



GUIDE TILL DAMNINGSREDUCERANDE ÅTGÄRDER

Malin Gustafsson¹, Gabriella Villamor Saucedo¹, Sara Rosendahl² och Jenny Lindén¹

¹IVL Svenska Miljöinstitutet, ²SWERIM AB

Författare: Malin Gustafsson (IVL), Gabriella Villamor Saucedo (IVL), Sara Rosendahl (SWERIM) och Jenny Lindén (IVL)

Medel från: Vinnova, Energimyndigheten och Formas inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet Metalliska Material

Fotograf: Bilder och fotografier i denna rapport är tagna av författarna, tillhandahållna från medverkande företag eller har Creative Commons licens.

Rapportnummer C500, Mars 2020

ISBN 978-91-7883-155-5

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

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

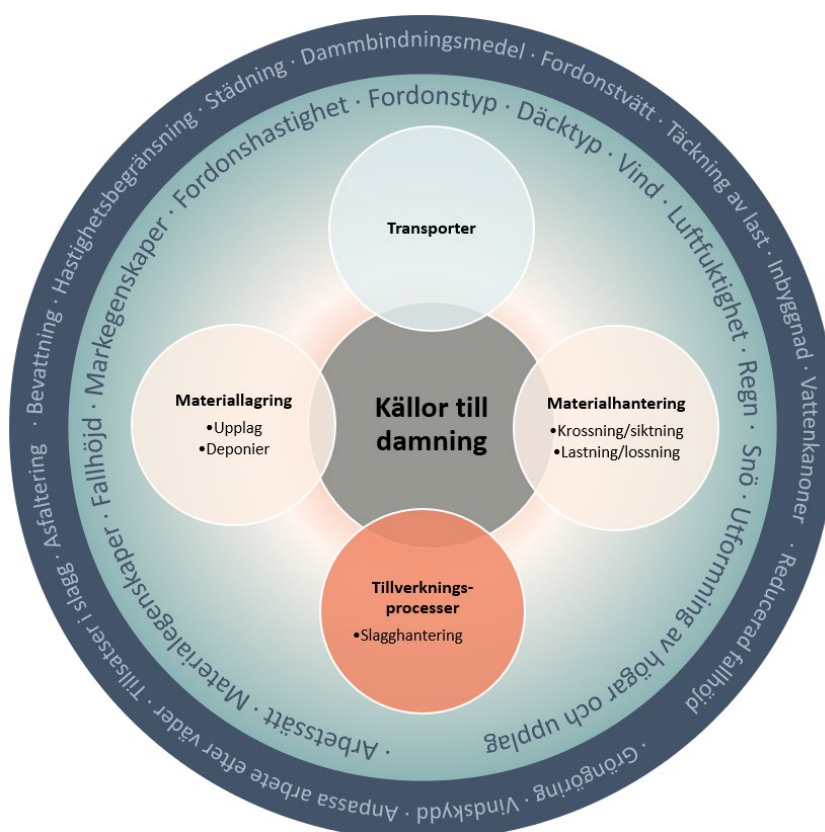
Innehållsförteckning

Inledning	4
Diffus damning	5
Damningsproblematiken	5
Vilka damningskällor finns?	6
Vad påverkar damningsintensiteten?	7
Åtgärder	8
Transporter	9
Materialhantering	12
Lastning och lossning	13
Krossning och siktning	15
Passiv damning från upplag, deponier och öppna ytor	18
Processrelaterad damning	20
Generella åtgärder	21
Gröngöring och vindskydd	21
Arbetsrutiner och utbildning	21
Mätningar	22
Emissions- och spridningsberäkningar	24
Referenser	25

Inledning

Underlaget till denna guide baseras på resultaten från forskningsstudien, *Metoder för att minimera olägenhet och belastning på miljön orsakad av diffus damning vid metallproduktion (DiffDamm)*, vilken finansierats av Vinnova, Energimyndigheten och Formas inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet Metalliska Material. Forskningsstudien har genomförts av IVL Svenska Miljöinstitutet och metallforskningsinstitutet Swerim tillsammans med svensk stål- och metallindustri och består av en kunskapssammanställning avseende källor som ger upphov till diffus damning samt åtgärder för att minska damningen.

Guiden riktar sig till alla verksamheter som upplever problem med diffus damning och beskriver till att börja med vad diffus damning är, vilka problem det ger samt de källor och omgivande faktorer som resulterar i damning. Den största delen av guiden är sedan ägnad åt att beskriva åtgärder som passar vid olika typer av damning. Slutligen beskrivs de mätmetoder och beräkningar som kan användas för att kvantifiera damningen både före och efter att åtgärder införts. Figuren nedan representerar damningskällor, vilka yttre parametrar som påverkar damningsintensitet samt exempel på åtgärder.



De företag och organisationer samt personer som deltagit i studien är Boliden Mineral AB - Rönnskär (Hans Hägglund), Vargön Alloys AB (Annelie Papadopoulou), SSAB EMEA AB - Luleå (Karin Bäckman), AB Sandvik Materials Technology (Per Falck), Outokumpu Stainless AB - Avesta (Joakim Rollin), Uddeholms AB (Ulf Zetterman), Ovako Bar AB - Smedjebacken (Tommy Örtlund/Torbjörn Sörhuus) samt Jernkontoret (Karin Östman).

Diffus damning

Begreppet diffus damning inkluderar damning från diffusa källor som till exempel barlagda ytor, materialupplag, stenkrossar och uppvirvling av damm från arbetsmaskiner - källor som är vanligt förekommande inom industri- och byggarbetsplatser. Till skillnad från partikelemissioner från en definierad punktkälla, från exempelvis skorstenar, är diffusa partikelemissioner betydligt mer komplicerade att definiera, kvantifiera och åtgärda. Svårigheten med diffus damning beror på att den kan uppstå från så många olika källor samt att den påverkas av flertalet faktorer såsom aktiviteter, meteorologiska förhållanden eller damningsbenägenheten hos materialen. Den diffusa damningen sker dessutom vanligen på en geografiskt utspridd yta till skillnad från punktkällor vilket även det försvårar hanteringen.

Damningsproblematiken

Av hälso- och miljöskäl har många industrier krav på sig att rapportera sina totala partikelutsläpp, samt att minska den diffusa damningen i enlighet med miljötillstånd eller kraven i BREF-dokument för verksamheterna. Detta är dock en utmaning eftersom kunskapen om de diffusa utsläppen fortfarande har brister.

Ytterligare incitament för att minska den diffusa damningen är klagomål (framförallt avseende nedsmutsning) från boende och verksamheter i företagens närområde. Även interna arbetsmiljöfrågor kan bidra till att åtgärder införs.

