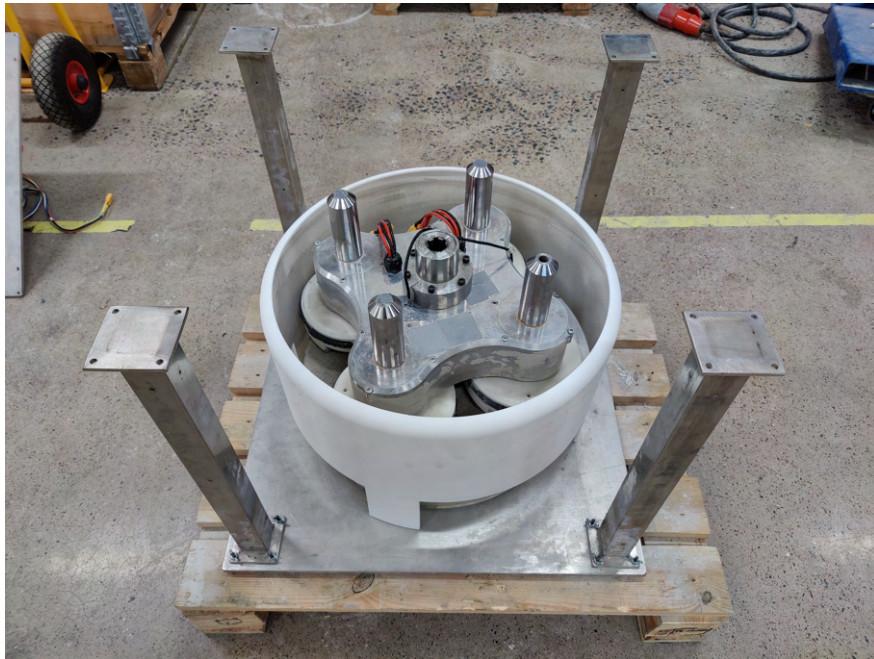




CHALMERS



Utveckling av damm- och partikelhantering till autonom golvslip

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Wilma Andersson
Gideon Skogberg

Institutionen för industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2023

Utveckling av damm- och partikelhantering till autonom golvslip

Wilma Andersson

Gideon Skogberg



CHALMERS

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Avdelningen för produktutveckling

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

Utveckling av damm- och partikelhantering till autonom betongslip
Wilma Andersson
Gideon Skogberg

© Wilma Andersson, Gideon Skogberg, 2023.

Handledare: Göran Gustafsson, Industri- och materialvetenskap
Examinator: Lars Almfelt, Industri- och materialvetenskap

Examensarbete 2023
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Avdelningen för produktutveckling
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Prototypmaskin med 3D-skriven kåpa delvis monterad i testrigg.
Skapad i L^AT_EX
Publicerad av Chalmers ODR
Göteborg, Sverige 2023

Förord

Rapporten *Utveckling av damm- och partikelhantering till autonom golvslip* är resultatet av ett examensarbete utfört under våren 2023 vid institutionen för industri- och materialvetenskap vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och utgör det avslutande momentet för en högskoleingenjörsexamen inom programmet maskinteknik. På uppdrag av företaget Husqvarna Construction har funktionen att hantera damm och partiklar vid slipning av betonggolv med en autonom golvslip undersökts.

Vi skulle vilja tacka vår handledare på Chalmers, Göran Gustafsson, för all hjälp och goda råd från projektets start till slut, det har varit till stor hjälp.

Vi vill även tacka vår handledare på Husqvarna Construction, Carl Folkesson, för allt stöd och vägledning, men även för möjligheten att utföra detta examensarbete.

Till sist vill vi även tacka övriga anställda på Husqvarna Construction som bidragit med betydelsefull information som har gjort detta examensarbete genomförbart.

Wilma Andersson & Gideon Skogberg, Göteborg, juni 2023

Sammanfattning

Slipade betonggolv blir allt vanligare både i industrilokaler och i hem. Slipning är en metod för att få ett slitstarkt, hållbart och jämnt betonggolv. Processen är dock både tidskrävande och påfrestande för operatören, som utsätts för oljud, vibrationer och damm under lång tid. En autonom golvslip skulle göra det möjligt att få bort operatören från den påfrestande miljön och dessutom skulle den sänka kostnaden för metoden. Husqvarna Construction tillverkar maskiner och verktyg för professionella användare och är ledande inom diamantverktyg. Nu ämnar de utveckla området golvslipar med idén om en självgående, autonom, golvslip vilket är något som ännu inte finns på marknaden. Detta examensarbete syftar till att hitta en lösning för damm- och partikelhantering vid slipning av betonggolv med en autonom golvslip.

