller begränsa aktiviteter.

Även vindriktningen är av betydelse då damning till exempel är mindre problematiskt om det blåser bort från närliggande bebyggelse. Vindriktningen kan även påverka den passiva damningen beroende på hur högar och upplag är placerade. Även effekten av till exempel vattenkanoner påverkas då vinden styr var vattnet hamnar, vilket gör att de fungerar sämre vid sido- och motvind.

## 4.2 Effekten av luftfuktighet och nederbörd

Regn och luftfuktighet har stor påverkan på hur mycket det dammar från olika källor och aktiviteter. Regn är väldigt fördelaktigt då det kraftigt minskar damning samt minskar spridningen av dammet vilket betyder att man exempelvis inte behöver vattna vägar eller använda vattenkanoner. I vilken omfattning den diffusa damningen minskar beror på regnmängden samt temperaturen, då högre temperaturer ger snabbare upptorkning efter regnet.

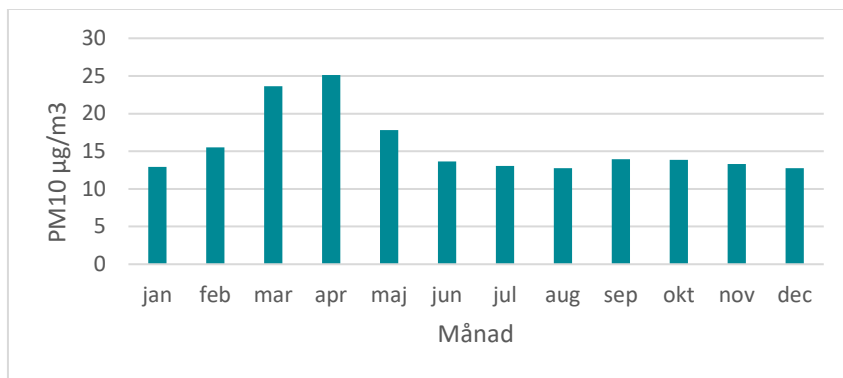
Luftfuktigheten varierar i landet och mellan årstider. Vid låg luftfuktighet torkar material snabbare, vilket ökar damningen. Luftfuktigheten påverkar därför hur länge åtgärder, såsom vattenbegjutning, har effekt. Sopning av transportsträckor underlättas om det regnat då fuktigt material är lättare att samla upp och det dammar mindre vid själva sopningen. Även då det regnar kan det dock finnas behov av att vattna vid exempelvis krossning av stora mängder torrt råmaterial, eftersom små partiklar <PM<sub>2.5</sub> är för små för att effektivt fångas upp av regndropparna.

Hög luftfuktighet eller regn kan leda till att det bildas en skorpa på materialupplag vilket binder dammet [42]. Det kan exempelvis vara fördelaktigt avseende högar och depåer där en förhårdnad yta kan bidra till minskad diffus damning på grund av vind.

## 4.3 Säsongsbaserad effekt på damningen

Både i denna studie och i en parallell studie [24] har det framkommit att företagen upplever att damningsproblemen är mindre då marken är frusen eller snötäckt, än under resten av året. Exempelvis registrerade företag inom metallbranschen fler klagomål under vår, sommar och höst än under vintern [24]. Utöver den eventuella effekten av is och snö kan säsongsvariation i upplevelsen av damning påverkas av att förekomsten av varma och torra dagar är större under sommarhalvåret.

Vi har dock inte hittat några vetenskapliga studier som bekräftar att emissionerna från specifika damningskällor är lägre vid vinterförhållanden. I denna studie hade vi för avsikt att undersöka effekten av vinterväder (dvs frusen mark och snö) på den diffusa damningen, tyvärr uteblev vintervädet i större delen av landet 2019/2020 vilket gjorde dessa mätningar omöjliga att genomföra.



Figur 17 Månadsmedelhalt av PM<sub>10</sub> för alla urbana och regionala mätplatser i Sverige 2000 - 2018.

I allmänhet är lufthalterna av partiklar inte lägre under vintermånaderna i Sverige (Figur 16). Även om snö kanske minskar diffusa partikelemissioner lokalt, kan inte åtgärder som vattenbegjutning av vägar användas på grund av halkrisk. Istället sandas och grusas vägar för att minska halkrisken. Sand och grus ackumuleras i is och snö på och runt vägar och bidra till att damningen ökar när det smälter bort på våren. Även användning av dubbdäck bidrar till ökad ackumulation av partiklar under vintern. Under våren är luftfuktigheten låg, solinstrålningen hög och vindarna ofta friska vilket kan leda till kraftig damning när snön smälter. Denna vårpik i partikelhalter kan tydligt ses i mätdata från landets stationer (Figur 17).

## 5 Vilka åtgärder ska sättas in och när?

Vilka åtgärder som ska sättas in beror på verksamheten, anläggningens läge och utformning samt de lokala meteorologiska förhållandena. Exempelvis om anläggningen ligger i norra Sverige kan förutsättningarna för åtgärder se helt annorlunda ut än om den ligger i södra delarna av landet. Det är därför viktigt att förstå hur det fungerar vid varje anläggning. För att hitta de mest effektiva åtgärderna, både avseende minskning av damningsintensitet och spridning samt investeringskostnader i förhållande till den damningsreduktion man kan uppnå, bör nedanstående steg följas.





I denna studie har vi främst utvärderat damningsreducerande åtgärder för transporter samt krossning och siktning. För transporter bör målet vara att minimera mängden löst material på hårda ytor. Istället för att titta på vilka partikelfraktioner som ligger på vägytan bör vi titta på hela vägens egenskaper. Exempelvis, avseende en grusväg hur torr är vägen på djupet, hur välpackad är den, eller hur mycket löst material ligger på vägen?

