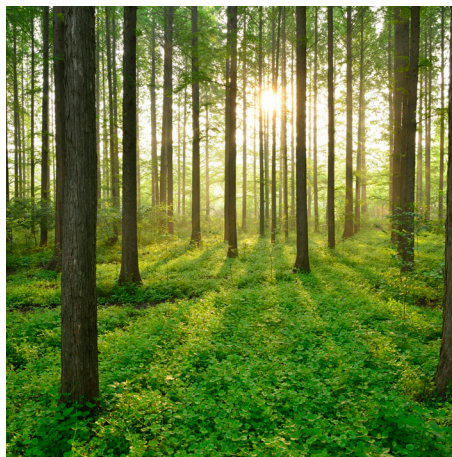
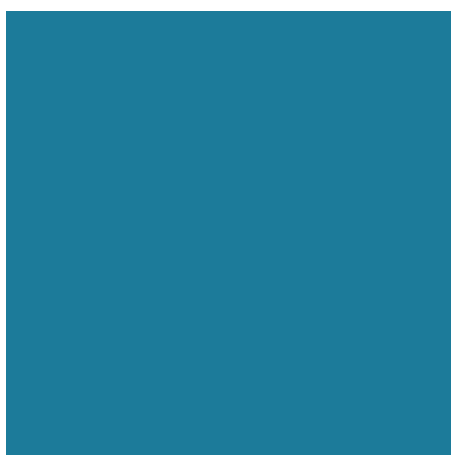


UPPFÖLJNING AV BESLUTSSTÖDET FÖR ÅTER- VINNING AV SLAGGRUS I ANLÄGGNINGSARBETE

RAPPORT 2024:989



ASKPROGRAMMET



Uppföljning av beslutsstödet för återvinning av slaggrus i anläggningsarbete

MARTIJN VAN PRAAGH
ALICE RUNDEGREN

ISBN 978-91-7673-989-1 | © Energiforsk februari 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Slaggrus och andra askor har tekniska egenskaper som gör de mycket lämpliga att användas i anläggningskonstruktioner. För att underlätta bedömningen av potentiella miljö- och hälsorisker med återvinning av slaggrus i anläggningskonstruktioner har det tagits fram ett beslutsstöd och riktvärden (Avfall Sverige rapport 2019:14). Det här projektet syftar till att underlätta återvinning av slaggrus i konstruktioner och att identifiera styrkor och svagheter i användandet av beslutsstödet.

Sedan publiceringen har beslutsstödet använts som underlag för ansökningar om återvinning av slaggrus i storskaliga konstruktioner.

I det här projektet som samfinansieras av Energiforsk och Avfall Sverige, har beslutsstödet följts upp.

Studien har utförts av Martijn van Pragh och Alice Rundberg på Ensucon.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Marie Kofod-Hansen
Stockholm i februari 2024

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Slaggrus och andra askor har tekniska egenskaper som gör de mycket lämpliga att använda i anläggningskonstruktioner. De innehåller mot bakgrundshalter förhöjda halter av främst metaller, klorider och sulfater. För att underlätta bedömningen av potentiella miljö- och hälsorisker med återvinning av slaggrus i anläggningskonstruktioner har det tagits fram ett beslutsstöd och riktvärden (Avfall Sverige rapport 2019:14).

Som resultat har uppkomsten av damm från anläggningsarbeten identifierats som potentiellt avgörande för hälsoriskerna. Sedan publiceringen har beslutsstödet använts som underlag för ansökningar om återvinning av slaggrus i storskaliga konstruktioner. Inom ramen för det föreliggande projekt, finansierat av Energiforsk och Avfall Sverige, har beslutsstödet följts upp.

Projektet syftade till att underlätta återvinning av slaggrus i konstruktioner. Målen med projektet var att identifiera styrkor och svagheter i (användandet av) beslutsstödet, verifiera antaganden och modeller i den underliggande riskbedömningen avseende damning, få empiriska data från damning vid byggnation med slaggrus, och eventuellt uppdatera beslutsstödet pga. ändrade parametrar i "damningsmodellen", samt att utveckla hur beslutsstödet borde uppdateras.

Inom projektet skulle uppkomsten av damm mätas vid två fullskaliga anläggningsarbeten; i Umeå och i Trelleborg. Metoden för partikelmätningar vid arbetsplatser användes vid den första anläggningen. Den gav av olika anledningar inga resultat, bland annat för att konstruktionen utfördes under en nederbördsrik period. För den andra anläggningen byttes istället till en vedertagen metod för att mäta atmosfäriskt nedfall, den så kallade Nilu-metoden. Provtagare sattes upp runt anläggningsytan för att kunna fånga in nedfallet damm från anläggningsarbeten och från "bakgrundsdamning". Slaggruset vätades vid utläggning och täcktes successivt med bergkrossmaterial. Mätningen pågick under ca två månader. Materialet som fångades in i Nilu-provtagarna skickades till IVL:s laboratorium och analyserades på totalmängden deponerat material, vissa metaller och salter.

Genom att jämföra metallhalter i det infångade dammet med halter i slaggruset och med bakgrundsvärden kunde konstateras att anläggningarna hade gett upphov till damm från slaggruset. De deponerade mängderna och halterna korrelerades till avstånd till källan samt vindriktning och -hastighet. Jämförelsen till antaganden i den tidigare med hjälp av beslutsstödet genomförda riskbedömningen visade på att det hade dammat mer än antaget, men att halterna av de analyserade metallerna var lägre. Således överskattade riskbedömningen enligt beslutsstödet risken med metalldepositionen något. Vätning av slaggrus verkade ha en tydlig dämpande effekt på uppkomsten och/eller transport av damm.

Resultaten från uppföljningen av beslutsstödet visar att det upplevdes som användbart och som värdefull referens i myndighetskontakt, men att en förenklad version – särskilt av riskbedömningen – skulle göra det ännu mer tillgänglig. Därutöver måste riskbedömningen i beslutsstödet uppdateras på grund av ändringar i den underliggande modellen från Naturvårdsverket. Kunskapsläget kring damning från

både slaggrus och andra byggmaterial vid anläggningsarbeten bör förbättras för att kunna dra mer allmängiltiga slutsatser om damning och hur väl riskbedömningen reflekterar faktiska miljö- och hälsorisker.

Nyckelord

Slaggrus, damm, beslutsstöd, anläggningsarbeten, partikelmätningar

Summary

Sorted bottom ashes from waste incineration and other ashes are suitable for use in groundwork constructions. They contain elevated concentrations of primarily metals, chlorides and sulphates. To facilitate the assessment of potential environmental and health risks associated with the recycling of bottom ash in construction works, a decision support guide and guideline values have been developed (Avfall Sverige report 2019:14).

As a result, the dust generation from construction works has been identified as a potential determinant of health risks. Since its publication, the decision support guide has been used as a basis for applications for recycling of bottom ash in large-scale constructions. Within the framework of the present project, funded by Energiforsk and the Swedish Waste Association (Avfall Sverige), the support guide has been followed up.

The project aimed to aid increased recycling of ashes in groundwork constructions. The goals of the project were to identify strengths and weaknesses in (the use of) the decision support guide, verify assumptions and models in the underlying risk assessment regarding dusting, obtain empirical data from dusting in construction works with bottom ash, possibly update the decision support due to changed parameters in the "dusting model", and to identify if and how the decision support guide should be updated.

Within the project, dust emissions were planned to be measured at two full-scale construction sites, one in Umeå in the north of Sweden, and one in Trelleborg in the south. The same method used for particle emission measurements at workplaces was employed at the first site. It did not produce any results, for various reasons, one of which was intense precipitation prior and during construction. At the second site, an established method for measuring atmospheric deposition, the so-called Nilu fallout method, was used instead. Samplers were set up around the construction site to capture fallen dust from construction works, as well as from potential "background sources". Bottom ash was wetted and successively covered with gravel after compaction. The measuring campaign covered ca two months. The deposited material was sent to the Swedish Environmental Research Institute's laboratory where it was analyzed for total amount of deposited material, some metals and salts.

By comparing metal concentrations in the captured dust with concentrations in the bottom ash and background values, it was found that the construction work indeed had given rise to dust from bottom ash. The deposited amounts and concentrations were correlated to the distance to source, as well as to wind direction and wind speed. A comparison to assumptions in the previous risk assessment carried out with the help of the decision support guide revealed that more dusting had occurred than assumed, but that concentrations of analyzed metals were lower. Thus, the risk assessment according to the decision support guide slightly overestimated the risk of metal deposition in this case. Wetting of bottom ash seemed to have had a clear dampening effect on dust formation and/or transport.

Results from the follow-up of the decision support guide show that it was perceived as useful and as a valuable reference in contact with authorities, but that a simplified version – especially of the risk assessment – would further improve usability. In addition, the risk assessment in the decision support system must be updated due to changes in the underlying model originally adopted from the Swedish Environmental Protection Agency. The state of knowledge about dusting from both bottom ashes and other building materials in construction works should be improved for drawing more general conclusions about dusting and how well the risk assessment reflects actual environmental and health risks.

Innehåll

1	Bakgrund, syfte och målsättning	10
2	Metodik	12
2.1	Övergripande beskrivning av metodik	12
2.2	Mätning av damm i Umeå	13
2.2.1	Konstruktion	13
2.2.2	Slaggrus	14
2.2.3	Mätning och analys av damm	16
2.3	Trelleborg	19
2.3.1	Konstruktion	19
2.3.2	Slaggrus	21
2.3.3	Depositionsmätning	23
2.3.4	Metodik för utvärdering av depositionsdata	26
2.3.5	Metod för jämförelse mellan modellerat och uppmätt deposition	29
3	Utvärdering av analysresultat	31
3.1	Umeå	31
3.1.1	Mätningar av partikelhalter	31
3.2	Trelleborg	31
3.2.1	Mätningar av partikelhalter	31
3.2.2	Resultat från depositions-mätningar	33
3.2.3	Jämförelse av kemiska analysdata med resultat från slaggrusanalyser	34
3.2.4	Korrigeringsfaktor för atmosfärisk deposition	40
3.2.5	Bedömning av faktorer som inverkar på deposition av slaggruspartiklar	41
3.2.6	Faktorer som påverkar depositions-mätning och analysresultat	48
3.3	Jämförelse beslutstöd och mätresultat	48
3.3.1	Jämförelse modellerad deposition och mätresultat	52
4	Slutsatser från Damm- och depositions-mätningar	55
5	Uppföljning av beslutstödet	57
5.1	Verksamhetsutövare / producenter	57
5.2	Konsulter	58
5.3	Workshop	58
5.3.1	Workshopuppgifter	59
5.3.2	Workshopresultat	61
6	Förslag på ändringar i beslutstödet	63
6.1	Grundläggande ändringar	63
6.2	Ändringar i beslutstödets riskbedömning	63
6.2.1	Externa förändringar sedan publiceringen 2019	63
6.2.2	Förändringar pga partikel- och depositions-mätningar	65

7	Slutsatser	66
8	Vidare steg	67
9	Referenslista	68
	Bilaga 1 Workshopresultat	70

1 Bakgrund, syfte och målsättning

Årligen uppstår ca 1 miljon ton bottenaskor från avfallsförbränning¹. Efter metallseparation, sortering och lagring återstår slaggrus som hittills framför allt har återvunnits som täcknings- och konstruktionsmaterial på deponier. Denna typ av återvinning är tidsbegränsad i och med att merparten av deponier som ska avslutas kommer att vara sluttäckta inom de närmaste åren. Slaggrus har tekniska egenskaper som gör det mycket lämpligt att ersätta till exempel bergkross i anläggningskonstruktioner utanför deponier. Slaggrus innehåller dock mot bakgrundshalter förhöjda halter av främst metaller, klorider och sulfater. För att underlätta bedömningen av potentiella miljö- och hälsorisker med återvinning av slaggrus i anläggningskonstruktioner har Avfall Sveriges låtit ta fram ett beslutsstöd² som uppdaterades två år senare³. Inom ramen för det projektet har riktvärden beräknats för relevanta ämnen som ska motsvara ringa miljö- och hälsorisker vid vissa typåtervinningsfall. Beslutsstödet och riktvärdena bygger på generella antaganden och använder sig av beräkningsmodeller från Naturvårdsverket (Riskbedömning av förorenade områden⁴ och den av SGI framtagna Energiforsk rapport om riskbedömning vid återvinning av askor⁵). Sedan publicering har beslutsstödet använts som underlag för ansökningar om återvinning av slaggrus i storskaliga konstruktioner, och det föreligger ett behov att följa upp tillämpningen av beslutsstödet.

Resultaten från riskbedömningen i beslutsstödet visar att damning av små partiklar slaggrus från anläggnings-, underhålls- och rivningsarbeten kan vara kritisk för risker för människors hälsa. Eftersom beräkningen av damning och dess effekter på människor och miljön baserats på antaganden och modeller och det saknas resultat från mätningar i fält, föreligger det stort behov att

- a) verifiera antaganden och modellen, och
- b) eventuellt justera riktvärdena i beslutsstödet om dessa visar sig vara allt för konservativa eller till och med underskatta riskerna.

¹ Naturvårdsverket, 2022

² Avfall Sverige, 2017

³ Avfall Sverige, 2019

⁴ Naturvårdsverket, 2009

⁵ Värmeforsk, 2009

Syftet med föreliggande projekt är att underlätta återvinning av slaggrus i konstruktioner genom ett i praktiken testat och eventuellt anpassat beslutsstöd.

Målen med projektet är att:

- verifiera antaganden och modeller i beslutsstödet
- få systematiskt underlag kring damning vid byggnation med slaggrus
- bistå verksamhetsutövare som bygger med slaggrus enligt beslutsstödet med praktiska frågor kring beslutsstödet upplägg, antaganden, tolkning
- uppdatera riktvärdena pga. ändrade parametrar i "damningsmodellen"
- uppdatera beslutsstödet.

Projektet finansierades av Avfall Sverige och Energiforsk.

2 Metodik

2.1 ÖVERGRIPANDE BESKRIVNING AV METODIK

Arbetet har genomförts med hjälp av referensgruppmöten samt dialog med berörda och användare av beslutsstödet via intervjuer och en workshop (16 mars 2023). Under projektets gång har även aktivt letats efter flera pågående eller planerade anläggningsprojekt med slaggrus för att kunna inkluderas i uppföljningen, men inga projekt hittades.

Referensgrupp bestod av Raul Grönholm (Sysav), Fredrika Stranne (Avfall Sverige som ersatte Johan Fagerqvist), Märta Hasselqvist (Tekniska Verken), Marie Kofod Hansen (Energiforsk som ersatte Helena Sellerholm) och Karin Karlfeldt Fedje (Renova).

Arbetsgruppen bestod av Martijn van Praagh (projektledning, först Afry, sedan Ensucon), Mårten Arbrandt och kollegor (Afry), Niclas Eneberg, Salar Valinia och Alice Rundegren (alla Ensucon).

Damningsprovtagningar i fält har genomförts vid två storskaliga anläggningsprojekt, ett i Umeå och ett i Trelleborg. Vid den första provtagningen användes samma metod för dammprovtagning man använder sig av för att kontrollera dammexponering på arbetsplatser. Vid den andra provtagningen samlades istället in torr- och våt deposition. Metodiken som användes byggde på en Norsk standard för att mäta atmosfärisk nedfall. Provtagningsutrustning och analyser har ALS (Umeå) respektive IVL Svenska Miljöinstitutet (Trelleborg) stått för.