FAKTARUTA 1. 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 orsakat 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 [10-12]. 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 emissionen från diffusa källor alternativt begränsar spridning av damm till omgivningarna. Kunskapen om hur väl damningsreducerande åtgärder fungerar, samt vilka som är lämpligast och mest kostnadseffektiva, är idag mycket bristfällig eftersom kvantifiering av diffusa partikelutsläpp är komplicerad och kräver att man tar hänsyn till såväl aktivitet, meteorologiska parametrar som materialegenskaper m.m. [13, 15]. Därtill är kunskap om hur nordiskt klimat, framförallt avseende tjäle, is och snö, påverkar diffusa emissioner närmast obefintlig när det kommer till vetenskapliga studier, även om det finns viss praktisk erfarenhet ute på företagen.

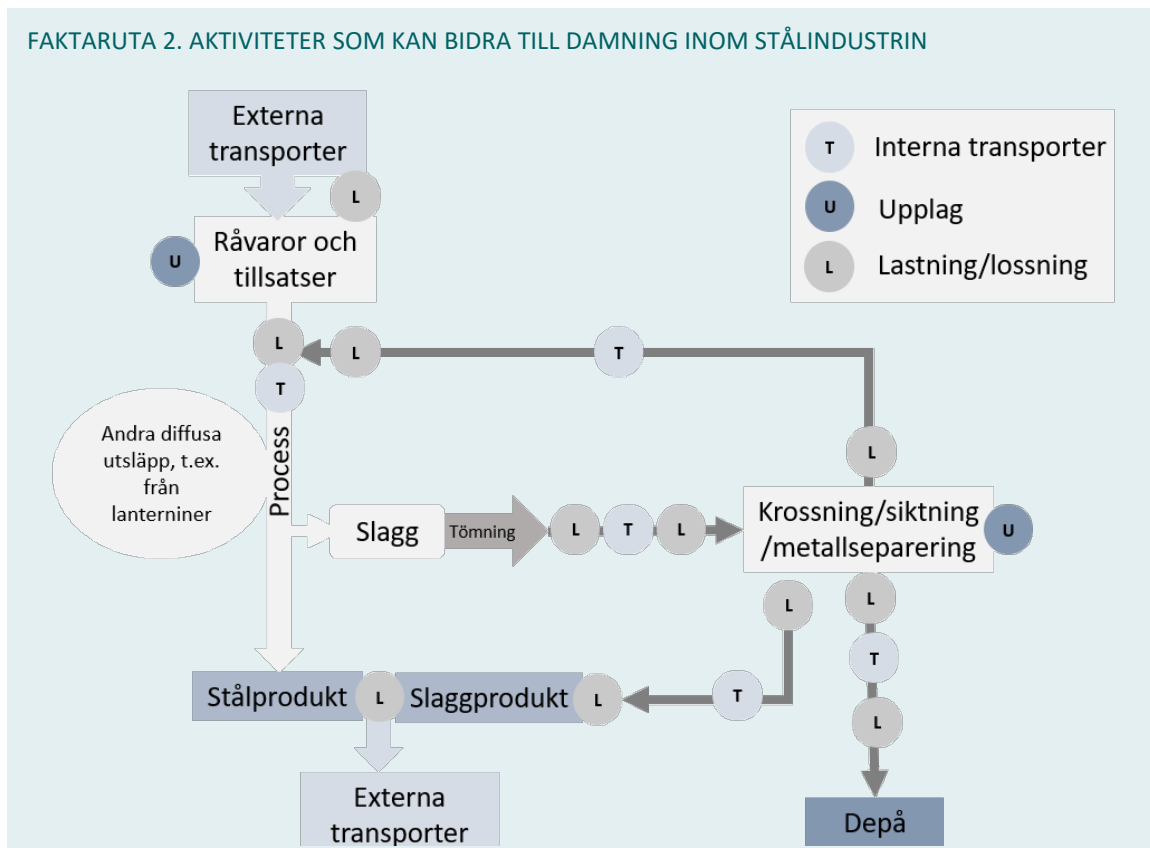
Vilka damningskällor finns?

Många olika typer av verksamheter upplever problem med diffus damning och det finns ofta likheter när det kommer till de källor och aktiviteter som orsakar diffus damning. Till en början kan damningskällorna delas upp i fyra kategorier:



När det gäller transporter kan man skilja på damning från grusväg respektive asfalterad väg, damning från öppna, ofta grusade, ytor samt damning från last. Beträffande hantering av material innan eller efter själva processen är krossning, siktning, lastning, lossning samt brytning av material de vanligaste orsakerna till damning. Vid lagring av material, antingen i högar i väntan på upparbetning eller på deponier, handlar det främst om att det dammar i samband med torrt och blåsigt väder. Det finns också diffusa damningskällor i samband med själva tillverkningsprocesserna. Även där handlar det bland annat om tömning och hantering av material som tillsätts i processen. I Faktaruta 2 visas som ett exempel ett flödesschema över de dammande aktiviteter som kan finnas inom stålindustrin.

FAKTARUTA 2. AKTIVITETER SOM KAN BIDRA TILL DAMNING INOM STÅLINDUSTRIN



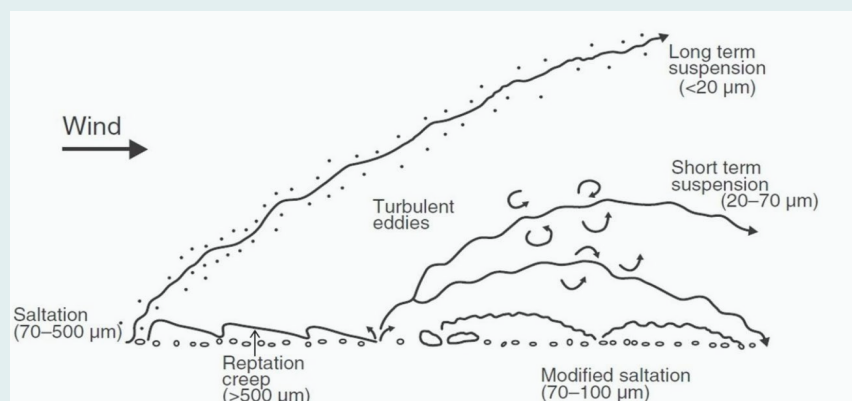
Vad påverkar damningsintensiteten?

Hur intensivt det dammar från en viss källa/aktivitet påverkas av yttre faktorer såsom meteorologiska förhållanden, materialegenskaper, arbetsätt, tekniska aspekter hos arbetsmaskiner med mera. Det finns därför många olika typer av åtgärder som kan genomföras för att minska diffus damning från en aktivitet.

En faktor som är gemensam för nästan alla dammande aktiviteter och källor är meteorologi och framförallt vind och nederbörd. Vinden kan i sig orsaka att partiklar lyfts från marken, men framförallt tar den lätt tag i och dra iväg med damm som mekaniskt lyfts från marken till följd av en aktivitet, se Faktaruta 3. Regn är mycket effektivt för att minska emissionen och spridningen av damm från de flesta källor.