Städning av asfaltsväg visade sig var en relativt ineffektiv åtgärd på kort sikt. Dock om en asfalterad väg på en bergtäkt eller liknande verksamhet inte städas alls riskerar den att så småningom förvandlas till en grusväg med en hård underliggande yta. Städning kan också ha sina fördelar i att minska spridning av damm till andra vägar. Det är viktigt att kontrollera att de åtgärder man genomför faktiskt ger verkan. Möjligheterna ökar då till att ställa rätt krav på

*”Baserat på det som framkommit i denna studie är skumbehandling av material vid krossning att rekommendera”*

leverantörer om tjänsten köps in alternativt investera i bättre maskiner. Dammbindningsmedel kan användas på asfaltsvägar och har visats ha viss effekt [22].

Att använda skum för att reducera damning från krossning och siktning visade sig mycket effektivt. Skumteknik är temperaturkänslig men kan med rätt arrangemang fungera ner till -12 grader [8]. Detta innebär att i södra och mellersta Sverige bör skumteknik kunna användas för att reducera damning större delen av året. Baserat på det som framkommit i denna studie är skumbehandling av material vid krossning att rekommendera framförallt då vädret är torrt och blåsig.

Det finns ytterligare åtgärder som inte undersökts i denna studie, vissa handlar om arbetsätt och rutiner, medan andra handlar om att exempelvis köpa in utrustning som kan hjälpa till att reducera damning från en viss källa. Bra arbetsrutiner och sänkta fordonshastigheter kan utan någon större investering minska den diffusa damningen. Ett viktigt steg i att reducera damning kan också vara, att i den mån det går, anpassa arbetet efter väderlek genom att exempelvis

minimera dammande aktiviteter när det är torrt och blåsigt. Vattenbegjutning är ofta en bra åtgärd om den inkluderas i arbetsrutinen, vatten finns oftast tillgängligt och effekten är direkt om ej så långvarig. Om en längre period med torrt väder väntas kan exempelvis rutiner där dammbindningsmedel läggs ut/arbetas in i underlaget införas.

För aktiviteter såsom krossning och siktning där relativt stora mängder partiklar emitteras ett par meter över marken bör vattenbegjutning alternativt skumbehandling användas som standard. Åtgärder såsom skumbegjutning är betydligt mer effektiva men har en högre kostnad.

*”För transporter bör målet vara att minimera mängden löst material på hårda ytor”*

Beroende på var verksamheten ligger kan olika typer av barriärer vara intressant för att reducera spridningen av damm. Exempelvis kan växtbarriärer minska både spridningen samt öka depositionen av partiklar. I Tabell 4 sammanställs åtgärder som fungerar året om eller bara när det är plusgrader samt om de kräver liten eller stor ekonomisk insats.

**Tabell 4 Exempel på åtgärder som fungerar året om eller bara när det är plusgrader samt om de kräver liten eller stor ekonomisk insats.**

	ÅTGÄRDER SOM FUNGERAR ÅRET OM	ÅTGÄRDER SOM BARA FUNGERAR VID PLUSGRADER
LITEN EKONOMISK INSATS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Hastighetsbegränsningar</b></li> <li>• <b>Anpassa arbete efter väderlek</b>-minimera dammande aktiviteter vid torrt och blåsigt väder</li> <li>• <b>Arbetsätt</b> - till exempel minimera tipphöjder från transportband och vid lastning och lossning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vattenbegjutning</b> vägar, upplag och processer så som krossning och siktning</li> </ul>
STÖRRE EKONOMISK INSATS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Skumteknik</b> (ner till -12°C) – fungerar för flera olika dammande aktiviteter såsom borring och krossning.</li> <li>• <b>Dammbindningsmedel</b></li> <li>• <b>Gröngöring och vindsydd</b> för att minska spridningen av damm</li> <li>• <b>Bygga in damningskällor</b>-till exempel förvara material i tält</li> <li>• Installera trattar och justerbara transportband för att minimera fallhöjder.</li> <li>• Sugfläktar-punktfläktar-kräver dock mycket energi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Städning</b> av asfalterade ytor och vägar</li> <li>• <b>Dammbindningsmedel</b></li> <li>• <b>Vattenkanoner</b></li> <li>• <b>Däck- och fordonsrengöring</b></li> </ul>

## 6 Slutsatser och framtida studier

Slutsatserna från denna studie sammanfattas i följande punkter:

- För att minska damning från transporter bör mängden löst material minimeras på hårda ytor. Detta kan göras genom att avlägsna eller binda dammet.
- Vid städning av asfaltsväg är det viktigt att även små partiklar ( $< PM_{10}$ ) samlas upp från ytan. Om de små partiklarna stannar kvar på ytan sker ingen reduktion av damning genom städning av vägen. Alternativt kan städning kombineras med användning av dammbindningsmedel.
- Vattenbegjutning av grusväg är mycket effektivt. Vid rådande förhållandena i denna studie tog det fem timmar innan effekten försvunnit helt. Hur lång tid det tar innan effekten försvinner beror på flera faktorer såsom mängden vatten som spridits ut över vägen, materialets kornstorleksfördelning, vind, lufttemperatur och luftfuktighet.
- Skumbegjutning visade sig i denna studie vara mycket effektivt för att begränsa damning från krossning och siktning, och gav en reduktion på mellan 78 och 99%. Skumbegjutning rekommenderas därför vid krossning och siktning under dammande förhållanden.
- Vattenbegjutning var inte lika effektivt som behandling med skum men halverade ändå de diffusa emissionerna.
- Anpassa verksamheten efter väderleken. Minimera antalet dammande aktiviteter när det är torrt och/eller blåsigt. Sätt in åtgärder när det behövs.