Samtidigt med detta projekt genomfördes partikelhaltsmätningar mfl. i ramen för ett "systerprojekt"^{6,7}.

Metoderna beskrivs nedan. Observera att provbehållare som användes i det första projektet tyvärr försvann i posten på väg till analyslaboratoriet och har inte uppdragats sedan dess (trots ihärdig efterlysning). Metodbeskrivningen förblir således summarisk och inga resultat från dammätningen kan redovisas. Istället hänvisas till "systerprojektet".

⁶ Avfall Sverige, 2023

⁷ Samordning med ett parallellt projekt avseende partikelspridning (Sara Janhäll, RISE och Joacim Lundberg, LTH) har skett. Resultaten har analyserats tillsammans.

2.2 MÄTNING AV DAMM I UMEÅ

2.2.1 Konstruktion

Vid Umeå energi anlades en verksamhetsyta om 18 500 m² med 11 000 m³ slaggrus (ca-mått, se figur 1). För utläggning och kompaktering av slaggruset användes traditionella anläggningsmaskiner (se figur 2).



Figur 1 Visualisering av konstruktionsytan vid Umeå Energi, Umeå (inom de röda linjerna på nedre bilden). De gula punkterna i övre bilden anger grundvattenobservationspunkters läge (Sandström, 2020).



Figur 2 Utläggning av slaggrus vid Umeå Energi med dumper (Foto: Anders Friberg).

2.2.2 Slaggrus

Slaggruset härstammar från Dåva kraftvärmeverk (Umeå Energi). Enbart fraktionen 0/15 nyttjas för återvinning. Slaggruset har lagrats i minst 6 månader innan återvinning.

Medel- och medianhalter av analysresultat avseende vissa totalhalter i slaggruset visas i tabellen nedan tillsammans med riktvärdena som har tagits fram med Avfall Sveriges beslutsstöd (Avfall Sverige, 2019) som grund för en platspecifik bedömning.

Tabell 1 Medel- och median av totalhalter i slaggrus från Däva kraftvärmeverk samt platsspecifika riktvärden (Umeå Energi), totalhalter i mg/kg TS (om inget annat anges, n=4, "-" inget värde).

Parameter	Medel	Median	Riktvärde nominellt⁽¹⁾ 20m avstånd
Torrsubstans (%)	80,7	-	
Arsenik	49	51	360
Barium	1 725	1 600	-
Bly	1 005	930	1 700
Kadmium	3,6	3,8	92
Kobolt	45	37	1 600
Koppar	4 050	2 550	320 000
Krom	253	225	n.r.
Kvicksilver	0,053	0,052	110
Nickel	228	145	7 700
Vanadin	38	42	10 000
Zink	6 050	5 250	350 000

⁽¹⁾ ojusterade, gäller bara om riktvärden för lakning innehålls

Tvåstegslakter och perkolationstester utfördes på slaggruset (observera att det är på 0-4 mm fraktionen dessa vanligtvis utförs, inte på bulken av materialet). Medel- och medianhalter av analysresultat avseende vissa lakhalter i lakvatten från slaggruset visas i tabell 2.

Tabell 2 Medel- och median av totalhalter i lakvatten perkolations tester

Vid LS 0,1 av slaggrus från Däva kraftvärmeverk (Umeå Energi) i mg/l

(om inget annat anges, n=4, "-" inget värde).

Parameter	Medel	Median	Riktvärde
pH (-)	9,3	8,7	-
Konduktivitet mS/m	1 560	1 400	-
Antimon	0,03	0,03	0,87
Arsenik	0,02	0,02	0,43
Barium	0,11	0,11	31
Bly	<0,05		0,44
Kadmium	<0,002		0,22
Koppar	1,5	1,5	4,3
Krom	0,5	0,56	2,2
Kvicksilver	<0,001		0,043
Molybden	1,1	1,1	3
Nickel	<0,1		0,87
Zink	0,5	0,5	8,7
Parameter	Medel	Median	Riktvärde
Fluorid	0,9	0,4	120
Klorid	4 200	4 000	8 700
Sulfat	2 188	2 050	8 700
Fenolindex	0,16	0,16	-
DOC (mg/l)	163	170	-
TS för lösta ämnen (mg/l)	9 675	7 550	-

2.2.3 Mätning och analys av damm

För att kunna dra nytta av standardiserad och lättillgänglig mät- och provtagningsutrustning valdes en metod som motsvarar arbetsplatsmätningar som möjliggör en jämförelse med hygieniska gränsvärden enligt Arbetsmiljölagen⁸. Så kallade IOM-kassetter med filter användes för provtagning av respirabelt damm (se figur 3 nedan). Referensprov togs enligt föreskrifterna för arbetsplatsmätningar. Luftfuktigheten påverkar resultaten och behållarna för referensprov öppnades under 25 minuter utan att vidröra kassetten då detta kan påverka resultaten (se tabell 3 nedan).

⁸ Arbetsmiljöverket, 2018

Filterbehållaren sätts normalt fast med clips på provtagaren i "höjd med ett kavajslag". Mätningen sker helst under 1 arbetsdag (6-8h, se tabellen nedan för avvikelser). Luftflödet vid provtagning ska vara 2 liter/minut. Efter mätningen sätts locket tillbaka över öppningen på provhållaren och allting skickas tillbaka till laboratoriet.



Figur 3 IOM-kassett för dammätning vid arbetsplatser som kan sättas på kavajslag ed., en pump ansluts underifrån (ALS Scandinavia AB, 2022).

I stället för att fästa provtagarna på personer installerades de på en höjd av ca 75 cm över marken med olika horisontellt avstånd från slaggrusytans ytterkant. I Tabell 3 redovisas provtagningsplanen och fältanteckningar från mättillfället. Placeringen av mätutrustning valdes åt sydväst för att ligga i den vindriktningen som antogs vara styrande i underliggande riskbedömning.

Tabell 3 Planerade analyser, lokalisering och tidperiod för provtagning av damm vid anläggning av slaggrusyta Umeå Energi.

	Analys	Avstånd från slagg	Höjd ö. mark	Klockslag	Tid	Flöde	Volym
Prov/ Enhet		m	cm		min	l/min	l
PAH	PAH	5,5	75	09:20-16:09	409	2	818
A1034	Referens	5,5	75	09:30-09:55	25	-	-
Skc 3164	Damm resp. ¹	5,5	75	11:15-16:03	293	2,5	732,5
A1032	Totaldamm	5,5	75	09:40-16:14	395	2	790
A1033	Referens	13,2	75	09:35-09:55	20	-	-
	Analys	Avstånd från slagg	Höjd ö. mark	Klockslag	Tid	Flöde	Volym
Prov/ Enhet		m	cm		min	l/min	l
A1031	Totaldamm	13,2	75	09:45-16:27	402	2	804
SKC3167	Referens	13,2	75	10:50-11:12	22	-	-
SKC3166	Damm resp. ⁽¹⁾	13,2	75	11:30-16:27	297	2,5	742,5
SKC3165	Damm resp. ⁽¹⁾	20	90	11:40-16:34	294	2,5	735
A1030	Totaldamm	20	90	11:53-16:34	281	2	562

⁽¹⁾ respirabelt damm

Provtagarna samlades in och skickades som sedvanligt med posten till analyslaboratoriet. Proverna anlände aldrig, och efterforskningar hos transportören gav inga indikationer på att proverna gick att hitta igen. Således finns inga mätvärden att redovisa.

Från både fältobservation, verksamhetsutövarens iakttagelser och resultaten från det parallellt pågående projekt som mätte partikelemissioner⁹ framkom att mycket lite damm uppstod under provtagningsperioden. Huvudorsakerna var ihållande och intensivt regn både dagarna och veckorna före anläggningen av ytan.

⁹ Avfall Sverige, 2023

2.3 TRELLEBORG

2.3.1 Konstruktion

Den aktuella ytan i Trelleborg är belägen inom Trelleborgs hamn, i den södra delen av Trelleborg centralort, se Figur 4. Trelleborgs hamn är ett utfyllnadsområde. Den aktuella ytan är uppbyggd av muddermassor från muddringsarbeten i hamnen. Muddermassorna utgörs främst av kalkhaltig moränlera.



Figur 4 Topografisk karta över Trelleborg, där aktuellt område i Trelleborgs hamn är markerat med rött © Lantmäteriet

Närmsta recipient är Östersjön. Ytan angränsar till Östersjön i söder. Västerut är avståndet ca 200 m. Årsnederbörden för området är 516 mm/år som medelvärde för åren 1961–1990.

Ytan som slutligen ska anläggas omfattar 600 x 300 m (180 000 m²). Slaggrusets mäktighet inuti konstruktionen kommer enligt uppgift från Sysav att uppgå till maximalt cirka 0,35 m. Anläggningen ligger inom verksamhetsområdet för Trelleborg hamn där allmänheten inte har tillträde.

Konstruktionen anlades enligt följande (beskrivet uppifrån och ned):

- **Asfaltslager** på 140 mm bestående av ett slitlager på 40 mm, ett bindlager på 50 mm och ett bundet bärlager på 50 mm
- **Obundet bärlager** på 80 mm bestående av bergkross 0-32
- **Förstärkningslager** på 580 mm bestående av bergkross 0-90 och slaggrus, varav slaggrusets mäktighet kommer att uppgå till maximalt ca 350 mm
- **Befintlig mark (terrass)**, bestående av utfyllnadsmassor (kalkhaltig moränlera).

För att begränsa tiden som slaggrus var i dagen och kunde orsaka damm täcktes utlagt slaggrus omedelbart med bergkrossmaterial (se Figur 5).



Figur 5 Utlagt slaggrus i Trelleborg under materialseparerande skikt täckt av bergkross (i bakgrunden syns fordonet som användes för bevattning av slaggrusytan, foto: Martijn van Praagh).

Riktvärdena för totalhalter och lakhalter har som för konstruktionen i Umeå tagits fram med Avfall Sveriges beslutsstöd¹⁰. Eftersom förutsättningar på plats skiljde sig väsentligt från antaganden i beslutsstödet har en

¹⁰ Avfall Sverige, 2019

platspecifik bedömning genomförts¹¹. Resultaten för riktvärdena framgår av Tabell 4 nedan. De två olika scenarierna för skydd av hälsa avser olika tillvägagångssätt för utläggning av slaggrus och hur länge det antas ligga i dagen. Riktvärdena för hälsorisker har inte justerats för till exempel gränsvärden för när avfall klassas som farligt avfall förutom gällande utlakning av lösliga salter. De är ett resultat av beräkningen för en platspecifik bedömning och gäller enbart i samband med riktvärdena för skydd av grund- och ytvatten.

Tabell 4 Plats specifika riktvärden för återvinning av slaggrus i Trelleborgs hamn (Maghder, 2021).

Ämne	Skydd av ytvatten	Skydd av markmiljö, under konstruktion	Skydd av hälsa		Skydd av markmiljö, intill konstruktion	
			Scen. 1	Scen. 2	Scen. 1	Scen. 2
Scenario:			Scen. 1	Scen. 2	Scen. 1	Scen. 2
Enhet:	mg/l	mg/l	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Antimon	0,55	35	2 600	2 600	4 100	4 900
Arsenik	1,6	neg	56	49	3 400	4 100
Barium	54	-	-	-	-	-
Bly	2,7	230	700	650	17 000	20 000
Kadmium	0,11	15	27	34	170	200
Kobolt	1,1	29	630	630	5 100	6 100
Koppar	5,5	130	30 000	86 000	27 000	33 000
Krom	1,6	neg	590 000	650 000	27 000	33 000
Kvicksilver	0,011	1,8	50	43	85	100
Molybden	1,6	120	5 500	4 700	14 000	16 000
Nickel	5,3	70	750	2 100	14 000	16 000
Vanadin	2,7	190	4 300	4 000	34 000	41 000
Zink	22	neg	150 000	140 000	85 000	100 000
Naftalen	5,2	1,4	7 800	6 900	1 000	1 200
Bens(a)pyren	0,027	9,3	2,1	3,7	27	33
PAH-L	5,5	17	11 000	10 000	1 000	1 200
PAH-M	0,26	19	1 000	1 900	1 000	1 200
PAH-H	0,027	neg	44	49	340	410
Fluorid	120*					
Klorid	15 000*					
Sulfat	17 000*					

* Riktvärde justerat ned till mottagningskriterier för avfall till en deponi för farligt avfall enligt NFS 2004:10.

2.3.2 Slaggrus

Slaggruset härstammar från Sysavs kraftvärmeverk för avfall i Malmö. Det är enbart fraktionen 0/50 mm som ämnades nyttjas för återvinning. Slaggruset lagrades i minst 6 månader innan återvinning. Provtagning av slaggruset har skett under 2016 och 2019. Provtagning utfördes av sorterat

¹¹ Maghder, 2021

material från grundfraktionen (0-50 mm) i hög, som lagrats i minst 3 månader. Provtagningsmetodiken följde "Nordtest-metoden"¹². Provmängder om ca 700 kg togs ut med borrhvagn ur upplag om ca 10 000 ton (se figur 6 nedan). Totalt togs minst 140 delprov ur ett upplag som blandades till ett samlingsprov om ca 700 kg. Uttag av prov för analys utfördes med neddelare till en provstorlek av ca 15 l till en hink med lock (se figur 7). Hinkarna sändes till analyslaboratoriet som hanterade proven enligt standardiserade metoder.



Figur 6 Slaggrus som provtas med borrhvagn ursprungligen avsedd för provtagning av jord (Foto: Raul Grönholm).

¹² Nordtest, 1996



Figur 7 Neddelare (s.k. Splitter) för att ta fram analysprov ur samlingsprovet från slaggrus (Foto: Raul Grönholm).

Slaggruset undersöktes med avseende på totalhalter av potentiellt förorenande ämnen, och utlakningen testades och analyserades med kolonttest vid $L/S=0,1$ enligt SS-CEN/TS 14405:2004. Lakvattnet från testerna analyserades med avseende på pH enligt standarden SS-EN ISO 10523:2012, ledningsförmåga enligt SS-EN 27888:1993, redox med "SGI-metoden" och olika parameter enligt Eurofins Environment Testing AB:s analyspaket avseende metaller, klorid, fluorid, sulfat och löst organiskt kol (DOC).

2.3.3 Depositionsmätning

För att förebygga utmaningarna med tidsbegränsad mätning och (för damning) ogynnsamma väderförhållanden ändrades mättekniken från mätning av total- och respirabelt damm till depositions-mätning, det vill säga en mätning av partikulärt material som faller ned på marken. Förutom att kunna mäta under längre tid har depositions-mätningen en annan fördel: dammdeposition mätt i mg/m^2 är en parameter vars värde uppskattas i riskbedömningsmodellen i beslutsstödet, och den används för att beräkna den totala deposition under konstruktionstiden. Genom att ersätta damm-mätning med depositions-mätning finns det en möjlighet att gå förbi vissa antaganden om damning i riskmodellen och jämföra resultat från

depositions­mätning bättre med beräknings­resultaten från riskbedömnings­modellen.