FAKTARUTA 3. VINDDRIVEN DAMNING

Vid låga till måttliga vindhastigheter bidrar den passiva damningen relativt lite i förhållande till andra dammande aktiviteter. Transport av partiklar med vind beror främst på partikelstorlek och vindhastighet. När vindhastigheten ökar är det partiklar med en diameter på $\sim 100 \mu\text{m}$ som börjar förflyttas först [14]. Efter lyft hoppar dessa partiklar längs ytan i en process som kallas saltation [1, 15] från den latinska ordet salto, vilket betyder att hoppa eller springa. Dessa "stora" partiklar som hoppar över markytan kan bilda 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 [14]. 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. De små partiklarna ($< 20 \mu\text{m}$) kan förbli i atmosfären i upp till flera veckor och kan således transporteras tusentals kilometer från källan [14, 16].



Schematisk bild över de olika sätten för eolisk transport, från Kok et al. [14].

Åtgärder

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 partiklar enligt exempel nedan.

Åtgärder som minskar emissioner:

- Bevattning
- Dammbindningsmedel
- Reducerad fordonshastighet

Åtgärder som minskar spridning av damm:

- Vegetation eller andra barriärer
- Vattenkanoner
- Inbyggnation

En viktig fråga avseende damningsreducering är vad som är mest kostnadseffektivt. I Faktaruta 4 finns en kort guide över de frågor som bör besvaras innan en åtgärdsstrategi väljs.

FAKTARUTA 4. KOSTNADSEFFEKTIVA ÅTGÄRDER

För att hitta de mest effektiva åtgärderna kan det hjälpa att besvara följande frågor:

1. Vilka aktiviteter och källor som dammar förekommer?
2. Hur mycket förekommer varje aktivitet under en dag, månad, år?
 - a. Aktiviteter, så som transporter på en asfalterad väg kanske inte bidrar så mycket när man tittar på ett enskilt fordon jämfört med t.ex. ett krossverk, men den totala damningen orsakad av samtliga transporter på asfalt kan göra det.
3. Utifrån steg ett och två, vilka aktiviteter och/eller källor är viktigast?
 - a. Finns det tillgång till emissionsfaktorer för dessa aktiviteter eller går det att ta fram genom att mäta och beräkna?
 - b. Tänk på att små partiklar som kan transporteras långväga inte är synliga för blotta ögat.
4. Vilka yttre parametrar, såsom meteorologi, påverkar damningskällorna?
5. Vad finns det för potentiella åtgärder för att minska den diffusa damningen?
 - a. Hur effektiv är åtgärden?
 - b. Hur länge varar effekten?
 - c. Vad kostar insatsen?
 - d. Hur ofta behöver åtgärden genomföras?
 - e. Påverkas produkten av åtgärden?
 - f. Påverkas omgivningen negativt på något sätt?

Alla verksamheter ser olika ut och har olika förutsättningar att genomföra åtgärder. Det är viktigt att gå igenom och förstå hur det fungerar på just er anläggning.

I följande stycken beskrivs de fyra huvudkällorna till damning först avseende vilka yttre faktorer som kan påverka hur mycket det dammar följt av vilka rimliga åtgärder som finns att tillgå.

Transporter



På ett industriområde finns det flertalet vägar, transportsträckor och andra ytor som trafikeras av fordon och på det sättet orsakar diffus damning. De fordon som främst ger upphov till damningen är bland annat dumprar, lastmaskiner, lastbilar, gränsletruckar och hjullastare. Vidare påverkar även körsätt, typ av lastning samt underlaget bidraget till diffus damning. Faktorer som kan påverka damning från transporter presenteras nedan.

Det finns många åtgärder som kan användas för att minska damning från transporter, exempelvis hastighetsbegränsningar, dammbindningsmedel, städning samt hårdgöring av ytor. En beskrivning över olika åtgärder tillsammans med för- och nackdelar sammanfattas i Tabell 1. Vissa åtgärder kan leda till fler miljövinster än de uppenbara. Exempelvis har det visat sig att hastighetsbegränsningar lett till lägre bullernivåer och bättre arbetsmiljö och trivsel vid vissa industrier.

FAKTORER SOM KAN PÅVERKA DAMNING FRÅN TRANSPORTER

METEOROLOGI	FORDONET	KÖRSÄTT	UNDERLAGET
<ul style="list-style-type: none"> • Vind • Nederbörd • Luftfuktighet • Temperatur 	<ul style="list-style-type: none"> • Storlek (höjd) påverkar turbulens • Antal hjulpar • Frigångshöjd • Antal släp 	<ul style="list-style-type: none"> • Hastighet • Placering på vägen (kant/mitt) • Lastad eller tom 	<ul style="list-style-type: none"> • Typ av underlag (asfalt/grus) • Materialfuktighet • Partikelfraktion på väg

TABELL 1: ÅTGÄRDER AVSEENDE TRANSPORTER

UNDERLAGET			
ÅTGÄRD	BESKRIVNING	FÖR- OCH NACKDELAR	REFERENSER
BEVATTNING 	Bevattning minskar diffus damning genom ökad adhesion, vilket gör partiklarna större och tyngre. Vatten används för dammbindning både på grusade och asfalterade ytor. På asfalterade ytor sker bevattningen ofta i kombination med sopning.	<ul style="list-style-type: none"> + Vatten är ofta lättillgängligt och bevattning kan ske på flera sätt. + Effekten är direkt och markant. - Effekten är oftast kortvarig. - Fungerar inte vid minusgrader. 	[13, 17-19]
STÄDNING 	Städning i form av sopning av vägunderlag med borst- och spolbilar kan minska dammet genom att hålla underlaget rent. Effektiviteten kan variera mycket beroende på vilken typ av maskin som används.	<ul style="list-style-type: none"> + Enklare städmaskiner har visat marginell minskning av partiklar på kort sikt. Dock ska man tänka att om en asfalterad yta inne på ett industriområde inte städas alls blir den så småningom mer lik en grusväg. - Kan innebära dyr investeringskostnad. - Säsongsbegränsningar. 	[20-22]
DAMMBINDINGSMEDEL ** 	Liksom bevattning fungerar dammbindningsmedel genom ökad adhesion, vilket gör partiklarna större och tyngre. Exempel på dammbindningsmedel: <ul style="list-style-type: none"> • vägsalter; CaCl₂, MgCl₂, CMA • ligniner; till exempel Dustex (lignin och salter), • citrusolja; till exempel DustCon 	<ul style="list-style-type: none"> + På asfalt har dammbindningsmedel visat en reducerande effekt på PM₁₀-halter med ca 35–40 % första dygnet efter utläggning. <ul style="list-style-type: none"> - Effekten avtog dock efter 3–4 dygn. + På grusade ytor används oftast medel som Dustex. Detta kan läggas på i omgångar och upplevs då ge en långvarig effekt. - Dammbindningsmedel på asfalterade ytor kan reducera friktionen och göra ytan hal. 	[8, 17, 19, 23, 24]
HÅRDGÖRING AV YTOR 	Typ av underlag påverkar damningen betydligt. Asfaltering eller annan hårdgöring av transportvägar och körbara ytor kan minska damning från transporter markant, se exempel i Box 4.	<ul style="list-style-type: none"> + Hårda ytor är även lättare att städa och ytbehandla. - Risk för halka under vissa säsonger. - Kan innebära dyr investeringskostnad. 	[13]