Mätningarna i denna studie genomfördes på befintlig trafik, vilket begränsade möjligheterna att säkerställa effekten av exempelvis fordonets utformning, längd, antal släp och antal hjulpar. Vidare studier där kontrollerade mätningar av passager med olika fordonstyper, på olika underlag och i olika hastigheter skulle möjliggöra kartläggning av effekten från dessa faktorer. Även olika underlag, så som olika typer av grusvägar (till exempel hårdhet, materialtyp och mängd löst material på ytan) samt asfaltvägar (till exempel asfaltsyttans skrovlighet och mängd löst material på ytan) skulle ge viktig kunskap om damning från transporter.

Användning av inverterade spridningsberäkningar i kombination med mätningar visade sig vara effektivt för att beräkna de diffusa partikelemissionerna från krossen och sikten. I framtida studier bör dock motsvarande mätningar kompletteras med ytterligare mätpunkter på olika avstånd från källan för att öka förståelsen avseende om spridning av partiklarna påverkas av exempelvis partiklarnas densitet.

I denna studie var avsikten att bland annat genomföra mätningar under vinterförhållanden. Detta kunde dock inte genomföras på grund av den milda vintern 2019/2020, och vi skulle gärna se att detta möjliggjordes i en framtida studie.

# Referenser

- [1] R. A. Bagnold, *The physics of blown sand and desert dunes*. Courier Dover Publications, 1940.
- [2] F. Bisal and K. Nielsen, "Movement of soil particles in saltation," *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 42, no. 1, pp. 81-86, 1962.
- [3] W. Chepil, "Influence of moisture on erodibility of soil by wind," *Soil Science Society of America Journal*, vol. 20, no. 2, pp. 288-292, 1956.
- [4] T. Badr and J.-L. Harion, "Effect of aggregate storage piles configuration on dust emissions," *Atmospheric Environment*, vol. 41, no. 2, pp. 360-368, 2007.
- [5] S. Chaulya *et al.*, "Development of empirical formulae to determine emission rate from various opencast coal mining operations," *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 140, no. 1-4, pp. 21-55, 2002.
- [6] K. Saxton, D. Chandler, L. Stetler, B. Lamb, C. Claiborn, and B.-H. Lee, "Wind erosion and fugitive dust fluxes on agricultural lands in the Pacific Northwest," *Transactions of the ASAE*, vol. 43, no. 3, pp. 623-630, 2000.
- [7] C. Cowherd, "Background document for revisions to fine fraction ratios used for AP-42 fugitive dust emission factors," *Prepared by Midwest Research Institute for Western Governors Association, Western Regional Air Partnership, Denver, CO*, 2006.
- [8] A. Lindahl, "Åtgärder mot damning vid produktion av bergmaterial och industrimineral," *MinFo rapport nr P2000-13:4*, p. 134, 2005.
- [9] R. Sivacoumar, S. M. Raj, S. J. Chinnadurai, and R. Jayabalou, "Modeling of fugitive dust emission and control measures in stone crushing industry," *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 11, no. 5, pp. 987-997, 2009.
- [10] M. Gustafsson and K. Peterson, "Diffusa partikelemissioner från Vargön Alloys," *IVL Report B 2275*, 2016.
- [11] D. Grantz, J. Garner, and D. Johnson, "Ecological effects of particulate matter," *Environment International*, vol. 29, no. 2, pp. 213-239, 2003.
- [12] D. Segersson *et al.*, "Health Impact of PM10, PM2.5 and Black Carbon Exposure Due to Different Source Sectors in Stockholm, Gothenburg and Umea, Sweden," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, no. 7, p. 742, 2017.
- [13] R. Sivacoumar, R. Jayabalou, S. Swarnalatha, and K. Balakrishnan, "Particulate matter from stone crushing industry: size distribution and health effects," *Journal of Environmental Engineering*, vol. 132, no. 3, pp. 405-414, 2006.
- [14] J. Gillies, V. Etyemezian, H. Kuhns, D. Nikolic, and D. Gillette, "Effect of vehicle characteristics on unpaved road dust emissions," *Atmospheric Environment*, vol. 39, no. 13, pp. 2341-2347, 2005.
- [15] D. Goossens and B. Buck, "Dust emission by off-road driving: Experiments on 17 arid soil types, Nevada, USA," *Geomorphology*, vol. 107, no. 3, pp. 118-138, 2009.
- [16] Q. Jia, Y. Huang, N. Al-Ansari, and S. Knutsson, "Dust emission from unpaved roads in Luleå, Sweden," *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 1-13, 2013.
- [17] L. O. Hagen, S. Larssen, and J. Schaug, "Environmental speed limit in Oslo. Effects on air quality of reduced speed limit on rv 4. (In Norwegian)," 2005.
- [18] V. Etyemezian *et al.*, "Vehicle-based road dust emission measurement (III): effect of speed, traffic volume, location, and season on PM10 road dust emissions in the Treasure Valley, ID," *Atmospheric Environment*, vol. 37, no. 32, pp. 4583-4593, 2003.
- [19] M. Norman and C. Johansson, "Studies of some measures to reduce road dust emissions from paved roads in Scandinavia," *Atmospheric Environment*, vol. 40, no. 32, pp. 6154-6164, 2006.
- [20] M. Norin, Grandin, G. R, and J. L, "Hjultvätt: Tillgänglig teknik och möjligheter för svenska byggtreprenader," *SBUF report: 13217*, 2017.
- [21] F. Amato *et al.*, "Effects of road dust suppressants on PM levels in a Mediterranean urban area," *Environmental science & technology*, vol. 48, no. 14, pp. 8069-8077, 2014.
- [22] M. Gustafsson, G. Blomqvist, P. Jonsson, and M. Ferm, *Effekter av dammbindning av belagda vägar*. Statens väg-och transportforskningsinstitut, 2010.
- [23] A. Karanasiou *et al.*, "Road dust contribution to PM levels—Evaluation of the effectiveness of street washing activities by means of Positive Matrix Factorization," *Atmospheric Environment*, vol. 45, no. 13, pp. 2193-2201, 2011.
- [24] M. Gustafsson, G. Villamor Saucedo, S. Rosendahl, and J. Lindén, "Guide för Damningsreducerade åtgärder," *IVL Reprot C500*, 2020.