Som metod valdes den så kallade Nilu-tratten, utvecklat av NILU – Stiftelsen Norsk institutt for luftforskning dotterbolag (se Figur 8 och 9 nedan). Insamlingen av både torr- och våtdeposition sker genom en öppen plastbehållare ca 1,7 m över marken på ett stativ. Nilu-trattarna hyrdes av IVL Svenska Miljöinstitutet.

iNNOVATION


nilu

The NILU Particulate Fallout Collector / Precipitation Collector

The NILU Particulate Fallout Collector / Precipitation Collector

The NILU Particulate Fallout Collector and the NILU Precipitation Collector have been developed to collect representative samples of dry and wet atmospheric particulate fallout for subsequent analysis.

The design and development of the NILU collectors are based on an evaluation of similar equipment in use in various countries, including available wet precipitation collectors for meteorological purposes. In addition to the given performance criteria, factors such as construction materials, ease of handling and transportability determined the shape and dimensions of the collectors. The Fallout Collector has been considered by ISO (International Standardization Organization) for adoption as an international reference collector for particulate fallout. Its design is according to the recommendations of ISO as the present use of materials and procedures permit. (ISO/DIS 4222.2).



Figur 8 Utdrag ur beskrivningen av Nilu-metoden (den vänstra användes under mätkampanjen, foto: iNNOVATION).



Figur 9 Nilu-tratt för mätning av deposition i Trelleborgs hamn (provtagningsspunkt 3, foto: Martijn van Praagh).

Nilu-trattarna fanns på plats under anläggning av 6 deletapper om ca 3,5 ha (Figur 10). 20 700 ton slaggrus lades ut under tiden. Inom ramen för "systerprojektet" satte Rise och Lunds universitet upp mätinstrument för partikelhalter delvis vid samma positioner där depositions­mätningarna utfördes, se Figur 10.



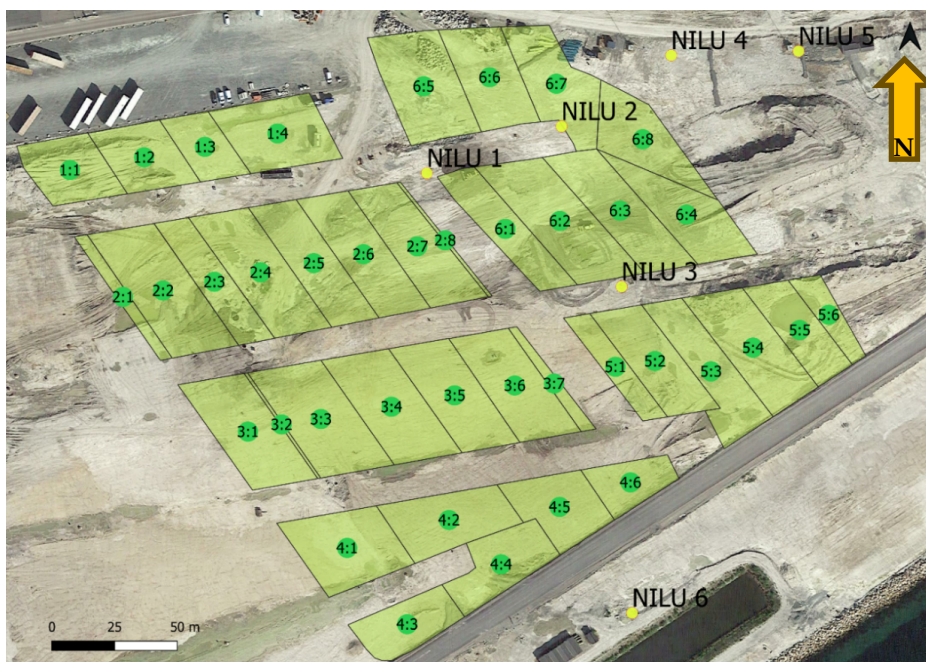
Figur 10 Lokalisering för anläggningsområdet i Trelleborg hamn markerade med rosa ytor (Bottom ash construction area). Lokaliseringen för grönytan som antogs vara styrande för att begränsa dammdeposition utanför anläggningsområdet är markerat med en blå stjärna i vänster bild. De numererade trianglar i höger bild anger positioner för depositions-mätning (Nilu fallout collector, Nilu-trattar), de vita numererade ringar positioner för partikelmätning (Air Quality Sensor) av (Avfall Sverige, 2023). Bakgrundskartor: Open Street map, OSM Standard, och Lantmäteriet, 2023.

2.3.4 Metodik för utvärdering av depositionsdata

Mätstationerna (Nilu-trattarna) fångar in all deposition, dvs. även atmosfärisk (bakgrunds)deposition. I teorin bör andelen damm från slaggrusytorna i mätstationerna vara större ju oftare stationen ligger i vindriktningen av pågående anläggningsarbetena, ju starkare vinden är och ju kortare avståndet är däremellan. Således har depositionsdata utvärderats utifrån förhärskande vindriktning, vindhastighet och avstånd mellan anläggningsytorna och mätstationen. I detalj utgörs data för utvärderingen av följande:

- Koordinater för anläggningsrutorna (n=6) och Nilu-trattar (n=6)
- Hur stor mängd som anlagts för respektive anläggningsdag (antal ton vid datumet, n=34) samt anläggningsordning för rutorna. Denna information mottogs av PEAB (2023)
- Väderdata: vindriktning och vindhastighet, mätpunkter under respektive arbetsdag vid tidpunkterna 08:00, 12:00 och 16:00 (n=102). Denna information mottogs av Trelleborg Port Control (2022).

Anläggningsrutorna 1-6 i figur 10 delades upp i mindre delrutor för att varje delruta skulle representera en anläggningsdag (39 delrutor). Ytorna anlades successivt enligt Figur 11 som visar en indelning av anläggningsområdet i delrutor för att illustrera ordningsföljden. Delrutornas geometriska mittpunkt (centroid) beräknades med hjälp av programvaran QGIS. Därefter beräknades vinkeln och avståndet mellan varje delrutas centroid och respektive NILU-tratt.



Figur 11 Översikt över placeringen av depositions-mättningspunkter och utlagda slaggrusytor i Trelleborgs hamn. Anläggningsytan (ljusgrönt område) utfördes etappvis med start vid ruta 1:1, 1:2, 1:3 osv med avslut vid delruta 6:8. Lokaliseringen av respektive delrutas centroid visas med gröna prickar, placeringen av NILU-trattarna med gula.

Det antas att främst vindriktning, vindhastighet och avstånd påverkar depositionen, och att dessa faktorer samverkar. Exempelvis sker en väldigt liten damning om vindhastigheten är för låg vilket bör medföra en låg damning vid denna tidpunkt oavsett om avståndet är långt eller kort mellan anläggnings-punkten och NILU-tratten. De enskilda faktorernas påverkan på deposition har således inte utvärderats. Sammanvägningen skedde genom att tilldela poäng för varje faktor och sedan multiplicera poängen, se Tabell 5.

Tabell 5 Regler för poängsättning som använts för att utvärdera huruvida faktorerna styr mängden deposition av dammpartiklar.

Faktor	Faktorpoäng				
	Mest fördelaktiga förhållanden för en stor mängd deposition		Minst fördelaktiga förhållanden för en stor mängd deposition		
Avståndspoäng För var 20:e meter ökat avstånd halveras poängen -poängen adderas	0-20 m: 1 p	0-40 m: 0,5 p	0-60 m: 0,25 p	0-80 m: 0,125 p	<280 m: 0,000122 p
Vindriktningspoäng (vinkelskillnad mellan optimal vindriktning och uppmätt) -för var 30:e grader skillnad halveras poängen -poängen adderas	0-30°: 1 poäng	0-60°: 0,5 p	0-90°: 0,25 p	<120°: 0,125 p	
Vindhastighetspoäng -poängen adderas, om inte vindhastigheten är <4 m/s, då ansätts noll poäng	>8 m/s: 1 p	>6 m/s: 0,5 p	>4 m/s: 0,25 p	<4 m/s: 0 p	
Sammanvägd poäng = avståndspoäng * vindriktningspoäng * vindhastighetspoäng					

Totalt finns n=102 datapunkter för anläggningsperioden 2022-05-11 till 2022-07-04. Eftersom det finns osäkerheter kring vid vilken vindhastighet som damning uppstår vid, har två beräkningar gjorts: Först enligt Tabell 5a, i vilken tidpunkter där vindhastigheten var mindre än 4 m/s inte tagits (0 poäng), sedan enligt tabell 6, i vilken alla mätpunkter har inkluderats med fallande poäng för avtagande vind. Den första summeringen baseras då på 64 tidpunkter, den andra på 102.

För varje tidpunkt och Nilu-tratt multipliceras faktorpoängen (p) samman. Därefter adderas poängen för samtliga tidpunkter med varandra för att beräkna den sammanvägda poängen för respektive Nilu-tratt. Beräkningen har utförts i Excel.

Tabell 6 Avvikande regler för poängsättning inkluderande låga vindhastigheter.

Faktor	Faktorpoäng				
	Mest fördelaktiga förhållanden för en stor mängd deposition		Minst fördelaktiga förhållanden för en stor mängd deposition		
Avståndspoäng					
När vindhastigheten minskar halveras poängen -poängen adderas	>8 m/s: 1 p	>6 m/s: 0,5 p	>4 m/s: 0,25 p	>2 m: 0,125 p	0-2: 0,0625 p

2.3.5 Metod för jämförelse mellan modellerat och uppmätt deposition

För att kunna jämföra uppmätta depositionsmängder med beräkningarna i riskbedömningsmodellen för Trelleborg måste anläggningsområdets storlek, antal anläggningsdagar och avstånden till damningskällan justeras (riskbedömningen utgår från hela konstruktionen på 18 ha, men mätningen skedde för 3,5 ha och 34 dagar). De riskmodellbaserade depositionsvärden multipliceras således med 34 dagar, för att motsvara antal anläggningsdagar i Trelleborg samt delats med 3,5 hektar/18 hektar = 5,14, för att motsvara storleken för anläggningsområdet i Trelleborg.

Jämförelsen av depositionsvärden enligt modellen med uppmätt deposition görs baserat på avståndet från damningskällan till mätpunkten. För mätningen varierar medelavståndet mellan 101–188 meter (Tabell 11), beroende på Nilu-tratt. För att kunna jämföra modell med mätning ansattes avstånden i modellen i intervallet 90–200 meter.)

3 Utvärdering av analysresultat

3.1 UMEÅ

3.1.1 Mätningar av partikelhalter

Som tidigare nämnt gick försvann proverna i postgången. Mätningarna med partikelsensorerna som Rise och Lunds universitet utförde gav däremot resultat. De visar att nederbörd påverkade både damning och mätningarna¹³. Det konstaterades en viss antydning till damning vissa dagar, dock var halterna aldrig högre än 10 µg/m³. Relativt höga vindhastigheter (cirka 6-10 m/s) kan också ha spelat roll (man antar ett omvänt förhållande mellan vindhastighet och partikelhalt). Slutsatsen är att det regniga vädret har minimerat uppkomsten av damm under konstruktionstiden i Umeå.

3.2 TRELLEBORG

3.2.1 Mätningar av partikelhalter

Partikelhalterna mättes med en tidsupplösning på minimalt ca 90 sekunder med partikelsensorerna PurpleAir PA-II_SD1 som ger halter av PM10, PM2,5 och PM1 (se Figur 12). Metoden och resultaten av partikelmätningar framgår i detalj av Janhäll & Lundberg (2023).

¹³ Avfall Sverige, 2023



Figur 12. Rise mätstation med partikelsensorer på stavar och strömkälla i mitten (Foto: Adam Larsson)

Partikelsensorerna visade att det förekom damning från anläggningsarbetena, samt att påverkan var störst då arbetet skett nära sensorerna. Författarna tolkade det som en indikation på att partiklarna var relativt stora och snabbt deponerades eller spreds ut på sin väg mot nästa sensorstation. Den tydligaste damningen detekterades kring midsommarhelgen på station 2, oberoende av vindriktning (Figur 10). Vid denna tidpunkt anlades yta nummer 6 i Figur 10 vilket innebar en stor närhet till partikelmätstationsstation 2, i avslutningen och tidigare närhet till partikelmätstationsstation 3. Sensorerna mätte partikelhalter upp till ca 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vid damningstillfällena. Halterna var i samman storleksordning under helgen då damning från slaggrusytan inte ansågs vara den viktigaste källan till partikelhalter i luften (partikelsensorerna skiljer inte mellan partiklar från slaggrus eller andra källor såsom utsläpp från trafik eller från bergkrossmaterialet som slaggruset täcktes med). Damningen vid anläggningsytan i Trelleborg ansågs som relativt begränsad, vilket kan bero på att ytan med slaggrus täcktes mycket snabbt efter arbetet.

I kort kom författarna fram till följande slutsatser från mätningarna i Umeå och Trelleborg¹⁴:

- Deposition av slaggrus från luften kan ske i närområdet för partiklar som är större än de som har analyserats med partikelsensorerna, därför bör innehållet i olika storleksfraktionerna i slaggrus analyseras med jämna mellanrum (halter av potentiellt förorenade ämnen skiljer sig tydligt mellan olika partikelstorleksfraktioner)
- Fukt, regn och vattenbegjutning begränsar damning: effekterna är svåra att förutse
- Täckning av slaggrusytan direkt efter utläggning är av stor vikt för att begränsa damningen
- Skillnader i hur snabbt materialet uttorkar på ytan och ger upphov till damning jämfört med traditionell (jungfrulig) ballast bör undersökas.

3.2.2 Resultat från depositions­mätningar

Resultaten från analysen av deponerat material redovisas i

Tabell 7 nedan. Observera att det inte finns några replikat, utan varje mätvärde ska ses som ett samlingsprov av depositionen under mätperioden. Störst mängd material samlades in i Nilu-tratt 1, minst i Nilu-tratt 4. Det skiljer mer än en faktor 10 mellan dessa.

Tabell 7. Mängd deponerat material i Nilu-trattar och beräknat deposition per m² från mätningen i Trelleborgs hamn.

Provpunkt	Total deposition (fallande stoft)			Fallande stoft per prov ⁽¹⁾ (mg)	Fallande stoft per kvadratmeter ⁽¹⁾ (mg/m ²)
	Fallande stoft per prov (mg)	Fallande stoft per kvadratmeter (mg/m ²)	andel av 7 ⁽²⁾		
Nilu 1	880	28 000	0,44	941	28 061
Nilu 2	95	3000	0,05	102	3007
Nilu 3	570	18 000	0,28	610	18 039
Nilu 4	71	2300	0,04	76	2305
Nilu 5	110	3500	0,05	118	3508
Nilu 6	150	4700	0,07	160	4710

¹⁴ Avfall Sverige, 2023

7⁽²⁾

(140)

¹inkl. beräknat bortfall från tvätt; ²trattarna behövdes spolas ut för att få ut allt deponerat material, partiklarna som följde med tvättvattnet har sammanslagits till ett prov.

Janhäll & Lundberg (2023) konstaterade att den tydligaste damningen i form av förhöjda partikelhalter detekteras kring midsommarhelgen i närheten av Nilu-tratt 1 (författarnas station 2), oberoende av vindriktning. Vid denna tidpunkt anlades yta nummer 6 i Figur 10, nära Nilu-tratt 1.