KÖRSÄTT

<p>HASTIGHETS- BEGRÄNSNING</p> 	<p>För att minska uppvirvling av damm från vägbanan samt damning från lasten är sänkning av fordonshastigheten ett bra alternativ. Fordonshastighet har visats vara en betydande faktor för partikelemissionen orsakad av fordon, se exempel i Box 4.</p>	<p>+ Enkel åtgärd som inte kräver investering i maskiner.</p> <p>+ Det går att sätta in mekanisk hastighetsbegränsning i arbetsfordon.</p> <p>- Kan vara svårt att kontrollera efterlevnaden.</p> <p>- Arbetet kan ta längre tid.</p>	<p>[13, 25-28]</p>
FORDONET			
<p>TÄCKNING ALTERNATIVT BEVATTNING AV LAST</p> 	<p>I de fall då damningsproblemet kan härledas till själva lasten är bevattning alternativt övertäckning av lasten ett alternativ.</p>	<p>+ Vid täckt last riskerar inte material att falla ner på vägbanan.</p> <p>- Att bevattna materialet kan vara problematiskt om det är av vikt att det är torrt när det kommer fram.</p> <p>- Täckning av materialet kan vara omöjligt om det är varmt material som transporteras.</p> <p>- Eventuellt har fordonen inte möjlighet för täckning av last.</p>	<p>[8]</p>
<p>FORDON- OCH DÄCKRENGÖRING</p> 	<p>För att ytterligare minska den diffusa damningen är det möjligt att tvätta/spola av arbetsmaskiner. Ofta sker detta då fordonen lämnar extra dammiga områden genom att exempelvis arbetsfordon passerar en spolbåge.</p>	<p>+ Minskar spridning av damm som fastnar på fordon.</p> <p>+ Håller vägunderlag rent.</p> <p>- Kan eventuellt vara problematisk att ta hand om vattnet.</p>	<p>[8], *</p>

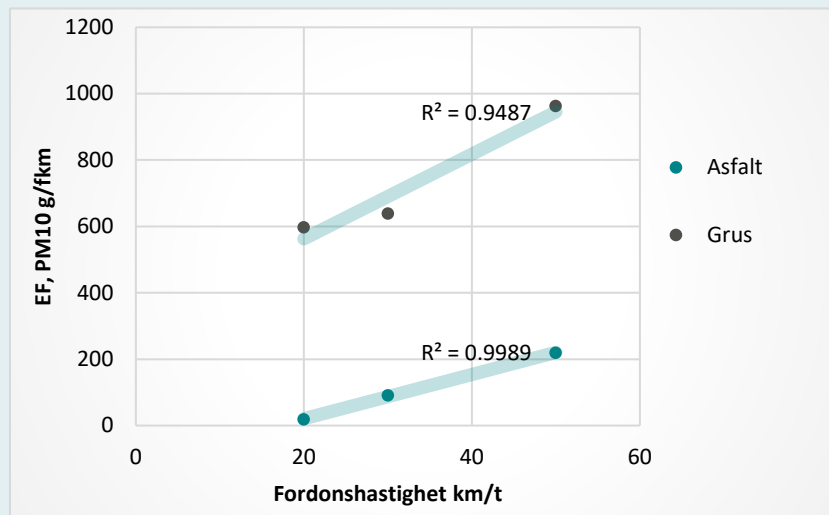
* Företagens information och erfarenheter

** Bild från <https://www.dustex.se/>

Som beskrivet i tabellen ovan påverkar typ av underlag och fordonshastighet damningen betydligt. I en studie av Gustafsson och Peterson [13] beräknades emissionen vara mellan 4 och 33 gånger högre vid körning på en grusad väg jämfört med en asfalterad väg, beroende på fordonshastighet (Faktaruta 5), vilket överensstämde med tidigare studier [25-27].

FAKTARUTA 5. EFFEKT FRÅN FORDONSHASTIGHET

Emissionsfaktorer (gram PM₁₀ per fordon och kilometer) för en dumper vid körning på asfalterat respektive grusat underlag i tre hastigheter; 20, 30 och 50 km/t (baserat på mätningar utförda vid Vargön Alloys) [13].



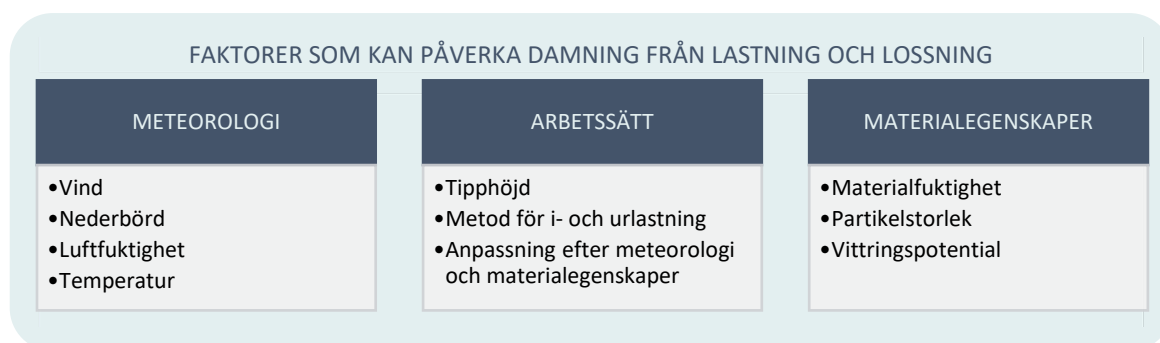
Materialhantering





Materialhantering har en stor betydelse för den totala diffusa damningen från en anläggning. Till materialhantering räknar vi krossning, siktning, lossning/lastning och upplag av material inom området. Viss damning sker även vid exempelvis hantering av filterstofv samt vid leveranser av material, exempelvis lossning från tågsvagn eller båt.

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 flera faktorer som påverkar lastning/lossning såsom meteorologi, arbetsätt och materialegenskaper, vilket presenteras nedan.



Det finns inte lika många åtgärder som kan genomföras avseende lastning och lossning som för till exempel transporter. Tänkbara åtgärder inkluderar anpassad tipphöjd både under lastning och lossning, bevattning av material innan lastning, införande av vattenkanoner och anpassning av arbetet efter väderlek. Att planera ett område med utgångspunkten att minimera antalet lastningar, lossningar och transportsträckor är även det ett viktigt arbete för att minska de diffusa emissionerna från lastning och lossning. I Tabell 2 beskrivs de åtgärder som kan införas för lastning/lossning med de för- och nackdelar som finns för varje åtgärd.