- [25] F. Amato *et al.*, "Effects of water and CMA in mitigating industrial road dust resuspension," *Atmospheric environment*, vol. 131, pp. 334-340, 2016.
- [26] A. Karanasiou *et al.*, "Road dust emission sources and assessment of street washing effect," *Aerosol Air Qual. Res*, vol. 14, no. 3, pp. 734-743, 2014.
- [27] M. Gustafsson *et al.*, "Optidrift: optimerad vinter-och barmarksdrift för bättre luftkvalitet," ed: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2019.
- [28] B. Barratt, D. Carslaw, G. Fuller, D. Green, and A. Tremper, "Evaluation of the impact of dust suppressant application on ambient PM10 concentrations in London, King's College London," *Environmental Research Group Prepared for Transport for London under contract to URS Infrastructure & Environment Ltd*, p. 56, 2012.
- [29] M. Sairanen and M. Rinne, "Dust emission from crushing of hard rock aggregates," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 10, no. 2, pp. 656-664, 2019.
- [30] M. Sairanen, M. Rinne, and O. Selonen, "A review of dust emission dispersions in rock aggregate and natural stone quarries," *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, vol. 32, no. 3, pp. 196-220, 2018.
- [31] J. Faschingleitner and W. Höflinger, "Evaluation of primary and secondary fugitive dust suppression methods using enclosed water spraying systems at bulk solids handling," *Advanced Powder Technology*, vol. 22, pp. 236-244, 2011.
- [32] M. S. M. Gustafsson, K. Peterson, K. Persson, G. Blomqvist, M. Gustafsson, and S. Janhäll, "Diffusa partikelemissioner från trafik i bygg-och industriverksamhet," *IVL Report C 153*, 2016.
- [33] M. Gustafsson, K. Persson, H. Fallgren, and K. Peterson, "Partikelemissioner från byggarbetsplatser - emissionsfaktorer, spridning och halter," *IVL Report C 62*, 2014.
- [34] X. Cong, S. Yang, S. Cao, Z. Chen, M. Dai, and S. Peng, "Effect of aggregate stockpile configuration and layout on dust emissions in an open yard," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 36, no. 11, pp. 5482-5491, 2012.
- [35] C. Turpin and J. Harion, "Effects of flattening the stockpile crest and of the presence of buildings on dust emissions from industrial open storage systems," *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 123, pp. 419-430, 2009.
- [36] S. Janhäll, "Review on urban vegetation and particle air pollution—Deposition and dispersion," *Atmospheric environment*, vol. 105, pp. 130-137, 2015.
- [37] B. J. Billman Stunder and S. P. S. Arya, "Windbreak Effectiveness for Storage Pile Fugitive Dust Control: A Wind Tunnel Study," *JAPCA*, vol. 38, pp. 135-143, 1988.
- [38] Z. Dong, W. Luo, G. Qian, and H. Wang, "A wind tunnel simulation of the mean velocity fields behind upright porous fences," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 146, pp. 82-93, 2007.
- [39] J. Toraño, S. Torno, I. Diego, M. Menendez, and M. Gent, "Dust emission calculations in open storage piles protected by means of barriers, CFD and experimental tests," *Environmental Fluid Mechanics*, vol. 9, pp. 493-507, 2009.
- [40] S. Torno, R. Rodriguez, C. Allende, and J. Toraño, "Dust emission reduction for open storage mineral piles by fences: CFD modelling," *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 136, pp. 121-128, 2010.
- [41] J. F. Kok, E. J. Parteli, T. I. Michaels, and D. B. Karam, "The physics of wind-blown sand and dust," *Reports on Progress in Physics*, vol. 75, no. 10, p. 106901, 2012.
- [42] M. Ishizuka *et al.*, "Effects of soil moisture and dried raindroplet crust on saltation and dust emission," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, vol. 113, no. D24, 2008.
- [43] C. S. Zender, H. Bian, and D. Newman, "Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) model: Description and 1990s dust climatology," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, vol. 108, no. D14, 2003.