3.2.3 Jämförelse av kemiska analysdata med resultat från slaggrusanalyser

Nedan redovisas resultaten från de kemiska analyserna av deponerat material i de olika mätstationerna. Metallhalter i deposition insamlat från Nilu-trattar presenteras i Tabell 8 och

Tabell 9. I den första tabellen relateras halterna till litteraturvärden av bakgrundshalter för atmosfärisk deposition som antas vara en bakgrundsdeposition. För zink, koppar och kadmium är depositionen i samtliga Nilu-trattar större än bakgrundshalter (min eller max), för bly är depositionen större än maximal bakgrundshalt i Nilu-tratt 1, 2 och 3. Observera att bakgrundshalter gäller deposition per år och kvadratmeter.

Tabell 8. Metallhalter och anjoner i deponerat material respektive dess filtrat i Nilu-trattar efter mätperioden i Trelleborgs hamn.

Prov-punkt	Metallhalt i stoft per kvadratmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^2$; $k=1000$)											Anjoner i filtrat mg per liter			
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Mo	C d	S b	Ba	Pb	Cl	NO ₃ -N	SO ₄ -S
1	1,8k	520	1,3k	11k	22k	23 0	13k	62	38	5	11k	3,4k	29	2,5	19
2	430	81	310	2,9k	6,4k	42	300	25	11	6	2,2k	850	10	0,75	8,1
3	510	120	330	2,7k	9k	86	2,1k	30	15	1	2,9k	850	35	$\frac{0,005^{(2)}}{2}$	16
4	290	58	240	1,3k	3k	27	170	19	3, 8	1 2	970	310	13	5,5	7
5	250	71	190	890	7,9k	35	260	15	3, 8	1 9	960	370	23	7,2	9,2
6	160	33	93	720	3,2k	26	380	12	4, 5	1 7	800	290	18	$\frac{0,005^{(2)}}{2}$	9,2
Ø min ⁽¹⁾	30	0,00 8	40	350	1,7k	50	-	-	10	-	-	200			
Ø max ⁽¹⁾	47	0,02 7	170	2,8k	6,7k	0	-	-	45	-	-	390			

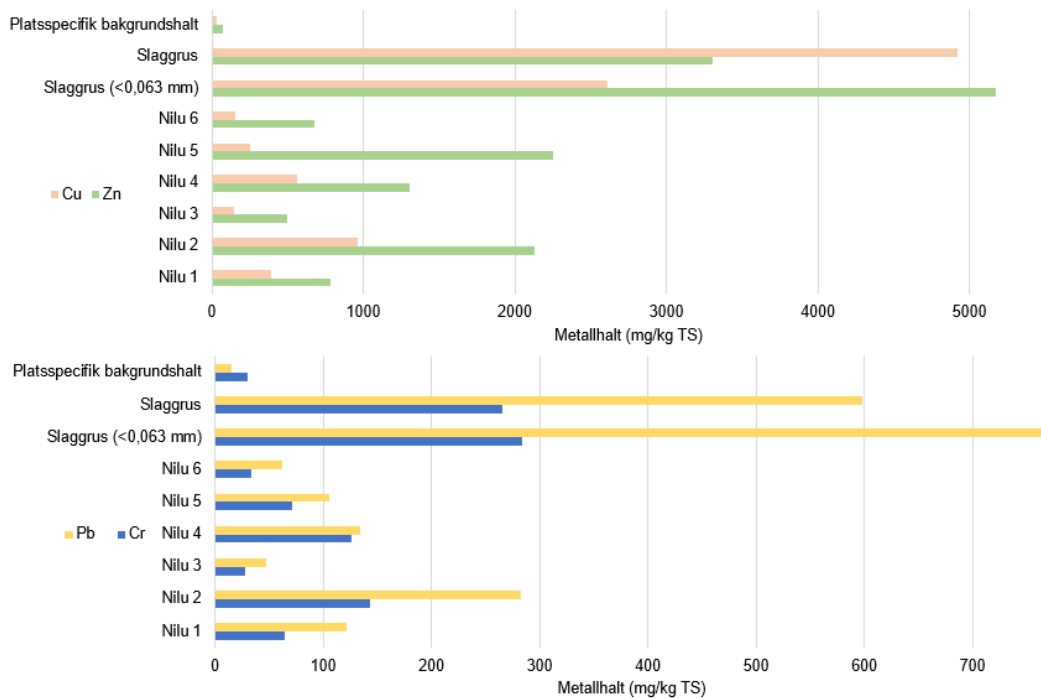
⁽¹⁾ Årsmedeldeposition vid bakgrundsstationer under perioden 2015 – 2020. Baserat på data från södra Sverige om det finns tillgängligt, annars för hela Sverige, efter (Karlsson & Danielsson, 2021); ⁽²⁾ under bestämningsgränsen.

Nilu-tratt 1 har relativt de övriga punkterna tydligt förhöjda depositions mängder metaller per kvadratmeter. Relativt vikten deponerat material är dock halterna av Cd, Cr, Cu och Pb högre i Nilu-tratt 2 och 4 relativt de övriga Nilu-trattarna (Tabell 9 och Figur 13).

Tabell 9. Metallhalter i deposition uppmätt i Nilu-trattar efter mätperioden i Trelleborgs hamn jämfört med innehållet i slaggrus och andra potentiella källor till damning.

		Metallhalter (mg/kg TS)				
		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
Mätpunkt	Nilu 1	1,4	64	392	121	784
	Nilu 2	3,7	143	965	283	2 129
	Nilu 3	0,8	28	150	47	499
	Nilu 4	1,6	126	564	134	1 302
	Nilu 5	1,1	71	254	105	2 252
	Nilu 6	1,0	34	153	62	679
Slaggrus, <63 µm ⁽¹⁾		9,6	284	2 610	765	5 170
Slaggrus, ej fraktionerad ⁽¹⁾		3,5	266	4 923	598	3 301
Metaller i djupa sedimentjordarter, 90-percentilen ⁽²⁾		0,2	45	30	25	100
Platsspecifika bakgrundshalter i jord i Trelleborgs hamn generellt ⁽³⁾		0,2	30	30	15	70
Platsspecifika riktvärden muddermassor i Trelleborgs hamn ⁽⁴⁾		2,5	270	90	200	500

⁽¹⁾ från (Avfall Sverige, 2023); ⁽²⁾ (Naturvårdsverket, 1999); ⁽³⁾ Baserat på miljöteknisk markundersökning inom Trelleborg hamn; ⁽⁴⁾ motsvarande Nivå 2 i dom M867-08.



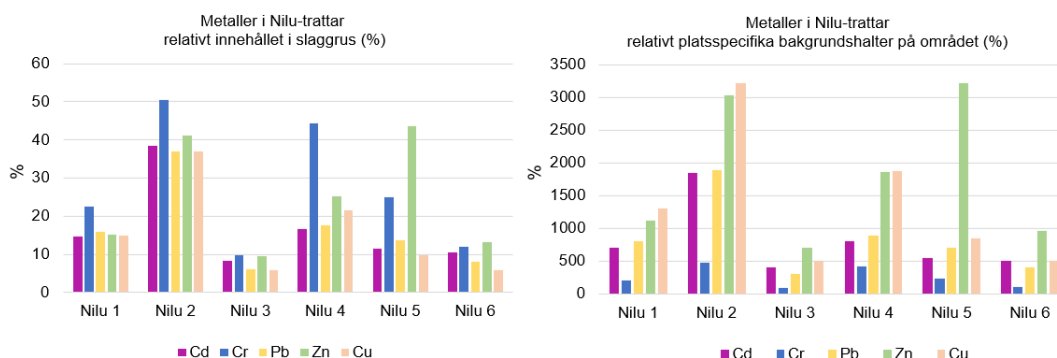
Figur 13. Metallhalter i Nilu-trattar, slaggrus, slaggrus fraktion <0,063 mm och platsspecifika bakgrundshalter.

Metallhalterna i deponerat material i observationspunkterna är

- genomgående lägre än i slaggrus (det gäller både bulken, dvs. "ej fraktionerad" i Tabell 9, och fraktionen $<63 \mu\text{m}$),
- högre än platsspecifika bakgrundshalter i marken i det aktuella hamnområdet, men
- både lägre och högre än platsspecifika riktvärden för tillförda muddermassor (

- Tabell 9 och Figur 14).

Ovan observationer indikerar att slaggrus har bidragit till uppsamlat nedfall, samtidigt som även andra källor har gett upphov till damm som fångats in. Om endast damm från slaggrus hade deponerats i Nilu-trattarna borde metallhalter vara mer likt dem i slaggruset.



Figur 14. Procentandel av metallhalter i uppsamlad deposition relativt metallhalter i slaggrus (fraktion <0,063 mm) (vänster graf), och relativt platsspecifika bakgrundshalter av metaller i mark (höger graf).

3.2.4 Korrigering för atmosfärisk deposition

I Tabell 10 redovisas deponerade metallhalter justerat för bakgrundshalten för att hänsyn till deposition som kan komma från andra källor än slaggrusanläggningen. Från tabellen blir tydligt att framförallt kadmiumdepositionen i provpunkterna 4, 5 och 6 ligger under bakgrundshalten.

Tabell 10. Metallhalter i deponerat material, justerade maximal bakgrundsdepositionen som antas falla under den period som Nilu-trattarna varit utplacerade (det är 66 dagar mellan perioden för mätning 2022-05-02 till 2022-07-07).

Prov-punkt	Metallhalt i stoft per kvadratmeter, justerat bort bakgrundshalt (µg/m ²)							
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cd
1	1792	520	1275	10494	20788	208	3329	30
2	422	81	285	2394	5188	20	779	3
3	502	120	305	2194	7788	64	779	7
4	282	58	215	794	1788	5	239	<bakgr.
5	242	71	165	384	6688	13	299	<bakgr.
6	152	33	68	214	1988	4	219	<bakgr.
Bakgrundsdeposition vid mättiden ⁽¹⁾	8	0,005	25	506	1212	22	71	8

⁽¹⁾ 66/365-andel av maximal deposition (Ø max) som anges i Tabell 8.

3.2.5 Bedömning av faktorerers inverkan på deposition av slaggruspartiklar

Tabell 11 anges resultaten för beräkning av medelvärden för de faktorer som har använts vid utvärderingen av depositionen tillsammans med de sammanvägda poängen. De senare visas relativt den uppmätta depositionen i respektive NILU-tratt i Figur 15.

Den dominerande vindriktningen under perioden var från 203 grader, vilket innebär att vinden blåste mot norr/nordöst. NILU-trattarna 5 och 4 stod relativt ofta i vindriktningen under anläggningstiden jämfört med de övriga provtagningspunkterna. Detta reflekteras av att medelvärden för vinkelskillnaden är lägre för dessa än för de övriga punkterna. Särskilt punkt 6 sticker ut med ett mer än dubbelt så stort medelvärde för vinkelskillnaden.

Gällande avståndet mellan anläggningen och NILU-trattarna, stod NILU-tratt 1, 3 och 2 närmast under största delen av tiden. Medelvärdet för vindhastigheten under hela anläggningstiden var 4,7 m/s. Vindhastigheten var större än 4 m/s vid 63 procent av anläggningstiden.

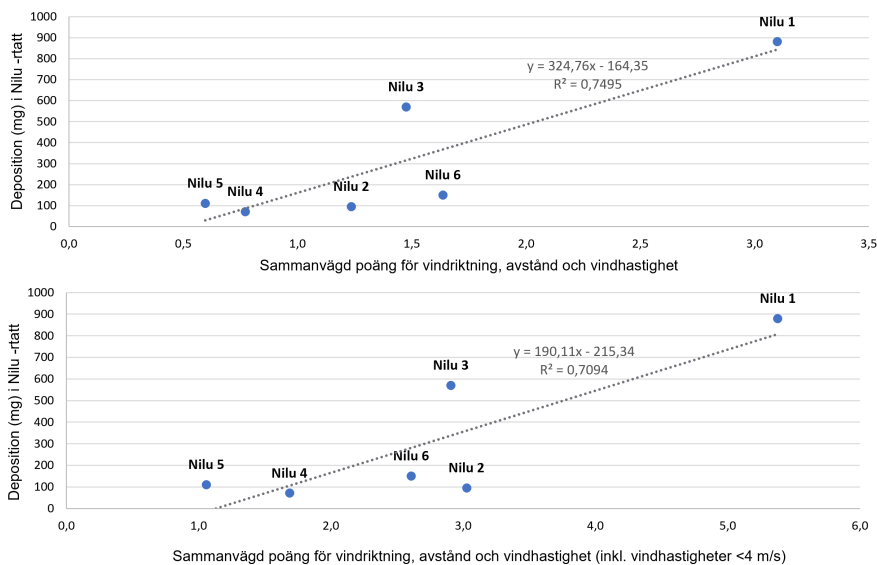
Tabell 11. Avrundade medelvärden för faktorer som använts för att utvärdera slaggrusets deposition.

NILU-tratt	1	2	3	4	5	6
Uppmätt deposition i NILU-tratt (mg)	880	95	570	71	110	150
Faktorer						
Vinkelskillnad (grader) ⁽¹⁾	95	89	113	81	72	150
Avstånd (meter) ⁽²⁾	101	117	106	154	188	159
Medelvärde för vind (m/s)	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Sammanvägd poäng utan vind <4 m/s vid n=64 tidpunkter⁽³⁾	3,10	1,24	1,48	0,77	0,60	1,64
Sammanvägd poäng alla datapunkter vid n=102 tidpunkter⁽³⁾	5,38	3,03	2,91	1,69	1,06	2,61

(1) Skillnad mellan den optimala vindriktningen (mellan delruta och NILU-tratt) och den faktiska vindriktningen; (2) mellan NILU-tratt och delruta; (3) summa för vindriktningsvinkel, avstånd och vindhastighet beräknad enligt Tabell 5, enligt metod i 2.3.4