TABELL 2: ÅTGÄRDER AVSEENDE LASTNING OCH LOSSNING			
ÅTGÄRD	BESKRIVNING	FÖR- OCH NACKDELAR	REFERENSER
TIPPHÖJD 	Minskad tipp höjd bidrar till minskad damning.	<ul style="list-style-type: none"> + Enkel metod att tillämpa. + Ingen kostnad. - Inte alltid möjligt beroende på fordon och plats för lossning. 	[13, 29]
VATTENKANONER OCH VATTENDYSOR 	Mobila eller stationära vattenkanoner kan användas för att sprida en dimma av små vattendroppar för att minska spridning av damm. Läs mer i Box 6. Möjlighet finns att installera väderanpassade vattenkanoner som optimerar dimman i relation till vinden. Alternativ till vattenkanoner kan vara installation av dysor eller vattenspridare.	<ul style="list-style-type: none"> + Kan användas för att reducera damning från många olika aktiviteter/källor samtidigt. - Stora investeringskostnader. - Möjligheten till användning under vintersäsongen kan vara begränsad. - Inte alltid effektiva vid för mycket vind. 	*
ANPASSNING EFTER VÄDERLEK 	Anpassning av verksamhet efter väder, där vindhastighet och vindriktning kan påverka hur själva lastningen eller lossningen går till.	<ul style="list-style-type: none"> + Billig åtgärd. - Inte alltid möjligt att anpassa industriprocessen efter väder. 	*


* Företagens information och erfarenheter

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 och siktas samt hur damningsbenäget materialet som krossas är. Inom till exempel bergstäktsverksamhet anges krossning och siktning vara de främsta damningskällorna [30, 31]. Utöver materialegenskaper påverkas damningen från krossning/siktning främst av vilken typ av kross/siktverk som används samt meteorologin. Se en detaljerad lista över faktorerna som kan påverka damning från krossning och siktning nedan.



Det finns flera åtgärder som kan minska damning vid krossning och siktning. Studier har visat att bevattning är en effektiv åtgärd vid krossning/siktning, men även skum har visat sig fungera bra. Vidare finns det även möjligheter att minska på damningen med hjälp av inbyggnationer/inkapslingar av vissa delar av maskinerna. Det gäller även användandet av trattar vid slutet av transportband. I Tabell 3 beskrivs relevanta åtgärder avseende krossning och siktning, med de för- och nackdelar som kan finnas.

TABELL 3: ÅTGÄRDER AVSEENDE KROSSNING OCH SIKTNING			
ÅTGÄRD	BESKRIVNING	FÖRDELAR- OCH NACKDELAR	REFERENSER
BEVATTNING 	<p>Bevattning har visats minska damning från krossning och siktning avsevärt, se Box 5.</p> <p>Det går att använda bevattning på olika ställen i krossningsprocessen. Mest effektivt är att bevattna med dysor tidigt i processen.</p>	<p>+ Många krossverk har dysor monterade.</p> <p>+ Låg kostnad.</p> <p>- Det är inte alltid möjligt med bevattning om det föreligger problem att materialet blir blött.</p> <p>- Säsongsbegränsningar.</p>	[7, 13]
SKUM 	<p>Det finns möjligheter att använda skumbehandling vid krossning och siktning. Skummet appliceras på materialet som transporteras, krossas, tippas eller sorteras av maskinerna.</p> <p>Exempel på skummedel är DustFoam (citrusolja) och DustFoam-DC (estrar av alifatiska syror).</p>	<p>+ Använder relativt lite vatten så materialet blir inte blött.</p> <p>+ Relativt enkel installation.</p> <p>- Har ingen långvarig effekt.</p>	[8]
TÄCKNING OCH INKAPSLING 	<p>Täckning av transportband kan bidra till att diffus damning från transportbanden minskar.</p> <p>Täckning av vissa extra dammande delar från krossning och siktning gör utsläppet mer kontrollerat. Det finns även möjlighet att koppla på en dammsugningsanläggning med filter.</p>	<p>+ Stänger in dammet.</p> <p>- Kräver investering.</p> <p>- Kan vara praktiskt svårt att bygga in befintliga krossar.</p>	*
REDUCERA FALLHÖJD FRÅN TRANSPORTBAND 	<p>Reducering av fallhöjd från transportband till hög påverkar damningen avsevärt. Det finns kross- och siktverk med ställbara transportband som kan höjas eller sänkas beroende på högens höjd.</p> <p>Trattar kan även fästas i slutet av ett transportband för att minska spridningen av damm.</p>	<p>+ Möjlighet att anpassa efter högens höjd.</p> <p>- Kräver investering.</p>	*
ANPASSNING EFTER VÄDERLEK 	<p>Undvika att använda krossen när det är ogynnsamma förhållanden, till exempel torrt och blåsigt väder.</p> <p>Om möjligt, ta hänsyn till hur krossar och siktar placeras i förhållande till den förhärskande vindriktning.</p>	<p>+ Billig åtgärd.</p> <p>- Inte alltid möjligt att anpassa industriprocessen efter väder.</p>	*

* Företagens information och erfarenheter

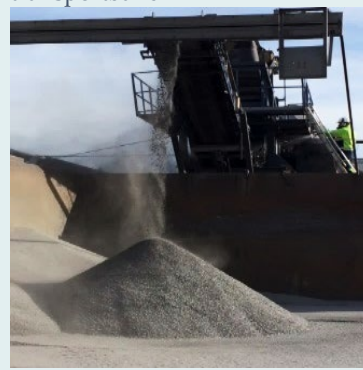
FAKTARUTA 6. BEVATTNING VID KROSSNING/SIKTNING

Bevattning har visats minska damning från krossning och siktning avsevärt. Det går att använda bevattning på olika ställen i krossningsprocessen. Mest effektivt är att bevattna med dysor tidigt i processen. Fotona (A och B) samt figur C och D nedan visar skillnaden före och vid bevattning av sista transportbandet vid krossning av produkten ferrokrom. Den högra figuren visar skillnaden vid slaggkrossning med och utan bevattning med dysor vid första krossteget [13].

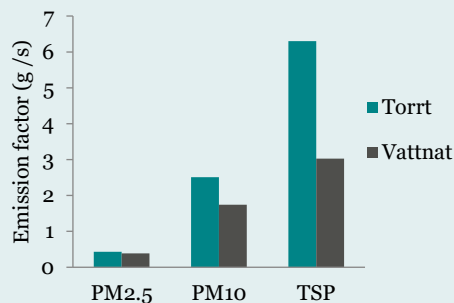
A. Krossning utan åtgärd



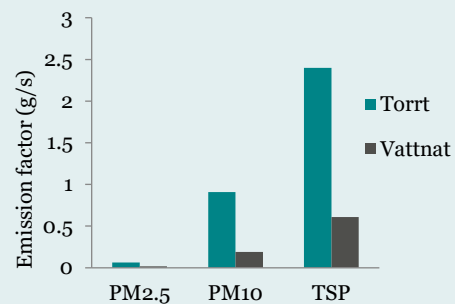
B. Krossning vid bevattning av transportband



C. Emissionsfaktorer för krossning av FeCr med och utan bevattning av transportbandet



D. Emissionsfaktorer för krossning av slagg med och utan bevattning med dysor vid första krossteget



PM2.5 = Partiklar < 2.5 µg i diametern
 PM10 = Partiklar < 10 µg i diametern
 TSP = Totalt Suspenderade Partiklar

Passiv damning från upplag, deponier och öppna ytor

Passiv damning kan ske från alla öppna ytor och högar av material och innefattar diffusa partikelemissioner som orsakas av framförallt vind. Vid lagring av material, antingen i högar i väntan på upparbetning eller på deponier, dammar det främst i samband med torrt och blåsigt väder. Även öppna ytor såsom grusplaner kan bidra till passiv damning. Passiv damning påverkas utöver meteorologiska parametrar såsom vindhastighet, luftfuktighet och nederbörd, även av materialegenskaper.