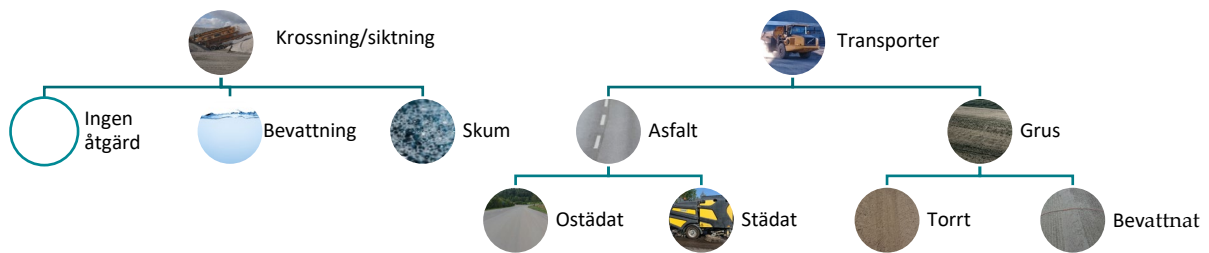
# Bilaga 1. Genomförande

Denna studie delades in i ett antal steg som beskrivs nedan:

## 1. Etablera vilka källor/aktiviteter och åtgärder som är relevanta att studera

För att identifiera vilka de viktigaste källorna till damning inom täktverksamhet är samt hitta de mest effektiva åtgärderna genomfördes en workshop under hösten 2018. Nyckelpersoner från IVL, Swerock AB, Skanska Industrial Solution och NCC Industry deltog i workshopen. Ett av målen med workshopen var att välja ut åtgärder för testning. Åtgärderna skulle ha goda möjligheter att reducera damning samt vara rimliga att genomföra. Utöver workshopen har även en litteraturstudie genomförts där vi gått igenom damningskällor associerat med täktverksamhet och möjliga åtgärder.

De åtgärder som valdes ut för vidare testning redovisas i figur B1.



Figur B1 Schema över scenarier som testats i denna studie.

Det var meningen att mätningar skulle genomföras under sommar respektive vinterförhållanden. Tyvärr uteblev normalt vinterväder under 2019/2020 vilket inte gav några tillfällen för typiska vintermätningar.

## 2. Mätkampanjer – mätningar av effekten av olika åtgärder

För de identifierade aktiviteterna och åtgärderna designades ett mätprogram för att samla in dataunderlag för analys av de olika damningsreducerande åtgärdernas effektivitet. Denna data användes för att beräkna hur emissionen påverkas av de olika åtgärderna (se avsnitt "Metodik för beräkning av emissionsfaktorer", nedan, för vidare information om mätmetodik och beräkningar). Mätningarna genomfördes i samarbete med industriparterna på utvalda anläggningar.

### Mätinstrument

Samtliga instrument som använts under mätkampanjerna presenteras i tabell B1.

Tabell B1 Instrument som användes i mätkampanjerna.

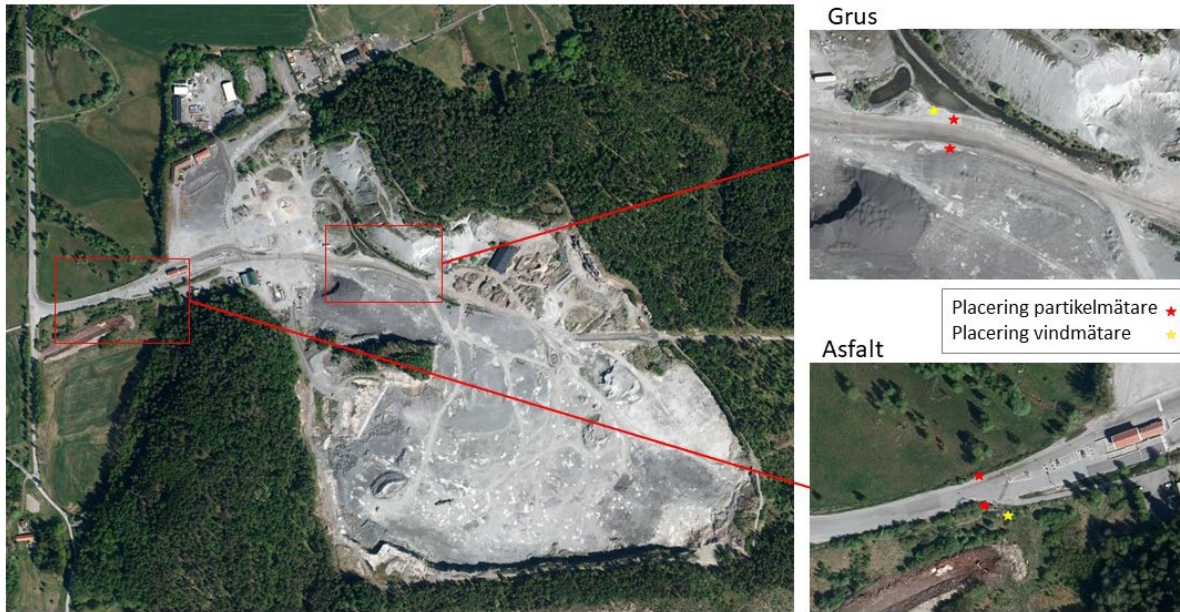
Parameter	Instrument	kommentar
PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , TSP	Optical Particle Sizer (OPS) Model 3330 (2 st)	Högkvalitetsinstrument. Används som utgångspunkt i beräkningarna för att fastställa absoluta halter i partikelplymen.
PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>	Nova SDS011 partikelsensor (7 st)	Enklare sensor som används för att utvärdera partikelplymens utbredning och haltvariation inom plymen.
Vind	Gill Ultrasonic anemometer (1st)	Högupplösta mätningar av vindhastighet och riktning på ca 6 m höjd.
Lufttemperatur och fuktighet	Cambell scientific temperature and relative humidity probe HC2-S3 (1st)	Högupplösta mätningar av lufttemperatur och fuktighet på ca 6 m höjd.

Mätningarna utgick från halter uppmätta med det mer avancerade partikelinstrumenten, OPS 3330. Dessa är högkvalitativa och har i tester visat sig mäta partikelhalter som väl stämmer överens med referensinstrument. I studien hade vi tillgång till två av dessa instrument.