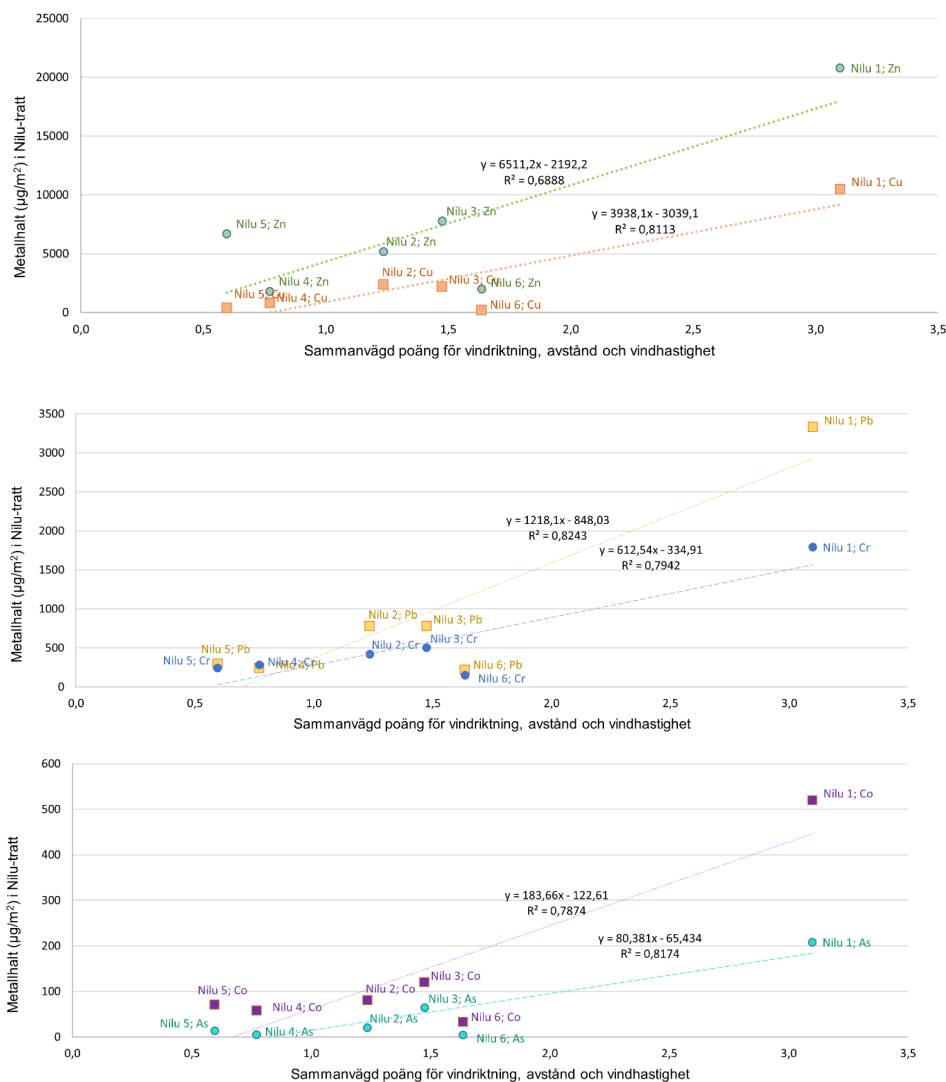
Det går att se ett tydligt samband mellan en större sammanvägd poängsättning och en större mängd deposition (övre diagrammet i Figur 15). Insamlad mängd deponerat material i Nilu-tratt 3 och 6 avviker tydligast från det linjära sambandet: en mindre mängd förväntades i Nilu-tratt 3 om sambandet hade varit exakt enligt trendlinjen i diagrammet. Gällande Nilu-tratt 6 borde det ansamlats en större mängd än vad som faktiskt uppmättes. Trots det anses avvikelserna från sambandet vara små med tanke på att både mät- och analysmetoden har felkällor såsom en relativt grov indelning av väderdata, ett relativt begränsat antal mätpunkter, en osäkerhet kring vid vilken vindhastighet damning faktiskt uppstår och det faktum att inte allt deponerat material kunde fjärras från Nilu-trattarna inför analysen. Därutöver är sambanden mellan faktorerna och depositionen troligen inte linjära i verkligheten.

Samtliga vindhastigheter har inkluderats vid beräkningen av summerade poängen för det nedre diagrammet i Figur 15. Den sammanvägda poängen ökar då samtidigt som det övergripande sambandet ser liknande ut, om än med något svagare samband mätt som R^2 . En uppenbar skillnad i resultaten från de olika beräkningsmetoderna är att Nilu-tratt 2, 3 och 6 inte får samma poängordning. Under beaktande av vindhastigheter under 4 m/s får Nilu-tratt 2 och 3 mer poäng än Nilu-tratt 6 som får högre poäng om bara vindhastigheter över 4 m/s inkluderas. Det antyder att det har blåst oftare med lägre vindhastighet än 4 m/s mot Nilu-trattarna 2 och 3 relativt Nilu-tratt 6.



Figur 15. Sammanvägda poängen baserat på vindriktning, avstånd och vindhastighet (x-axeln) enligt antaganden i Tabell 5 relativt den totala depositionen (mg) under depositions­mätningar i Trelleborg (övre diagrammet, baserat på N=64). Det undre diagrammet (baserat på N=102) visar den sammanvägda poängen utifrån antagande om att även vindhastigheter <4 m/s medför damning. Linjär trendlinje, ekvation samt överens­stämmelse med punkternas faktiska värde som R^2 .

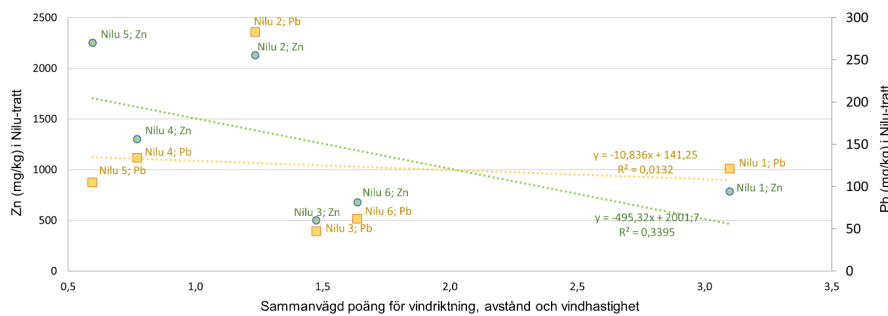
Sambanden ovan bekräftas även gällande uppmätta metallhalter per kvadratmeter och den sammanvägda poängen, men R^2 -värdet för ett linjärt varierar, se Figur 16. Det är främst Nilu-tratt 5 och 6 som avviker från ett linjärt samband. Observera att en visuellt brantare lutning inte har att göra med ett starkare samband utan storleksordningen för uppmätta halter beroende av metall.



Figur 16. Sammanvägda poäng baserat på vindriktning, avstånd och vindhastighet (x-axeln) relativt deponeringen av metaller (µg/m²) under depositions­mätningar i Trelleborg, korrigerat (subtraherat) för bakgrundshalter (linjär trendlinje, ekvation samt överens­stämmelse med punkternas faktiska värde som R²).

Tittar man på Figur 17 som illustrerar uppmätta halter av metaller i det deponerade stoffet (alltså halter i µg/kg deponerat material) mot sammanvägda poäng av avstånd, vindriktning och vindhastighet uppstår en annan bild än ovan. Halter av zink i Nilu-tratt 2, 4 och 5 är tydligt förhöjda mot de andra, och detta gäller särskilt för bly i Nilu-tratt 2. Detsamma

konstateras även för koppar-, krom- och arsenikhalterna i deponerat material (diagram redovisas inte). De tre punkter har lägst poäng i sammanvägningen (>4 m/s), och bör således ha påverkats minst av vindriktning och -hastighet, och de låg relativt långt ifrån anläggningsytorna.



Figur 17. Sammanvägda poängen baserat på vindriktning, avstånd och vindhastighet (x-axeln) relativt deponerade halter av metaller (mg/kg) under depositions­mätningar i Trelleborg. Linjära trendlinjer för sambandet mellan x och y, ekvation samt överens­stämmelse med punkternas faktiska värde som R², ingen justering för bakgrundsdeposition.

Halter av bly och framförallt zink är tydligt förhöjda i slaggrus jämfört med både bakgrundshalt, halter i naturligt bergkross och riktvärden för muddermassor på plats (se Tabell 9). Dessa halter kan vara tydliga indikatorer för att det är en relativ stor andel damm från slaggrus som har samlats in med depositionen. Andelen verkar vara störst i punkt 5, 2 och 4, då halterna i dessa punkter är "närmast" halterna i slaggruset (jämför med Figur 13). Dessa punkter har mottagit minst material via deposition, och det stämmer överens med att de har fått lägst poäng i sammanvägningen av vindhastighet, riktning och medelavstånd till anläggningsytan. En anledning för de jämfört med de övriga punkterna förhöjda halter av bly och framförallt zink i punkterna 5, 2 och 4 kan vara att små partiklar av damm med relativt högre halter sprids längre och vid lägre vindhastigheter än de större, jämför även med¹⁵. Teorin bekräftas av att positionerna låg relativt ofta i vindriktningen under anläggningstiden (minst vinkelskillnad i medel, särskilt punkt 5, se

¹⁵ Avfall Sverige, 2023

Tabell 11).

3.2.6 Faktorer som påverkar depositions­mätning och analysresultat

Depositionsmätning omfattar allt material, både vått och torrt, som faller ned från atmosfären. En bakgrundsbelastning är alltid att räkna med, det vill säga även om ingen bygg- eller hamnaktivitet pågick hade det samlats in material under mätkampanjen. Mycket regn leder till en större andel våt deposition, men förhindrar eller motverkar uppkomsten av damm som var fallet i Umeå.

Eftersom depositions­mätningen utförs relativt högt över marken (1,7 - 2 m) och damm kan transporteras på lägre höjd, så har med stor sannolikhet inte allt damm som uppstod under konstruktionen och transporterades kunnat fångas in. Sannolikt transporteras dock damm längre ju högre upp den förs i luften, se resonemanget i diskussionen om resultaten från partikelmätningarna¹⁶. Det innebär att depositions­mätningar möjligen underskattar deposition nära källan, men att denna effekt avtar vid längre avstånd från källan. I föreliggande fall avtar deponerat mängd med avstånd från källan, men halter av zink och bly per kg deponerat material är relativt höga i mer avlägsna mätpunkter (som kan vara orsakade av att mindre partiklar med högre koncentrationer har spridit sig dit i större utsträckning).

Som i varje storskaligt anläggnings­projekt förekommer det variationer i hur och hur fort utläggningen av slaggrus och efterföljande krossmaterial skedde. Momentana byiga vindar kan således ha spelat roll för uppkomsten av damm från slaggruset. Eftersom vinddata registrerades enbart var 4e timme kan beräknings­modellen ovan inte korrekt återspegla sådana tillfällen.

3.3 JÄMFÖRELSE BESLUTSTÖD OCH MÄTRESULTAT

Det föreligger att antal skillnader mellan hur mätningarna utfördes och antaganden som ligger till grund för damnings­modellen i beslutstödet. Dessutom skiljer sig vissa parametrar mot de platsspecifika beräkningarna som gjordes för de två anläggnings­projekten som ingick i denna uppföljning. Dessa diskuteras nedan.

1. Anläggningsytan och avstånd

Vid pågående entreprenadarbeten förflyttas avståndet mellan mät­punkt och den öppna anläggningsytan ständigt. Detta förenklas i

¹⁶ Avfall Sverige, 2023

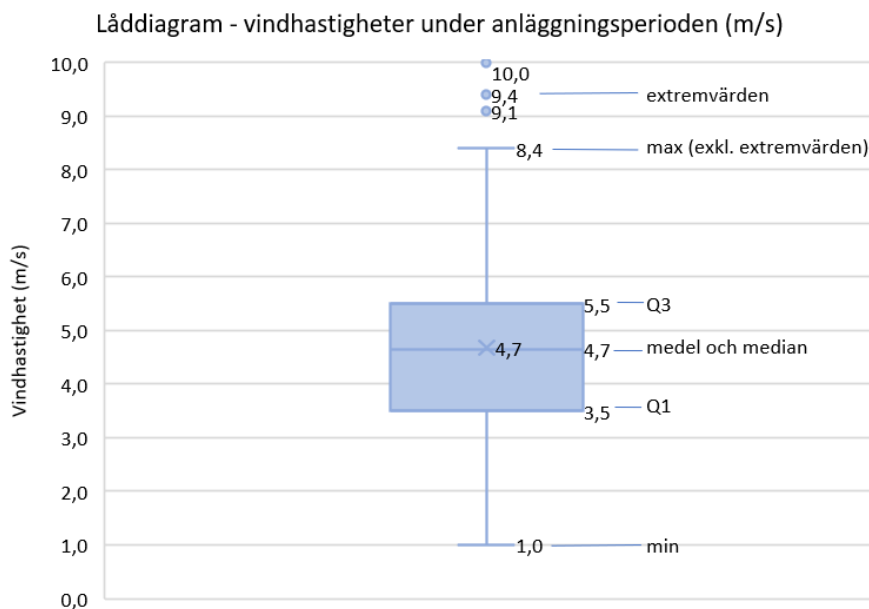
riskbedömningsmodellen med antaganden om en fast (och mest känslig) exponeringspunkt; i fallet Umeå var den 3 meter från utkanten av anläggningsytan (se Figur 1; observera att 10 m har antagits i riskbedömningen på grund av begränsningar i modellen) och i Trelleborg 70 m från konstruktionens kant (se Figur 4). Medelavståndet till närmaste mätpunkt i Trelleborg har dock varit 101 meter, och vid slutet av den aktuella anläggningsetappen är det flera hundra meter till den punkten. I avsnitt 3.3.1 nedan görs en jämförelse mellan modellerade riktvärden och uppmätta halter för att förtydliga skillnaden om samma avstånd antas i riskbedömningsmodellen för Trelleborg.

Anläggningsytan har varierande storlek och har täckts över omgående (i Trelleborg), något som i beslutsstödet förenklas genom kalkylering med en maximal bredd som ligger i dagen under konstruktions-, underhålls- och destruktionstiden. Hur länge vilka ytor de facto har varit i dagen är inte känt. Eftersom depositions-mätningen har utförts över hela konstruktionstiden av etappen och den för hälsoriskerna kritiska parameter är dammdeposition, dvs. precis det som har mätts, påverkar detta inte tillförlitligheten av resultaten.

I Trelleborg har ca en femtedel av den planerade ytan anlagts. Riskbedömningen tar hänsyn till anläggningstiden för hela ytan, men den tiden avser en 200 m bred slaggrusyta som ligger i dagen under hela den antagna anläggningstiden under en växtsäsong.

2. Vinden och partikelhalter

Vinden är föränderlig i både max- och medelhastighet och riktning under konstruktionstiden; i beslutsstödet antas en konstant vindhastighet på 1 m/s mot exponeringspunkten över ytans maximala bredd. Denna hastighet kan i praktiken vara för låg för att orsaka betydande uppvirvling av material; 4-6 m/s anges ofta som ett riktvärde citerar författarna i (Avfall Sverige, 2023). Medelhastigheten i Trelleborg har varit 4,7 m/s och över 4 m/s under mer än hälften av konstruktionstiden, se Figur 18.



Figur 18. Låddiagram över vindhastigheten (m/s) under perioden för anläggningsarbeten i Trelleborg. Extremvärden är de värden som är 1,5 gånger större än den tredje kvartilen (Q3).

I Umeå mättes vindhastigheter för de tillfällen då damning kan ha förekommit till 1,3 – 3,6 m/s¹⁷. Det senare tyder på att den nedre gränsen för vinden när damning av slaggrus över huvud taget uppstår kan vara lägre än 4-6 m/s. I realitet är inte halterna konstant utan vindhastigheten påverkar partikelhalterna¹⁸. Det tar inte riskbedömningsmodellen i beslutsstödet hänsyn till. I de plats specifika riskbedömningarna för anläggningarna har damnhalter som totaldamm vid konstruktion, underhåll och rivning uppskattats till ca 0,3 respektive 5,8 mg/m³. Det kan jämföras med halterna av små partiklar (PM10) som faktiskt mättes i Umeå och Trelleborg och samtidigt kunde härledas till damning från slaggruskonstruktionen på ca 10 respektive 30 µg/m³¹⁹, alltså minst en faktor 10 lägre²⁰. Den

¹⁷ Avfall Sverige, 2023

¹⁸ Avfall Sverige, 2023

¹⁹ Janhäll & Lundberg, 2023

²⁰ Riskbedömningsmodellen använder för visso den respirabla andelen damm (ca <4 µm) för beräkningen av riktvärden med en antagen andel motsvarande 10% av totaldamm, men detta är enbart relevant för hälsorisker kopplade till inandning, och denna exponeringsväg är inte styrande i riskbedömningsmodellen för något av de undersökta ämnena.