För högar av material är materialets egenskaper avgörande för benägenheten till passiv damning. Exempelvis bildar vissa material en skyddande skorpa då de exponeras för fukt, medan andra material, såsom kalk, är finkorniga och har självvittrande egenskaper och därför väldigt lätt kan damma med vinden. Temperatur påverkar huruvida material är frusna samt hur snabbt ytor och material torkar efter till exempel regn eller bevattning. Nedan redovisas faktorer som kan bidra till passiv damning från materialhögar och öppna ytor.

FAKTARUTA 7. VATTENKANONER

Vattenkanoner är en åtgärd som har direkt effekt på spridningen av damm. Vattenspridningen från vattenkanoner innebär att en dimma bildas, vilket bidrar till att partiklarna i luften binder till sig de små vattendropparna och därefter sjunker till marken.

Med flera vattenkanoner kan man arrangera placering och riktning i förhållande till vindriktningen. Syftet är att då bilda en barriärdimma som stoppar spridningen av dammet på ett effektivt sätt.



FAKTORER SOM KAN PÅVERKA DAMNING FRÅN DEPONIER, UPPLAG OCH ÖPPNA YTOR

METEOROLOGI

- Vind
- Nederbörd
- Luftfuktighet
- Temperatur

ÖPPNA YTOR






- Genomfart av trafik
- Underlag; grus eller hårdgjord yta

HÖGAR AV MATERIAL

- Vittringspotential
- Högars placering i förhållande till varandra och vinden.

För att minska den damning som kan förekomma från materiallager, exempelvis slagghögar eller slutdepåer, har företagen arbetat med flertalet åtgärder såsom logistik för materiallagret, täckning av depåer, vattenkanoner samt dammbindningsmedel. Det finns även möjligheter att påverka damningen genom planering av materialupplaget, då utformningen, men även placeringen, av högarna i förhållande till varandra kan motverka damning. I Tabell 4 presenteras relevanta åtgärder avseende upplag, deponier och öppna ytor med de för- och nackdelar som kan finnas.

TABELL 4: ÅTGÄRDER AVSEENDE DAMNING FRÅN UPPLAG, DEPONIER OCH ÖPPNA YTOR

ÅTGÄRD	BESKRIVNING	FÖRDELAR- OCH NACKDELAR	REFERENSER
PLACERING AV UPPLAG 	<p>Placering av upplag bör planeras i förhållande till den förhärskande vindriktningen.</p> <p>Hur högar placeras i förhållande till varandra kan också påverka hur mycket det dammar.</p>	<p>+ Om plats finns kan planering av högar vara en kostnadseffektiv åtgärd.</p> <p>- Begränsade möjligheter att påverka placering av högar.</p>	[32, 33]
BEVATTNING 	<p>Vattna högar aktivt eller använda vattenkanoner för att sprida dimma över ett område med högar, se mer i Box 6 och 7.</p>	<p>+ Kan kräva mycket vatten, men om torra och blåsiga förhållande väntas kan det vara en effektiv åtgärd.</p> <p>- Svårt att bevattna stora områden.</p>	*
DAMMBINDNINGSMEDEL ** 	<p>Sprida dammbindningsmedel över högar eller öppna ytor. Exempel är Dustex, DustCon eller DustFi.</p>	<p>+ På grusade ytor används oftast medel som Dustex. Detta kan läggas på i omgångar och upplevs då ge en långvarig effekt.</p> <p>- Svårt att sprida dammbindningsmedel över stora områden.</p> <p>- Vissa material kan bli förstörda av medlet.</p>	[8]
FÖRVARING I BYGGNADER/TÄLT 	<p>Vissa material kan förvaras under tält eller vara inbyggda. Produkter eller råmaterial som måste hållas torra förvaras generellt på detta sätt.</p> <p>Förvaring inomhus av material med hög damningsbenägenhet, exempelvis kalk, är också att rekommendera.</p>	<p>+ Medför att materialet håller sig torrt.</p> <p>- Kan vara väldigt kostsamt.</p> <p>- Utrymme kan vara en begränsande faktor.</p>	*
TÄCKNING 	<p>Täckning av materialhögar med gräs, jord eller annat material.</p> <p>Används främst för slutdeponi.</p>	<p>- Kan vara kostsamt.</p> <p>- Begränsade möjligheter.</p> <p>+ Vegetation ökar depositionsytan, små partiklar kan fastna på bladen och på så vis rensas från luften.</p> <p>+ Binder dammet på marken och minskar vinddriven damning.</p>	*

* Företagens information och erfarenheter

** Bild från <https://www.dustex.se/>

Processrelaterad damning

Viss diffus damning sker i samband med själva processen. Då processerna skiljer sig åt mellan företag och branscher är det också stor variation på vad i processen som orsakar damning och hur man kan gå tillväga för att åtgärda problemen.

Med utgångspunkt i att denna studie utförts tillsammans med stål- och metallindustrin fokuseras det i detta stycke på de källor och åtgärder som lyfts fram för denna typ av industri. Troligtvis går det hitta kopplingar även till andra branscher. Även inom stål- och metallindustrin varierar den processrelaterade damningen mellan de olika företagen men exempel på övergripande aktiviteter/damningskällor som är gemensamma för flera av företagen är:

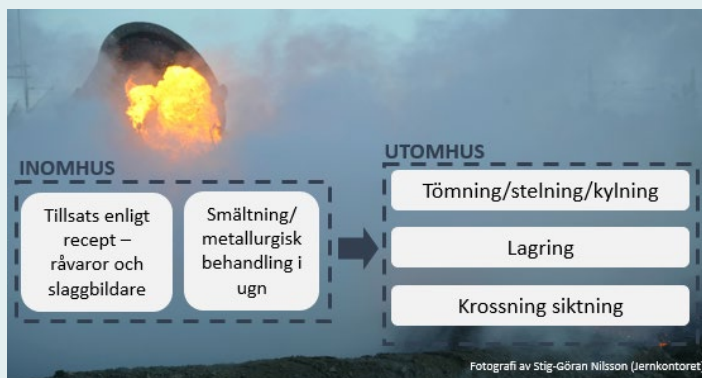
- hantering av stofffilter;
- hantering av materialtillsatser — exempelvis kalkhantering;
- utsläpp från lanterniner;
- utsläpp från dörrar/fönster/luckor som hålls öppna under damnande aktiviteter;
- slagghantering.