Eftersom damningsplymer är komplexa, med varierande halter i både höjddled och vertikalled kompletterades de högkvalitativa partikelinstrumenten med små, betydligt billigare sensorer, SDS011. Även dessa sensorer har testats i vetenskapliga studier vilket visat att de har betydande svagheter när det gäller att uppmäta absoluta haltnivåer, och att de påverkas felaktigt av till exempel luftfuktighet. Det har dock visat sig att olika sensorer av samma modell stämmer mycket väl överens med varandra om omgivande förhållanden, såsom luftfuktighet och partikelsammansättning är likartade. Eftersom mätningar inom denna studie är begränsade till ett litet område, är både meteorologiska förhållanden och partikelsammansättning mycket likartade inom området, vilket möjliggör att vi kan använda sensorerna för att analysera relativa förändringar inom partikelplymen. För absoluta halter relateras samtliga halter uppmätta med sensorer till OPS-instrumenten.

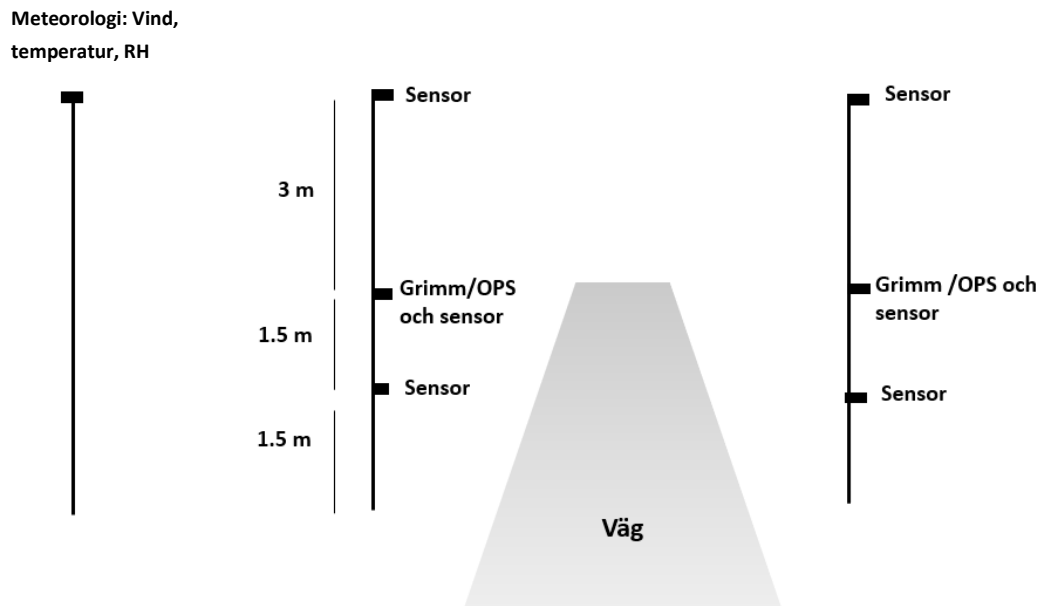
### *Transporter*

Åtgärder för transporter testades på Skanskas bergtäkt i Angered. Den asfalterade vägen där mätningar genomfördes var den tvåfiliga infartsvägen till bergtäkten i Angered precis innanför områdets grindar (Figur B2). Vägen var asfalterad ytterligare ca 200 m in på området, och trafikerades främst av lastbilar som körde in och ut från bergtäkten. Platsen för mätningar av transporter på grusväg visas i Figur B2.



Figur B2 Platser där mätningarna avseende åtgärder för transporter genomfördes vid Angereds bergtäkt.

För både asfalts- och grusväg placerades instrument på olika höjder på båda sidor av vägen enligt beskrivning i Figur B3.



Figur B3 Placering av mätinstrument för mätning av emissioner från transporter.



### *Åtgärder avseende transporter på asfalterad väg*

I denna studie utfördes mätningar före och efter städning av vägytan med hjälp av en traktordragen sopmaskin med mekanisk, bevattnad uppsamling av löst material från vägytan (Figur B4). Typ av fordon, antal släp, hastighet och om fordonet körde in eller ut från området noterades för varje passage. Eftersom mätningarna genomfördes på verklig trafik mättes hastigheten med en lasermätare.



**Figur B4** Den traktordragna stadmaskinen som användes för testerna.

Mätningar av partiklar i olika storleksfraktioner genomfördes 2019-08-27 på båda sidorna av vägen på tre olika höjder. Vindriktning, vindhastighet, temperatur och fuktighet registrerades också på platsen. Emissionsfaktorer (EF) för TSP (total suspenderade partiklar), PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> beräknades för varje passage och en statistikanalys genomfördes för att testa effekten av städning, antal släp och riktning in eller ut från området. De uppmätta absoluta halterna av TSP ska användas med försiktighet eftersom mätning av större partiklar med optiska instrument medför viss osäkerhet. TSP används därför i huvudsak för inbördes jämförelse i den här studien. Totalt 98 passager klarade granskningen och användes som underlag till resultaten som presenteras nedan. Dock var det bara lastbilar som hade tillräckligt många passager för att ge ett godtagbart statistiskt underlag, och därmed ingå i analysen.