Depositionsmätningen fångar i stort alla partikelstorlekar som transporteras 1,7-2 meter upp i luften, och däribland betydligt större partiklar än PM10 (dess syntes tydligt vid insamling av Nilu-trattarna vid slutet av experimentet). Halter av PM2,5 och PM1 har varit konstant lägre än halter av PM10 vid partikelmätningarna i Umeå och Trelleborg (Avfall Sverige, 2023).

dimensionerande luftvolymen i riskbedömningsmodellen som förflyttas med 1 m/s antas till 1 m över marken; partikelmätningen i Umeå och Trelleborg har skett ca 1,5 m över marken²¹, depositions­mätningen har skett på 1,7 – 2 m över marken, motsvarande internationell standard. Partikelhalter i luften närmare marken kan ha varit högre vid bägge anläggningsarbeten. Således kan partikelhalten i mätningarna vara underskattat.

Riskbedömningsmodellen uppskattar andelen av damm som deponeras ett visst avstånd från konstruktionens ytterkant (50% inom 10 meter, 75% inom 20 meter, över 99% inom 70 meter). Då halter av potentiellt hälsoskadliga ämnen är högre i de små slaggrusfraktioner (se Figur 13) och dessa kan transporteras högre upp i luften och längre bort bör dock depositions­mätningen inte nödvändigtvis ha "missat" deposition av de kritiska (små) fraktioner slaggrusdamm på grund av att anläggningsytan i medel har varit längre bort än 20 meter (som är grundinställningen för exponeringspunkten i riskbedömningsmodellen).

3. Depositionen

Depositionen som beräknades i riskbedömningen för Umeå och Trelleborg var 2500 respektive 2025 mg per m² och dygn under den totala anläggningstiden på 12 dagar²² och ett avstånd på 10 respektive 70 m från konstruktionen. Detta kan jämföras med den högsta respektive lägsta depositions­mätningen uppmätt till 418 respektive 34 mg per m² och dygn för totalt 67 mättdagar i Trelleborg, varav 34 anläggningsdagar med successiv täckning av slaggrusytan. Inför man de beräknade medelavstånden mellan slaggrusanläggningen och Nilu-trattarna från

²¹ Avfall Sverige, 2023

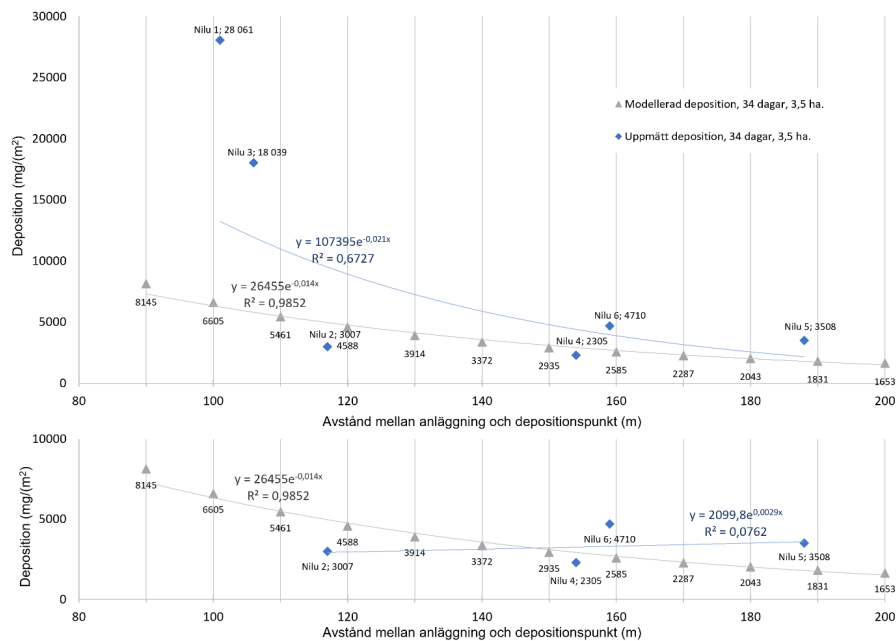
²² Tiden då en slaggrusyta på maximalt 200 m bredd antas ligga i dagen under hela konstruktionstiden.

Tabell 11 i damningsberäkningen som låg till grund för riskbedömningen i fallet Trelleborg, returneras uppskattade dygnsspecifika depositionshalter på mellan 989 och 269 mg per m² och dygn för en anläggningstid för hela konstruktionen under 12 dagar. En jämförelse mellan uppmätt deposition och modellerad utifrån antaganden i riskbedömningen visar att den faktiska depositionen har varit både större och mindre än antaget i riskbedömningen (Figur 19 i avsnitt 3.3.1 nedan).

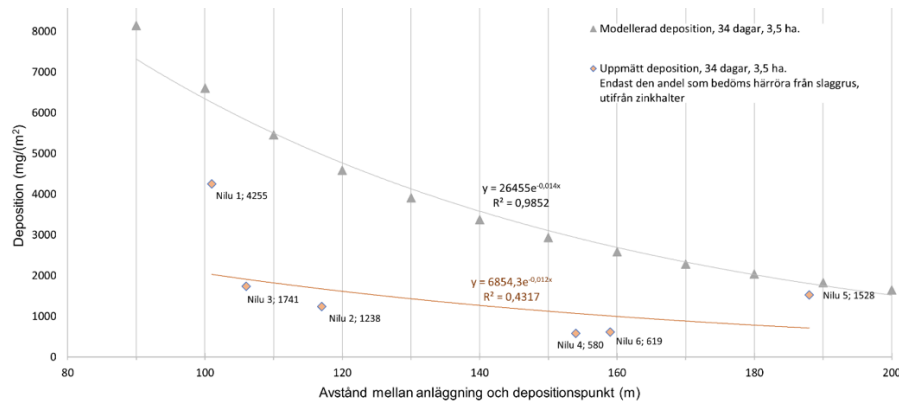
3.3.1 Jämförelse modellerad deposition och mätresultat

Vid en jämförelse mellan fiktiv modellerad deposition och uppmätt deposition är uppmätt mängd större än modellerad för avstånd mellan 100–110 meter (Nilu-tratt 1 och 3, se Figur 19). Det går inte att se ett tydligt samband mellan medelavstånd och deposition om man endast tar med de punkter som är längre bort än 110 meter (nedre diagrammet i Figur 19). Zinkhalten i den uppmätta depositionen²³ bör kunna vara ett mått på hur stor andel av depositionen som härrör från slaggrus, men sambandet mellan deposition av zink och avstånd är svagt (Figur 20). Depositionshalter är i detta fall mindre än den som beräknas med riskbedömningsmodellen. För Nilu-trattarna används medelavståndet under hela anläggningsperioden enligt tabell 10, ingen justering har gjorts utefter andra faktorer än zinkhalten. Depositionen har justerats genom att multiplicera den uppmätta depositionshalten med andelen zink i depositionen relativt den i slaggrusfraktion <0,063 mm (till exempel 0,15 för Nilu 1, se vänster diagram i Figur 14).

²³ Eftersom zinkhalten i slaggrus är tydligt förhöjd mot bakgrundshalter och varierar relativt litet kan zinkhalter med fördel användas som en parameter här.



Figur 19. Jämförelse mellan modellerad och uppmätt deposition i Nilu-trattar (samtliga Nilu-trattar i övre diagram, utan Nilu-tratt 1 och 3 i nedre diagram) beroende av avståndet mellan anläggningen och depositions punkten (medelavstånd till Nilu-trattar alternativt fiktiv punkt. Exponentiella trendlinjer och överensstämmelse med faktiska värden som R-kvadratvärde).



Figur 20. Jämförelse mellan modellerad och uppmätt deposition justerat för zinkhalten i Nilu-trattar beroende av avståndet mellan anläggningen och depositionsunkten (placering av Nilu-trattar alternativt fiktiv punkt för där depositionen modelleras; exponentiella trendlinjer samt hur väl de stämmer överens med punkternas faktiska värde som R-kvadratvärde).

Sammanfattningsvis kan man konstatera att den totala depositionen som uppmättes vid anläggningsarbeten i Trelleborg översteg den i riskmodellen för korta avstånd från anläggningsytan (<110 m), men ger liknande resultat för större avstånd (där kurvorna i den övre grafen i Figur 19 närmar sig varandra). Korrigerad för den troliga andelen av deponerat material som härstammar från finkornigt slaggrus genom att orientera sig vid zinkhalter verkar förhållandet vara det omvända: riskbedömningsmodellen överskattar deposition av slaggrus. Överskattningen är genomgående ca 100%. Det kan tyckas mycket men en faktor 2 är ingen ovanlig och till och med relativt låg säkerhetsmarginal i riktvärdesberäkning.

4 Slutsatser från Damm- och depositionsmätningar

Dammätning under en begränsad tid och i ett begränsat antal väderstreck har mycket stora utmaningar för att få ett dataunderlag avseende uppkomsten och spridning av damm från anläggningsarbeten med slaggrus. Kontinuerliga mätningar på flertal ställen däremot, som företagit av²⁴, eller depositionsmätning på flertal ställen som i detta projekt ger en tydlig indikation på dammuppkomst respektive deposition vid anläggningsarbeten. Som förväntat påverkas den uppmätta depositionen framförallt av avstånd till källan samt vindhastighet och -riktning. Med ökat avstånd och ett läge i "lä" minskar depositionen tydligt.

Deponerat material per dygn anläggningsarbete och m² visade sig vara lägre än antaget i underliggande beräkningar i riskbedömningen. En extrapolering till hela den planerade anläggningstiden resulterar i att deponerade mängder damm kommer att överskrida den mängden deponerat totaldamm som ligger till grund för riskbedömningen i det studerade fallet vid vissa avstånd till konstruktionen, inte i andra.

Halter av potentiellt förorenande metaller i deponerat material var betydligt lägre än halter som uppmättes i både slaggrus som helhet och i fraktionen mindre än 63 µm. Detta tyder på att annat material har bidragit till damning, tex. bergkross som slaggruset övertäcktes med. De punkterna med de högsta deponerade dammängderna i mätningen visade relativt andra mätpunkter låga halter metaller och således troligen låg andel slaggrus i det deponerade materialet. I urban eller industriell miljö och vid anläggningsarbeten förekommer damning från olika källor. Således kan den totala mängden deposition som uppmäts i enskilda mätpunkter vara ett trubbigt sätt att uppskatta deposition orsakat av anläggningsarbeten med slaggrus (om inte damningen från slaggrusanläggningen kan isoleras från andra källor). Bakgrundspåverkan, inte minst i urbana eller industriella miljöer, måste tas hänsyn till vid bedömning av damning och deposition.

Korrigerad för vad som är troligen den andel av deponerat material som härstammar från slaggrus är verkar riskbedömningsmodellen överskatta dammdepositionen något.

²⁴ Avfall Sverige, 2023

5 Uppföljning av beslutsstödet

5.1 VERKSAMHETSUTÖVARE / PRODUCENTER

För att följa upp användandet av beslutsstödet genomfördes intervjuer med Raul Grönholm (Sysav), Anders Friberg (Umeå Energi) och Åsa Tykesson-Nilsson (Dåva). Alla tre har använt beslutsstödet och anlitat konsult hjälp för att genomföra riskbedömningar. Sysav och Umeå Energi är producenter av slaggrus, Dåva och Umeå Energi verksamhetsutövare som har haft avsikt att använda slaggrus i anläggningsarbete och anmält återvinning av avfall i anläggningsarbete i enlighet med 29 kap § 35 i miljöprövningsförordningen (SFS 2013:251) till den lokala tillsynsmyndigheten. Intervjufrågorna och svaren redovisas aggregerat i tabellen nedan.

Tabell 12 Sammanställning av intervju svar från användare av beslutsstödet

Positiva reaktioner	Förbättringspotential
Bra beslutsstöd, särskilt processflödesdiagram	Det är något för omfattande (många sidor/bilagor)
Gott! Skapar trygghet hos myndigheterna och hos producenten (ringa risk bekräftad)	Typfallen spelat mindre roll, mycket blev platsspecifikt
Bra att kunna använda det utan att vara bunden till en konsult	GV-skyddet i riskbedömningen problem för hyfsat täta jordar, måste vara tydligt i beslutsstödet
Till hjälp främst i arbete med miljöansökan och i dialog med entreprenör samt för byggherren map myndighetskontakter	Riskbedömning hälsa – damm styrande / modellen har många antaganden å hur blir det om man bygger närmare boende?
	Flera ämnen behövs inkluderas
	Uppdatering behövs och någon måste bevaka det (exempelvis aktuellt pga. ny riktvärdesberäkning för bly i förorenad mark)

Sammanfattningsvis kan konstateras att verksamhetsutövare ansåg att beslutsstödet har utgjort ett värdefullt stöd, men att antaganden för typfallen och begränsningar i Naturvårdsverkets riskbedömningsmodell kan kräva att platsspecifika bedömningar måste göras och vissa delar av beslutsstödet

riskbedömningsmodell inte kan tillämpas. Det har också nämnts att arbeten inför anmälan till återvinning kan vara tids- och resurskrävande, till exempel avseende kontrollprogrammet med batchvis provtagning och analys av material som ska återvinnas för att fastställa medelhalter av potentiellt förorenande ämnen som ska jämföras med riktvärden i beslutsstödet.

5.2 KONSULTER

Enkäter skickades ut till Nadia Sandström (Afry) och Anna Paulsson (Sweco) som har använt beslutsstödet och framförallt riskbedömningsbilagan i projekt åt beställare.

Tabell 13. Sammanställning av intervjuvar från konsulter som använt beslutstödet och gjort platsspecifika beräkningar av riktvärden.

Positiva reaktioner	Förbättringspotential
Bra beslutsstöd	Riktvärden för bly måste uppdateras
Användbar	Utveckling av damningsmodellen, då den baseras på många antaganden och är relativt komplicerat för platsspecifik beräkning
	Utveckling av exponeringsväg intag av växter

Sammanfattningsvis konstateras att konsulter ansåg att beslutsstödet fungerat bra som ett stöd, men att riskbedömningsmodellen för damning upplevs som teoretiskt och relativt komplicerat.

5.3 WORKSHOP

Den 16 mars 2023 hölls en workshop med deltagare från slaggrusproducenter, Länsstyrelsen, Naturvårdsverket och kommunal miljöförvaltning i Energiforsks lokaler i Stockholm.

Workshopen hade tre delar med syftet att lyfta fram och analysera möjligheter, hinder och ett idealtillstånd för att öka återvinning av slaggrus i anläggningsarbete. Deltagarna fick enbart kort bakgrundsinformation för att lösa uppgifterna (se figurerna nedan).