Hanteringen av slagg, en restprodukt från ståltillverkningsprocessen (läs mer om slagg i Jernkontorets sammanställning "Stålindustrin gör mer än stål"

<https://www.jernkontoret.se/globalassets/publicerat/handbocker/handbok-for-restprodukter-2018.pdf>), består av flertalet aktiviteter som upplevs bidra till en stor del av damningen bland de deltagande företagen från stålindustrin. För mer information om slagghantering och eventuella åtgärder, se Faktaruta 8.

FAKTARUTA 8. DAMNING OCH ÅTGÄRDER VID SLAGGHANTERING

De damnande slaggaktiviteter som sker utomhus innefattar tömningen av slagg, lagring, krossning och siktning.



De olika komponenterna i slaggen, på grund av produktionsskillnader, bidrar till att problematiken variera mycket. Bland annat ger de stora temperaturförändringar som sker vid tömningen av den varma slaggen risk för slaggsprängning. Detta kan resultera i att stora dammoln bildas.

Exempelvis kan följande åtgärder användas vid hantering av slagg:

- Påverka slaggens damningsbenägenhet genom tillsatser av ämnen eller förändringar i produktionen för att på så sätt förändra materialegenskaperna och göra slaggen mindre damningsbenägen.
- Effektiv vattenbegjutning vid tömning av slaggen.
- Användandet av vattenkanoner vid tömning, lagring och lastning/lossning av slaggen.
- Användandet av fler tipplatser som bidrar till att slaggtömning kan anpassas efter väderlek.

Generella åtgärder

Utöver de åtgärder, anpassade för de fyra huvudkällorna till damning, som beskrivits tidigare, finns det ett par damningsreducerande åtgärder som kan användas för flertalet damningskällor över hela anläggningen.

Gröngöring och vindskydd

Eftersom vind påverkar spridningen av damm avsevärt kan åtgärder som reducerar vindhastigheter, såsom vegetation och vindskydd, vara passande. Ett exempel på ett vindskydd kan ses nedan.



Det finmaskiga nätet bidrar till att vinden minskar, men motverkar också den turbulens av vind som kan uppkomma om barriären istället var ett tätt plank eller mur [34-36]. Det finns även möjligheter att arbeta med vegetation för att åstadkomma vindskyddande barriärer samtidigt som vegetationen även kan öka deposition av damm [37, 38].

Arbetsrutiner och utbildning

Ett sätt att förebygga spridning av diffust damm är att utbilda och informera berörd personal och entreprenörer dvs. de som genom sitt arbetssätt direkt kan påverka den diffusa damningen.




Många gånger kan det vara relativt enkel information som gör att kunskapen om, och förståelsen för, en given damningskälla ökar. Om personalen har förståelse för problemet och hur deras aktivitet påverkar damningen är det troligare att regler efterlevs och att bättre anpassning av verksamheten kan ske. Exempelvis finns det på flera företag en företagsintern regel om att material inte ska tippas när det blåser för mycket. Då det i många fall är subjektivt att bedöma när det blåser för mycket är det inte alltid som regeln efterlevs. Med information och utbildning kan man lättare se konsekvenserna av sitt arbete och därmed lättare följa reglerna.

För att ge förståelse för damningsproblematiken och den påverkan det har på omgivningen finns det företag som valt att skicka klagomål vidare till de berörda produktionsavdelningarna (efter att de registrerats som avvikelser), istället för att det, som tidigare, fastnat hos företagets miljöavdelning.

Mätningar

För att kunna utreda vilka åtgärder som är mest effektiva, krävs det uppföljning och övervakning av de aktiviteter som bidrar till diffus damning. Utredningar kan även krävas inför tillståndsärenden för att fastställa att halter inte överskrider miljö kvalitetsnormer (MKN), samt vid bevarande av god arbetsmiljö enligt de hygieniska gränsvärdena för partiklar.

För att kunna avgöra damningens omfattning, både internt och externt, finns det flera sätt att mäta och kartlägga damningsassocierade olägenheter. I följande avsnitt beskrivs olika mätmetoder, både aktiva och passiva, deras användningsområden samt eventuella för- och nackdelar.

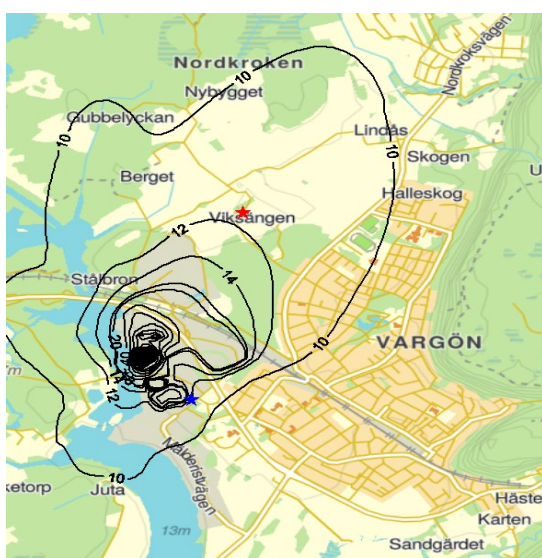
TABELL 5: PASSIVA MÄTMETODER		
MÄTMETOD	BESKRIVNING	FÖRDELAR/ NACKDELAR
PASSIVA PROVTAGARE 	Med passiva partikelprovtagare kan man främst fastställa dammets innehåll samt deposition (gram/m ²).	<ul style="list-style-type: none"> + Billig provtagare. + Kräver ingen ström. - Inga haltnivåer som t.ex kan jämföras med MKN. - Ingen partikelfraktionering. - Låg tidsupplösning.
FLUXMÄTARE 	Fluxmätare används för att mäta det horisontella flödet av uppvirvlade partiklar från olika riktningar (gram/m ²). Exempel på provtagare: MWAC (Modified Wilson and Cook).	<ul style="list-style-type: none"> + Billig mätmetod. + Kan ge information om vilken riktning partiklarna härstammar från. - Inga haltnivåer som t.ex kan jämföras med MKN. - Ingen partikelfraktionering. - Låg tidsupplösning.
PROVTAGNING AV FALLANDE STOFT 	Fallande stoft kan provtas månadsvis med en nedfallsträtt. Metoden ger såväl torr- som våtdeposition (gram/m ²). För stora partiklar (>100 µm) minskar uppsamlings-effektiviteten varför man i huvudsak får en uppsamling av partiklar <100 µm. Exempel på provtagare: NILU enligt internationell standard (ISO/DIS 4222).	<ul style="list-style-type: none"> + Billig mätmetod. - Ingen partikelfraktionering. - Låg tidsupplösning. - Metoden ger ej absoluta värden på den mängd stoft som deponeras på en yta, men ett värde som är relativt väl korrelerat till detta.