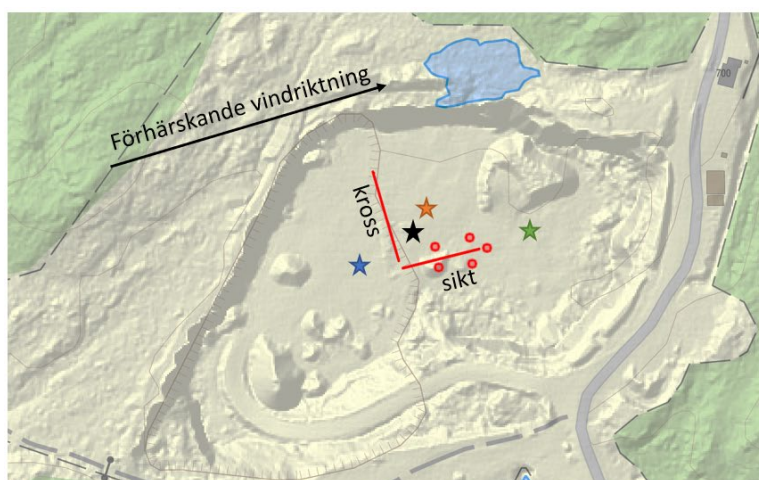
### *Åtgärder avseende transporter på grusväg*

För att undersöka effekten av vattenbegjutning av en grusväg genomfördes mätningar inne på bergtäkten i Angered. Materialet i vägen var hämtat från täkten och bestod av olika kornstorlekar upp till grovgrus. Under mättillfället i augusti var vägbanan på ytan torr innan vattenbegjutning, men någon cm ner i vägbanan var materialet konstant fuktigt. Vägbanan hade bevattnats strax innan mätningarna påbörjades på morgonen, och tilläts därför att torka upp innan ytterligare en vattenbegjutning av vägen skedde.

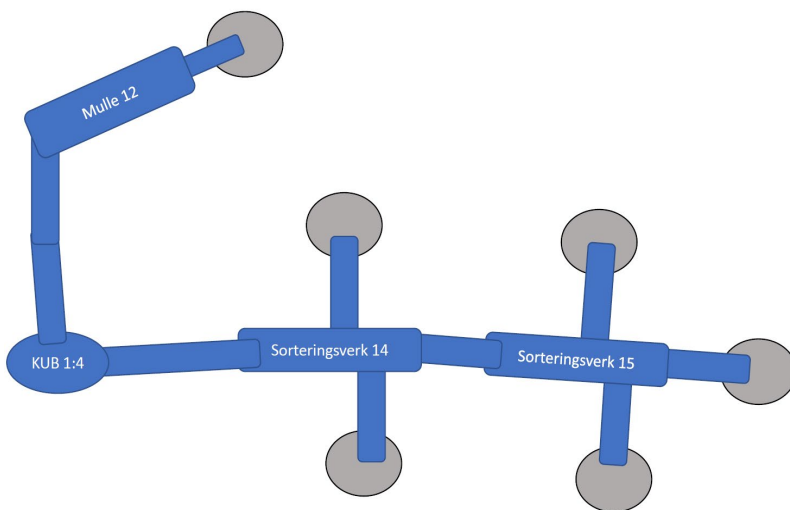
Mätningarna genomfördes på samma sätt som för den asfalterade vägen, och fordonstyp, hastighet och antal släp registrerades för varje fordon som passerade. Denna väg trafikerades främst av lastbilar och dumprar, och totalt 134 godkända passager har använts för beräkningarna.

### *Krossning och siktning*

Testerna för krossning och siktning genomfördes på Swerocks bergtäkt utanför Vänersborg (Figur B5). Partiklar i olika storleksfraktioner mättes på lä- och lovartsidan av först krossen och sedan av sikten. Mätningarna på lovartsidan representerade en bakgrund som ska dras bort från mätningarna på läsidan för att få fram haltbidraget från krossen respektive sikten.



- ★ Bakgrundsmätningar
- ★ Mätningar vid krossen
- ★ Mätningar vid sikten
- ★ Meteorologiskmast



	Tillverkare	Modell
Mulle 12	Svedala	RMH4800
KUB 4	Kenico LTD	BM 150
Sorteringsverk 14 och 15	Möckeln	SVH-8

Figur B5 Översiktspild från bergtäkten i Vänersborg (övre). Mitten bilden, karta över täkten, med placering av krossen och sikten, samt mätplatserna utritat, neder bilden, skiss över kross och siktverk.

När mätningarna genomfördes gick det att se visuellt att plymen av damm från framförallt sikten steg uppåt, vilket innebar att vi inte fångade in hela plymen med mätarna. Detta ledde till beslutet att använda av en högupplöst spridningsmodell (MISKAM) för att beräkna hela plymens storlek och de emissioner som krävdes för att återskapa de halter som uppmätts. Detta kallas inverterad spridningsmodellering och beskrivs ytterligare i faktarutan "Spridningsmodellering".

På samma sätt som för transporterna, har EF för TSP, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub>, från krossen och sikten beräknats. Även här ska resultaten för TSP beaktas med försiktighet eftersom mätning av större partiklar med optiska instrument medför viss osäkerhet.

### 3. Beräkningar av diffusa partikelemissioner

För att kvantifiera diffusa partikelemissioner utifrån mätningar av lufthalter, beräknas så kallade emissionsfaktorer (EF), d.v.s. massan partiklar i en viss storleksfraktion som emitteras per tidsenhet, alternativt per fordonskilometer eller liknande. Hur EF räknas ut beskrivs i avsnittet "Metodik för beräkning av emissionsfaktorer", se nedan. För att beräkna den faktiska emissionen (E) multipliceras EF med hur mycket denna aktivitet (A) förekommer (ekvation 1).

$$E = EF \times A$$

Ekvation 1.

Emissionsfaktorer och de faktiska emissionerna beräknas för källan/aktiviteten före och under/efter vidtagen åtgärd.