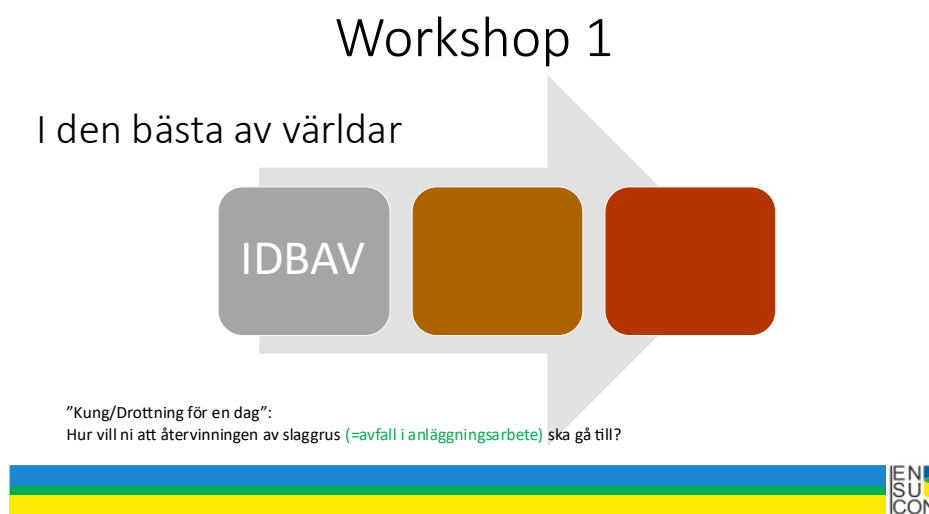
Deltagarna delades in i tre grupper så att det fanns minst en representant av grupperna "myndighet", "forskare/konsult" och "producent" med i varje grupp. Grupperna fick ta sig an de olika delarna i olika ordningsföljder.

Workshopdelarna och resultaten redovisas nedan.

5.3.1 Workshopuppgifter

Uppgift 1

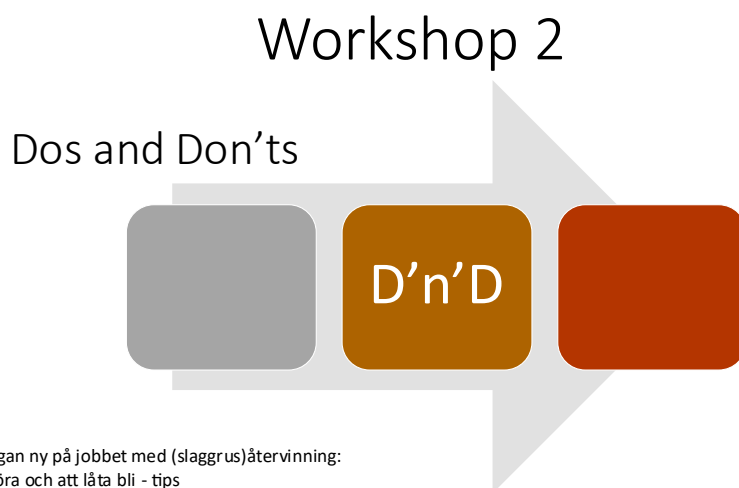
Syftet med uppgiften var att gruppdeltagarna skulle beskriva ett idealtillstånd för återvinning av slaggrus utan att ta hänsyn till praktiska eller legala begränsningar eller till tid, pengar och budgetutmaningar (se Figur 21).



Figur 21. Presentation av shopuppgift 1 workshop "Ökad återvinning av slaggrus i anläggningsarbete", 2023-03-16, Stockholm.

Uppgift 2

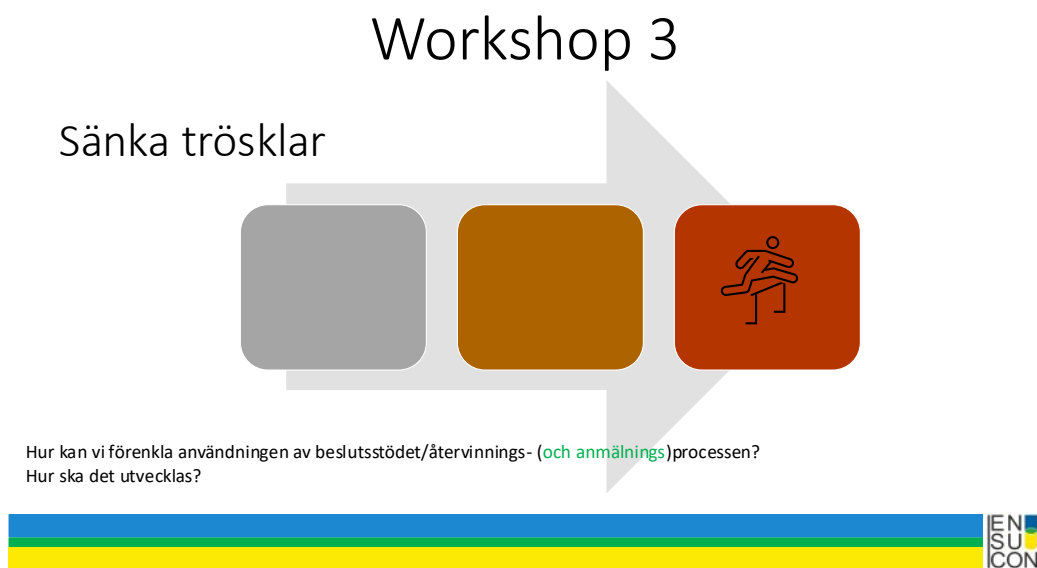
Syftet med uppgift 2 var att gruppdeltagarna skulle ta fram en lista med tips som underlättar för en fiktiv ny kollega vad hen bör tänka på och hur hen bör gå till väga i arbetet med återvinning av slaggrus (se Figur 22).



Figur 22. Presentation av uppgift 2 workshop "Ökad återvinning av slaggrus i anläggningsarbete", 2023-03-16, Stockholm.

Uppgift 3

Syftet med uppgiften var att gruppdeltagarna skulle konkret beskriva hur användningen av beslutsstödet och/eller återvinningsprocessen kan förenklas samt utvecklas (se Figur 23).



Figur 23. Presentation av uppgift 3 workshop "Ökad återvinning av slaggrus i anläggningsarbete", 2023-03-16, Stockholm.

5.3.2 Workshopresultat

Workshopresultaten redovisas i detalj i bilaga 1. Här följer en sammanfattning av resultaten.

Workshop 1: I den bästa av världar...

... finns tydliga och allmängiltiga regler och vägledningar på nationell nivå som fokuserar på cirkulär materialanvändning i stora konstruktioner och materialets egenskaper oavsett klassning (som avfall); det leder till ökad nyttiggörande av både metallinnehållet i slaggrus och av den återstående fraktionen med insatser uppströms och nedströms produktionen av askorna.

Workshop 2: Dos and Don'ts

Bästa tipsen för att arbeta med slaggrusavsättning är att ha tålamod och vara tidigt ute. Dialog med myndigheter och kollegor är en nyckel till framgång, liksom klassificeringen av askor och fokus på risker och miljövinster vid återvinning.

Workshop 3: Sänka trösklar

Trösklarna sänks genom mer och tydligare dialog om risker och miljövinster med askåtervinning, i vilken beslutsstödet är en del på lokal, regional och

nationell nivå. Likväl behövs mer kunskap och klarhet kring vissa miljö- och hälsorisker samt ansvars- och ägarfrågan i ett långt perspektiv, och dessa måste kommuniceras med tillsynsmyndigheter och användare.

6 Förslag på ändringar i beslutsstödet

6.1 GRUNDLÄGGANDE ÄNDRINGAR

Mot bakgrund av resultaten från workshopen och dialog med verksamhetsutövare och konsulter bör beslutsstödet bli kortare och mer lättanvänd, alternativt bör det få en kortare och sammanfattande version som underlättar användningen. Därutöver bör det bli tydligare vilka implikationer avvikelser från typexemplen har och när och på vilket sätt en platspecifik bedömning ska göras och när den inte behövs.

I och med begränsningen i Naturvårdsverkets riskbedömningsmodell avseende relativt täta jordar under en slaggruskonstruktion bör den delen som berör transport till grundvatten och hydrogeologiska egenskaper av marken få särskilt uppmärksamhet. Möjligen ska den justeras eller ersättas med en transportmodell som bättre motsvarar förutsättningarna för föroreningstransport på en sådan plats.

Eftersom både aktiv bevattning (i fallet Trelleborg) och ofrivillig sådan (i fallet Umeå) verkade ha effekt på att begränsa damning ska det tydligare framgå i beslutsstödet att vätning är en effektiv åtgärd.

6.2 ÄNDRINGAR I BESLUTSSTÖDETS RISKBEDÖMNING

6.2.1 Externa förändringar sedan publiceringen 2019

Naturvårdsverket har tagit fram ett beslutsunderlag för att uppdatera det generella riktvärdet för bly för mindre känslig markanvändning från 400 mg/kg till 180 mg/kg (Dnr. NV-04632-18). Faktabladet för bly har uppdaterats²⁵. Strängt taget har detta enbart bäring på riskbedömningen av förorenade områden, dvs. områden som har påverkats av en punktkälla som har lett till högre halter än bakgrunds nivå (inte direkt på att återvinna slaggrus i anläggningsarbete).

Riskbedömningsmodellen i beslutsstödet baseras dock på Naturvårdsverkets riskbedömningsmodell och ändringen²⁶ som företagits i

²⁵ <https://www.naturvardsverket.se/4993da/globalassets/vagledning/fororenade-omraden/riktvarden/datablad/bly.pdf>

²⁶ Naturvårdsverket har mot bakgrund av Naturvårdsverket har med anledning av European Food Safety Authoritys (EFSA, 2010) reviderade toxikologiska referensvärden för bly gjort en översyn av de generella riktvärdena för bly i förorenad mark.

denna påverkar beräkningen av vissa värden. Följande justeringar företas i Naturvårdsverkets beräkningsverktyg som ligger till grund för beslutsstödet riskbedömning och kan ha bäring på den:

- Det toxikologiska referensvärdet i Naturvårdsverkets riktvärdesmodell för förorenad mark justeras till 0,0005 mg per kg kroppsvikt och dag i enlighet med EFSA (2010). Eftersom intag av växter med avseende på bly är en för riktvärden i beslutsstödet styrande exponering bör denna justering företas i beslutsstödet. Görs enbart denna justering kommer riktvärdena med avseende på totalhalter av bly bli lägre.
- Den relativa biotillgängligheten justeras från 1,0 till 0,6 i enlighet med EFSA (2010). Detta bör tolkas som att biotillgänglighet är en faktor som bör beaktas i beslutsstödet (i dagsläget är den satt till 1).
- Parametern Ccrit-gw som är styrande (kritisk) för vilka halter som tillåts i grundvatten justeras i enlighet med Livsmedelsverkets nya dricksvattenkriterie från 10 µg/l till 5 µg/l. Dricksvatten ingår inte som exponeringsväg i beslutsstödet riskbedömning, däremot påverkar sänkningen beräkningen för skydd av grundvatten.
- Biokoncentrationsfaktorer för växtens stjälk (BCFstjälk) och för växtens rot (BCFrot) justeras till 0,0078 respektive 0,0021 (mg/kg torrsvikt) / (mg/kg TS). Detta påverkar inte direkt beräkningen av riktvärden för skydd av hälsa i beslutsstödet, då exponeringen via växter har antagits som 10% av damm som sitter kvar på bladverk snarare än via upptag i växter. Däremot borde det för typfallen kontrolleras hur stor skillnaden blir mellan de två olika hälsoriskbedömningsmodellerna i och med justeringen av BCF i den ena.
- Begränsningsvärdet för korttidsexponering höjs från 600 till 1000 mg/kg eftersom man antar en kortare halveringstid (den tiden som en kortare exponering av bly under dagar eller månader stannar kvar i blodet eller organ). Detta har ingen effekt på riktvärdena för KM eller MKM, men eventuell effekt på riktvärdesberäkningen i beslutsstödet bör kontrolleras.
- Vid användning av riktvärdesmodellen (Naturvårdsverkets beräkningsverktyg) blir ett beräknat värde för känslig markanvändning med uppdaterade data för bly lägre (20 mg/kg, motsvarande den nationella bakgrundshalten). Det innebär att

platsspecifika riktvärden i praktiken kan bli lägre än 50 mg/kg. Det kan ha bäring på riskbedömningen i beslutsstödet beroende på vilket scenario som tillämpas för skydd av markmiljö under respektive utanför konstruktionen.

- Justeringen av MKM-riktvärdet för bly innebär att beslutsstödet bör uppdateras för de scenarier som utgår ifrån att marken utanför konstruktionen efter dess rivning ska ha en föroreningsnivå maximalt motsvarande mindre känslig markanvändning.

6.2.2 Förändringar pga partikel- och depositionsämätningar

I och med att depositionen i undersökt fall visade sig vara större än uppskattat men samtidigt halterna av slaggrus och potentiellt förorenade ämnen lägre (likt de uppmätta partikelhalter i Janhäll & Lundberg, 2023), föreligger i dagsläget inget behov av att justera den teoretiska damningsmodellen i beslutsstödet utöver de önskemålen som har framförts i uppföljningen (se avsnitt 5).

7 Slutsatser

Beslutsstödet i sin nuvarande form har framgångsrikt använts som hjälp och underlag för anmälan av återvinning av avfall i inläggningsarbete.

Begränsningarna i beslutsstödet till vissa typfall och förutsättningar på anläggningsplatsen har lett till att platsspecifika bedömningar har behövts göras i alla tre undersökta fall. Avvikelserna avsåg de planerade ytornas storlek, de lokala förutsättningarna för föroreningstransport i grundvatten samt avstånd till skyddsvärden. Beslutsstödet och dess riskbedömningsmodell kunde användas för beräkningen av platsspecifika riktvärden i 2 av 3 fall. I ett fall behövdes en annan riskbedömningsmodell för transport till grundvatten.

Användare, myndigheter m.fl. efterfrågar en förenklad version av beslutsstödet och både en förenkling och en vidareutveckling av riskbedömningsmodellen med avseende på föroreningstransport och exponering, särskilt avseende damning.

Mätningarna av partikelhalter (i ett parallellt projekt) och deposition som uppstår vid anläggningsarbeten med slaggrus visar på uppkomst, transport och markdeposition av slaggrusdamm, men även på en del andra partiklar som härstammar från annat konstruktionsmaterial eller utsläppskällor. Därtill verkar både vätning (eller nederbörd) och omedelbar övertäckning av slaggrus vara effektiva metoder att reducera damning.

Sammanvägningen av resultaten från partikel- och depositions-mätningar tyder på att riskbedömnings-modellen verkar överskatta deposition av slaggruspartiklar med ca en faktor 2 i det fallet slaggrus övertäcks omedelbart med annat krossmaterial. En viktig aspekt att beakta för en riskbedömning med avseende på deposition av dammpartiklar är att små partiklar med relativt höga halter av potentiellt förorenande ämnen kan transporteras längre än större partiklar. Det innebär att skyddsvärden längre bort från konstruktionen än de antagna 20 meter i grundinställningen i riskbedömning bör ingå i en platsspecifik beräkning.

Det föreliggande projekt är – tillsammans med det angränsade projektet som undersökte partikelhalter – det första i sitt slag. Dataunderlaget för damning och deposition vid anläggningsarbeten med slaggrus är således fortfarande begränsat, och ett av projekten hade särskilda projektförutsättningar genom att ligga nära havet och att slaggrus övertäcktes omedelbart. Mer och fler mätningar behövs innan riskbedömningsmodellen för damning kan justeras.