TABELL 6: AKTIVA MÄTMETODER OCH MÄTINSTRUMENT

MÄTMETOD	BESKRIVNING	FÖRDELAR/ NACKDELAR
PARTIKELSENSORER 	Sensorteknologi kan användas för övervakning vid industriell verksamhet för att öka antalet mätpunkter, eller för att kartlägga variationer över kortare tid. Det är dock mycket viktigt att vara medveten om att billiga sensorer ofta är förknippade med stora osäkerheter. Exempel på provtagare: SDS011	<ul style="list-style-type: none"> + Billiga. + Mäter olika partikelfraktioner. + Mäter med hög tidsupplösning. - Kräver tillgång till ström - Sensorerna fungerar olika bra vid olika haltintervall. - Är känsliga för meteorologiska förhållanden. - Prestandan försämras relativt snabbt över tid.
AKTIVT PUMPAD PARTIKELPROVNING 	Med en aktivt pumpad partikelprovtagare kan provtagning ske som dygns-, vecko- eller månadsvis. Partiklarna sugas in horisontellt med hjälp av en pump och leds till ett filter där partiklarna samlas upp. Provtagningen genererar halter i luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ eller PM_1 . Partikelprovtagning som vecko- eller månadsmedelvärden används som en indikativ mätmetod för PM_{10} och $\text{PM}_{2.5}$, där provtagningen sker 15 respektive 2 minuter per timme. Exempel på provtagare: IVL:s partikelprovtagare som bygger på referensmetoden (SS-EN 12341:1998). Leckelprovtagare som är referensmetod för PM_{10} -provtagning i enlighet med Naturvårdsverkets föreskrifter om kontroll av luftkvalitet.	<ul style="list-style-type: none"> + Halter i luft genereras och möjliggör jämförelse med MKN. + Kan mäta både grova och fina partiklar. + Veckoprovtagningen uppfyller kraven på indikativa mätningars tidstäckning för jämförelse med MKN. - IVL:s partikelprovtagare är lätt att placera på fasad eller liknande medan Leckelinstrumentet kräver mätskåp. - Kräver tillgång till ström. - Filterprovtagning möjliggör efteranalys av olika ämnen, t.ex metaller.
TAPERED ELEMENT OSCILLATING MICROBALANCE (TEOM) - INSTRUMENT	Tekniken fungerar genom att den provtagna luften avskiljs på ett filter placerat på toppen av en oscillerande glaskropp inne i instrumentet. Luften värms upp till 50 grader. Mätning kan ske för både PM_{10} och $\text{PM}_{2.5}$.	<ul style="list-style-type: none"> + Kan mäta både grova och fina partiklar. + Relativt små massförändringar under kort tid kan mätas med denna metod. - Kräver mätskåp. - Kräver tillgång till ström. - Halterna måste efterjusteras för att ta hänsyn till eventuella förluster av lättflyktiga ämnen (VCM).
OPTISKA PARTIKELINSTRUMENT 	OPS-instrument kan vara såväl stationära som bärbar spektrometrar som räknar antalet partiklar i olika storleksintervall, t.ex från 0,3 till 10 μm . Antalet partiklar räknas sedan om till haltmått. De uppmätta partiklarna samlas även på ett inbyggt filter, vilket möjliggör vidare analys av de ämnen som sitter på partiklarna. Exempel på provtagare: Optical Particle Sizer (OPS) Model 3330 GR	<ul style="list-style-type: none"> + Snabb mätning av antal partiklar och partikelstorleksfördelning. + Hög tidsupplösning. - Relativt dyra. - Kräver underhåll av utbildad personal. - Måste skyddas för nederbörd och kräver elförsörjning, vilket gör att de är lämpliga för kortare mätstudier.

Emissions- och spridningsberäkningar

Spridningsmodeller kan användas för att beräkna spridning och deposition av partiklar från dammande källor. Spridningsmodellering används ofta i samband med tillståndsprövningar avseende emissioner från befintliga eller planerade industrier. Med hjälp av spridningsmodellering kan olika utsläppscenarion simuleras för gaser, partiklar, aerosoler och lukt från olika typer av källor. Haltbidraget från industrin, tillsammans med den lokala bakgrundshalten, kan därefter jämföras med gällande miljökvalitetsnormer och hygieniska gränsvärden. På så vis får man en bedömning av potentiella överskridanden inom och utanför ett industriområde. I figuren nedan, vilken är hämtad från [13], visas exempel på hur resultatkartorna från spridningsberäkningar kan se 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 partikelmätningar som genomförts på läsidan om källan. Om den modellerade och uppmätta halten inte stämmer överens justeras emissionsfaktorerna och processen görs om.

FAKTARUTA 9. BERÄKNA EFFEKTEN AV ÅTGÄRDER

För att kvantifiera effekten av olika damningsreducerande åtgärder kan processen som beskrivs nedan följas.

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

För att hitta de mest effektiva åtgärderna behöver man först definiera vilka processer/aktiviteter som markant bidrar till de diffusa partikelemissionerna. Därefter identifieras åtgärder som är rimliga att genomföra.

B. Mätkampanj – mätningar av effekten av olika åtgärder.

Nästa steg är att designa ett mätprogram för att samla in den data som behövs för att kvantifiera effekten av de utvalda åtgärderna.

C. Beräkna diffusa partikelemissioner.

För att kvantifiera diffusa partikelemissioner utifrån mätningar av partikelhalter i luft, beräknas så kallade emissionsfaktorer (EF) för varje åtgärd, dvs. massan av partiklar i en viss storleksfraktion som emitteras per tidsenhet, alternativt per fordonskilometer eller liknande. För att få fram den totala emissionen E från en källa eller aktivitet multipliceras EF med hur mycket aktiviteten förekommer, dvs $E = EF \times A$, där A är aktiviteten.

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] D. Grantz, J. Garner, and D. Johnson, "Ecological effects of particulate matter," *Environment International*, vol. 29, no. 2, pp. 213-239, 2003.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] M. Gustafsson and K. Peterson, "Diffusa partikelemissioner från Vargön Alloys," *IVL Report B 2275*, 2016.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] F. Amato *et al.*, "Effects of water and CMA in mitigating industrial road dust resuspension," *Atmospheric environment*, vol. 131, pp. 334-340, 2016.
- [20] 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.
- [21] F. Amato *et al.*, "A comprehensive assessment of PM emissions from paved roads: real-world emission factors and intense street cleaning trials," *Science of the total environment*, vol. 408, no. 20, pp. 4309-4318, 2010.
- [22] 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.
- [23] M. Gustafsson, G. Blomqvist, P. Jonsson, and M. Ferm, *Effekter av dammbindning av belagda vägar*. Statens väg-och transportforskningsinstitut, 2010.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.

- [28] 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.
- [29] S. A. Silvester, I. S. Lowndes, S. W. Kingman, and A. Arroussi, "Improved dust capture methods for crushing plant," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 31, pp. 311-331, 2007.
- [30] M. Sairanen and M. Rinne, "Dust emission from crushing of hard rock aggregates," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 10, no. 2, pp. 656-664, 2019.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] S. Janhäll, "Review on urban vegetation and particle air pollution—Deposition and dispersion," *Atmospheric environment*, vol. 105, pp. 130-137, 2015.
- [38] S. M. Mohan, "An overview of particulate dry deposition: measuring methods, deposition velocity and controlling factors," *International journal of environmental science and technology*, vol. 13, no. 1, pp. 387-402, 2016.