#### *Metodik för beräkning av emissionsfaktorer*

För att beräkna emissionsfaktorer för diffus damning från en källa/aktivitet genomförs mätningar av partikelhalten på lä och lovert-sidan av källan/aktiviteten som beskrivet ovan.

#### *Transporter*

För varje fordon som passerade bildas en plym av damm som sakta fördes med vinden förbi mätarna. Tiden som det tog för plymen att passera mätarna varierade, men generellt var plymen borta efter en minut. För varje passage drogs bakgrundshalten bort för att få fram haltbidraget orsakat av fordonet. För att fånga plymens höjd användes mätningarna från sensorerna på 1.5, 3 och 6 meters höjd. Förhållandet mellan sensorerna togs fram samt förhållandet mellan OPS instrumentet och sensorn på 3 meters höjd. Med hjälp av dessa förhållanden beräknades haltbidraget på varje höjd.

Utifrån ekvation 2 beräknades emissionsfaktorn (g/fkm) för varje passage:

$$EF = \sum_t \sum_h (C_{h,t} - C_{BG}) h_i u_t \Delta t$$

Ekvation 2

där  $C_{h,t}$  är partikelhalten vid höjd  $h_i$  över vilken halten antas vara oförändrad och för tid  $t$ ,  $u_t$  är vindhastigheten (vinkelrätt mot vägen) vid tid  $t$  och  $\Delta t$  är tidsintervallet för vilket ett medel av partikelhalten mäts (i detta fall 10 s).

För passage då det registrerats att andra aktiviteter i närheten av mätarna kan ha påverkat resultaten utslöts dessa passager från beräkningarna. Ytterligare en svårighet var det faktum att transporterna ibland kom så tätt inpå varandra att den första plymen inte hunnit passera mätarna helt innan nästa började. I de fall det var samma typ av fordon som passerade efter varandra summerades emissionerna för passagera och delades med antal fordon. I de fall då det rörde sig

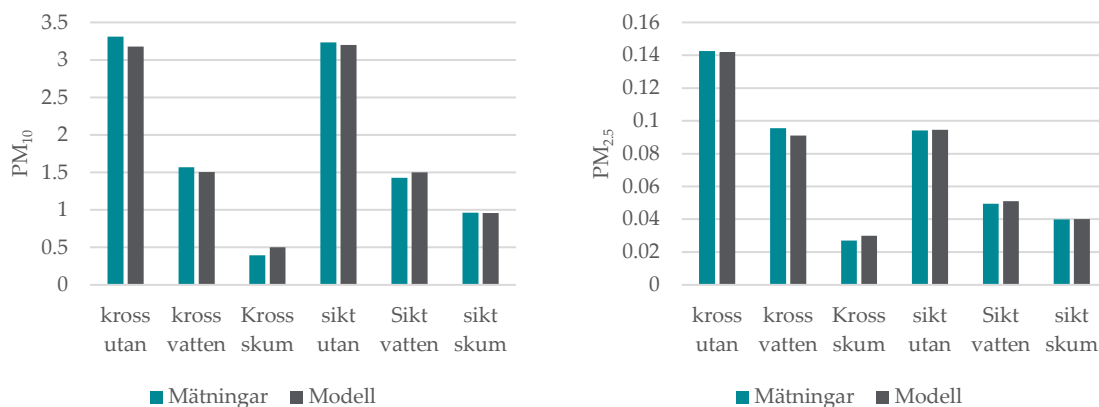
om olika fordonstyper uteslöts dessa passager från datasetet. Totalt 98 respektive 134 passager klarade granskningen för asfalts- respektive grusvägen. Dessa passager användes som underlag till de statistiska analyserna.

Variationen i datasetet var stor därför användes en variansanalys (n-way ANOVA) för att avgöra om åtgärderna gav en signifikant förändring. Effekten av flera faktorer testades; städning (asfalt), bevattning (grus), hastighet, antal släp och riktning in eller ut från området. Interaktionen mellan dessa faktorer testades också, men inga sådana hittades.

### ***Krossning och siktning***

En högupplöst spridningsmodell (MISKAM) användes för att beräkna hela plymens storlek och emissionsfaktorerna vid de olika åtgärderna för sikten och krossen. MISKAM-modellen är en så kallad CFD-modell (Computational Fluid Dynamics) för beräkning av spridning avseende luftföroreningar i mikroskala. Det är en tredimensionell dispersionsmodell som kan beräkna vind- och haltfördelningen med hög spatial upplösning.

De uppmätta vindhastigheterna och vindriktningarna (10 s upplösning) användes för att köra MISKAM, topografi byggdes upp för att fånga effekten av bergväggarna som omgav krossen och sikten. Utifrån tidigare studier ansattes en trolig emission från krossen och sikten [10]. Modellen kördes för de olika åtgärderna, för perioden då mätarna stod vid krossen jämfördes det uppmätta haltbidraget med resultaten från MISKAM i samman punkt. För perioden då mätarna stod vid sikten användes den punkten för jämförelsen. Emissionen från krossen och sikten justerades till dess att mätningarna och modellen stämde överens (Figur B6). Emissionerna från krossen och sikten antogs vara de samma för de olika scenarierna oberoende av var mätarna stod, dvs krossen fick en emissionsfaktor för ingen åtgärd, en för vattenbegjutning och den tredje för skumbegjutning.



**Figur B6 Jämförelse av uppmätta och beräknade halter av PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub>.**

Eftersom de uppmätta halterna och de modellerade halterna stämde överens antogs de emissionsfaktorer som matats in i modellen vara representativa för de olika åtgärderna.