8 Vidare steg

Följande steg rekommenderas för att utveckla beslutsstödet och öka återvinningen av slaggrus:

- Ta fram ett beslutsstöd "light"
- Uppdatera beslutsstödet med hänsyn till ändringarna i Naturvårdsverkets beräkningsmodell avseende bly
- Upprepa både partikel- och depositions_mätningar vid fler anläggningsarbeten med slaggrus, helst i en miljö med färre andra potentiella dammkällor
- Undersök slaggruset damningsbenägenhet som en funktion av vindhastighet, fukthalt mfl., både i laboratoriet och i fält
- Utveckla dataunderlaget för exponering och biotillgängligheten av föroreningar i slaggrus, inte minst avseende inandning av små partiklar och genom växtupptag
- Verka för bredare användning av beslutsstödet och storskalig användning (tex. i samarbete med Trafikverket eller kommunala väghållare/verksamhetsutövare) med systematisk uppföljning av exponering och bred och djup återkoppling av resultaten från uppföljningen
- Intensifiera dialog med tillsynsmyndigheter på lokal, regional och nationell nivå kring risker och miljövinster med slaggrusanvändning, ta upp dialog med Trafikverket som potentiell verksamhetsutövare för storskaliga återvinningsprojekt
- Verka för ett bättre dataunderlag avseende damning och exponering med "traditionella" anläggningsmaterial, inte minst mot bakgrundsbelastningen i urban miljö.

9 Referenslista

- ALS Scandinavia AB. (den 22 September 2022). *alsglobal.com*. Hämtat från <https://www.alsglobal.com/-/media/ALSGlobal/Resources-Grid/Instructions/Provtagning-for-inhalerbart-damm-instruktion-INS-1098-AKK012.pdf> den 29 November 2023
- Arbetsmiljöverket. (2018). *Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om hygieniska gränsvärden, AFS 2018:1*. Arbetsmiljöverket.
- Avfall Sverige. (2015). *Utvärdering av miljöpåverkan vid användning av slaggrus baserat på utförda projekt, Rapport 2015:02*. Malmö: Avfall Sverige.
- Avfall Sverige. (2017). *Handbok för bedömning av lakvatten och förorenade dagvatten på avfallsanläggningar*.
- Avfall Sverige. (2017). *Rapport 2017:4 Beslutsstöd för återvinning av slaggrus i specifika asfalttäckta konstruktioner*. Malmö: Avfall Sverige.
- Avfall Sverige. (2019). *Rapport 2019:14 Uppdaterat beslutsstöd för återvinning av slaggrus i specifika asfalttäckta konstruktioner*. Malmö: Avfall Sverige.
- Avfall Sverige. (2019). *Uppdaterad beslutsstöd för återvinning av slaggrus i asfalttäckta konstruktioner*. Avfall Sverige.
- Avfall Sverige. (2023). *Rapport 2023:20*. Malmö: Avfall Sverige.
- avfall, S. v. (u.d.). <https://www.stockholmavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/dammar.pdf>. Hämtat den 26 08 2022
- EFSA. (2010). *EFSA Journal*(8(4):1570).
- Janhäll, L. (2023). *Slaggrus och partikelspridning från anläggningsarbete*. Avfall Sverige.
- Karlsson, G. P., & Danielsson, H. (2021). *Metaller i mossor, Skåne län 2020. Nr C 627. På uppdrag av Länsstyrelsen Skåne. Rapportnummer C 627. ISBN 978-91-7883-323-8*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Lantmäteriet. (2022). <https://minkarta.lantmateriet.se/>.
- Maghder, S. (2021). *Risbedömning, återanvändning av slaggrus i Trelleborgs hamn*. Afry.
- Naturvårdsverket. (1999). *Metodik för inventering av förorenade områden, rapport 4918*.
- Naturvårdsverket. (2009). *Risbedömning av förorenade områden - En vägledning från förenklad till fördjupad risbedömning*. Stockholm: Naturvårdsverket, rapport 5977.
- Naturvårdsverket. (2022). *Statistikblad Avfall - Energibranschen*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/49d435/globalassets/amnen/avfall/statistikblad-energibranschen.pdf>
- Nordtest. (1996). *SOLID WASTE, PARTICULATE MATERIALS: Nordtest Envir NT 004*. Espoo, Finland: Nordtest.
- Sandström, N. (2020). *Risbedömning, återanvändning av slaggrus yta 1*. Afry.
- SGU. (2021). *Kartvisaren*. Hämtat från <https://apps.sgu.se/kartvisare/> den 15 04 2021
- SGU. (2022). <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html>.

- VISS. (2021). *Vattenkartan*. Hämtat från <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=1589fd5a099a4e309035beb900d12399> den 15 04 2021
- Värmeforsk. (2009). *Miljöriktlinjer för askanvändning i anläggningsbyggande*. Energiforsk, rapport Q6-665, ISSN 1653-1248.

Bilaga 1 Workshopresultat

Workshop 1: I den bästa av världar...

Gällande lagstiftning/regelverk och kommunikation

... finns en tydlig, nationell vägledning, motsvarande remissversionen av Naturvårdsverkets allmänna regler för återvinning av avfall i anläggningsarbeten som inte kräver tillstånd

... finns en öppen dialog mellan olika parter för att underlätta en hållbar materialförsörjning i samhället

... tas återvinning av restprodukter / återvinning av slaggrus upp i avfallsplanerna (nationell, regional, kommunal...)

... räknas materialets/avfallets egenskaper lika

... gäller samma lagstiftning för alla material, och den baseras på egenskaper och inte klassning som avfall eller produkt

... har vi det ett nationellt regelsystem för avfall typ danska systemet i Sverige (se "bekaentgørelsen"), eller liknande delar av Finlands och Estlands system

Gällande teknisk utveckling och logistik

... utvinns ännu mer av metallerna ur slaggruset

... säkerställer vi fastläggning av föroreningarna

... finns möjlighet till lagring för större konstruktioner för att underlätta logistiken och undvika brist av material under anläggningstiden

Gällande målbild för återvinning och cirkularitet

... använder askor i redan förorenade urbana miljöer

... kan vi återvinna askor i storskaliga konstruktioner som är utanför skyddade områden, inte bara i mindre ytor

... cirkulerar all aska och slaggrus, och allt som går att återvinna återvinns i samhället

... minska konsumtionen och föroreningar tas ut uppströms (innan det når kraftvärmeverken).

Workshop 2: Dos and Don'ts

Grundläggande

Vänta inte med återvinningen

Tro inte att det går fort / börja i tid (mycket arbete innan det kommer till återvinning) / Komplex fråga! Slaggens sammansättning påverkas av samhällets utveckling

Ge inte upp, ha tålamod

Vara med i hela processen

Tro inte att det kommer att gå med storvinst de första gångerna att återvinna

Se myndigheten/VU som en diskussionspartner

Kommunikation och kunskap

Våga ställa frågor och diskutera med kollegor. Ifrågasätta normerna!

Lär dig om klassificering

Sprid kunskap inom organisationen, om utmaningarna och möjligheterna

Strategi och arbetssätt

Gör två planer: En kortsiktig och en långsiktig

Ta en tidig dialog/diskussion med myndigheter, med positiv inställning: båda parter vill samma sak.

Tänk på provtagningsplan i tidigt skede

Ta hänsyn till storleksfraktioner (damning vs större partiklar)

Fokusera på risker för spridning i förhållande till hur slaggrus kan återvinnas

Avdramatisera återvinningen genom att lyfta blicken från giftfri miljö och totalhalter

Workshop 3: Sänka trösklar

Miljöbedömning och ansökningar

Klassningsfrågan måste bli klar! Det måste vara en varaktig och nationell klassning.

Miljövinster med återvinning måste tydligare in i bedömningsprocessen

Skicka beslutet av anmälan till Fastighetsregistret och skriv in återvinningsprojekt i fastighetsregistret

Det behövs ett beslutsstöd "light" för att underlätta tillsynens bedömning (checklista) och beslutsträd

Kommunikation och dialog

Öka acceptans att använda avfall i konstruktioner genom

... mer och tydligare dialog om vad slaggrus är för att de som ska fatta beslut får bättre

förståelse. Systemtänk (långt innan ansökan om återvinning lämnas in)!

... skapa samsyn kring att beslutsstödet accepteras som tillräckligt underlag för att det

föreligger ringa risk

Olika mål och intressekonflikter måste lösas genom

...mer tyngd på syftet med återvinningen

... att lyfta fram exempel mer och tydligare, både nationella och internationella,

även "hur blev det sedan", miljökontroll

Naturvårdverket måste verka för att öka cirkularitet och tydliga spelregler

Utreda/få klarhet i fler miljöfrågor

Partikelspridning

... hur långt flyger partiklarna (Storleken på fraktionen, dvs damning vs större partiklar,

risk för spridning påverkar hur det kan användas)

... hur länge är de kvar.

... tas de upp av växterna?

... tidsperspektiv på damningen?

... analysera halter i stora och små partiklar.

Utreda biotillgänglighet mer

Ta långsiktiga riskperspektiv

Fortsättning resultat workshop 3

End-of-life och verksamhetsutövare

Utveckla (ekonomisk) säkerhet att slaggrus tas omhand vid end-of-life, konkurs, ...

Verka för en statlig ägare för storskaliga projekt för att säkerställa omhändertagande, tex. kostnader på väghållare

Uppföljning av beslutsstödet för återvinning av slaggrus i anläggningsarbete

Rapportnummer (fylls i av Avfall Sverige)

December, 2023



AVFALL SVERIGE

Fylls i av Avfall Sverige

Genomförare:

Ensucon AB, Afry

Projektledare:

Martijn van Praagh, Ensucon AB

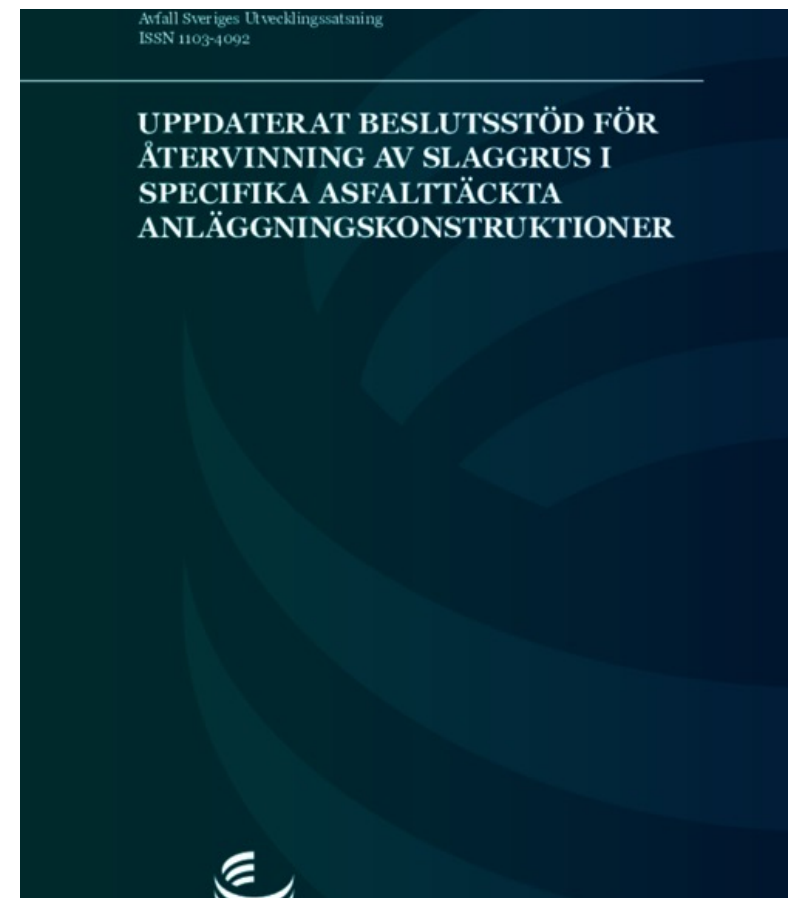
Finansiär(er):

Avfall Sverige, Energiforsk

Bakgrund

Slaggrus och andra askor har tekniska egenskaper som gör de mycket lämpliga att användas i anläggningskonstruktioner. De innehåller mot bakgrundshalter förhöjda halter av främst metaller, klorider och sulfater. För att underlätta bedömningen av potentiella miljö- och hälsorisker med återvinning av slaggrus i anläggningskonstruktioner har Avfall Sveriges publicerat ett beslutsstöd och riktvärden (rapport 2019:14). Sedan publiceringen har beslutsstödet använts som underlag för ansökningar om återvinning av slaggrus i storskaliga konstruktioner.

Det förelåg ett behov att följa upp tillämpningen av beslutsstödet och verifiera vissa antaganden gällande miljö- och hälsorisker genom att mäta uppkomsten av damm vid storskalig konstruktionsarbete med slaggrus.



Resultat

Beslutsstödet upplevs som ett fungerade, viktigt underlag för att underlätta återvinningen av slaggrus i anläggningsarbete.

Stora avvikelser gällande anläggningsprojekts storlek och geometri leder till att riktvärden i stödet inte kan användas rakt av.

En verifierad metod för att mäta atmosfäriskt nedfall möjliggjorde att fånga in och mäta slaggrusdamm.

Halter i dammet kunde korreleras till avståndet från konstruktionen, vindhastighet och –riktning.

Riskerna på grund av föroreningar från slaggruset i infångat damm verkar i det föreliggande fallet ha överskattats något i den föregående riskbedömningen gjort med beslutsstödet.



Slutsatser

Beslutsstödet för återvinning av slaggrus i anläggningskonstruktioner behöver uppdateras och utvecklas och för att blir ännu mer användbart. En förenklad version efterfrågas.

Kunskapsläget kring slaggrusets damningsbenägenhet bör förbättras genom att mäta både damning, deposition och effekten av dammreducerande åtgärder vid fler anläggningsprojekt med slaggrus och med traditionella anläggningsmaterial.



Rapportinformation (fylls i av Avfall Sverige

Rapporten finns för nedladdning (kostnadsfritt för Avfall Sveriges medlemmar) från www.avfallsverige.se

Mer information om detta projekt kan du få från:

UPPFÖLJNING AV BESLUTSSTÖDET FÖR ÅTERVINNING AV SLAGGRUS I ANLÄGGNINGARBETE

I det här projektet har användningen av beslutsstödet (Avfall Sverige rapport 2019:14) och den för hälsorisker kritiska uppkomst av damm vid återvinning av slaggrus i anläggningsarbeten, följts upp.

En verifierad metod för att mäta atmosfäriskt nedfall möjliggjorde att fånga in och mäta slaggrusdamm vid en storskalig anläggning. Halter i dammet kunde korreleras till avståndet från konstruktionen, vindhastighet och –riktning.

Riskerna på grund av föroreningar från slaggruset i infångat damm verkar i det föreliggande fallet ha överskattats något i den föregående riskbedömningen som gjordes utifrån beslutsstödet. Blöt väderlek och/eller vätning av slaggrus verkar vara en effektiv åtgärd mot damning. Kunskapsläget kring askors och traditionella anläggningsmaterials damningsbenägenhet och de resulterande miljö- och hälsoriskerna i anläggningsarbeten bör förbättras.

Beslutsstödet upplevs som ett fungerade och ett viktigt underlag för att underlätta återvinning av slaggrus i anläggningsarbete. Det behöver uppdateras och utvecklas för att bli ännu mer användbart.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.