Arbetet påbörjades med intervjuer och undersökning av befintliga produkter på marknaden för att få en god förståelse för och inblick i problemet. Därefter genererades ett flertal idéer till lösningar och sedan eliminerades successivt sämre alternativ tills ett koncept återstod. Det utvärderades sedan med hjälp av 3D-modeller och en 3D-utskrivna prototyp tillsammans med befintlig testutrustning och en prototypmaskin.

Resultaten från testerna av konceptet jämfördes med en liknande tidigare mätning gjord av Damm- och slamavdelningen på Husqvarna Construction, då ett objektiskt referensvärde saknas. I denna jämförelse framkom det att nivåerna av dammpartiklar var högre för det framtagna konceptet jämfört med den produkt Husqvarna använt under testet. Konceptet bedöms dock vara en välgrundad lösning efter fortsatt utveckling.

Sökord: Betonggolv, autonom golvslip, Husqvarna, betongslip, golvslip, autonom

Abstract

Polished concrete floors are becoming increasingly common in industrial premises and in homes. Grinding is a method to achieve a durable, sustainable and consistently smooth flooring solution. However, the process is time-consuming and demanding for the operator, who is exposed to noise, vibrations, and dust for extended periods of time. An autonomous concrete grinder would eliminate the operator from this demanding environment and moreover reduce the cost of the method. Husqvarna Construction manufactures machinery and tools for professional users and is a leader in diamond tools for grinding, cutting, and drilling. They intend to develop the field of floor grinding with the concept of an autonomous floor grinder, something which does not currently exist on the market. This thesis project aims at finding a solution for dust and particle management during the grinding of concrete floors using an autonomous floor grinder.

The work was initiated with interviews and an investigation of existing products on the market to gain a good understanding of and insight into the problem. Subsequently, multiple ideas for solutions were generated, and then progressively inferior alternatives were eliminated until only one concept remained. It was evaluated using 3D models and a 3D-printed prototype, along with existing testing equipment and a prototype machine.

The results of the concept testing were compared to a similar previous measurement conducted by the Dust and Slurry division at Husqvarna Construction, as an objective reference value is lacking. In this comparison, it was revealed that the levels of dust particles were higher for the developed concept compared to the product Husqvarna used during the test. However, the concept is considered a well-founded solution after further development.

Keywords: Concrete floor, autonomous floor grinder, Husqvarna, concrete grinder, floor grinder, autonomous

Innehållsförteckning

1	Inledning	2
1.1	Bakgrund	2
1.1.1	Miljöaspekt	2
1.2	Syfte	3
1.3	Precisering av frågeställningen	3
1.4	Avgränsningar	3
2	Metod	4
2.1	Insamling av information	4
2.1.1	Intervjuer	4
2.1.2	Befintliga lösningar	4
2.1.2.1	Dammutsug	5
2.1.2.2	Våtslipning	5
2.1.2.3	Kåpa	6
2.1.2.4	Elektrostatisk dammuppsamling	7
2.2	Kravspecifikation	8
2.3	Funktionsanalys	9
2.4	Konceptgenerering	10
2.4.1	Generering av lösningskoncept	10
2.4.2	Konceptkatalog	12
2.5	Eliminering och resulterande lösningar	14
3	Vidareutveckling	16
3.1	Utrustning och upplägg	16
3.1.1	Prototyp och testrigg	16
3.1.2	Mätverktyg	19
3.1.3	Testning i riggen	20
4	Resultat	22
4.1	Utgångsläge	22
4.2	Testkörningar	23
4.3	Jämförelse med andra mätningar	25
4.4	Slutgiltigt koncept	26
5	Slutsats & diskussion	27
	Referenser	28
	Bilagor	

1

Inledning

Detta kapitel förklarar bakgrunden till examensarbetet samt vilket syfte och avgränsningar arbetet har. Därtill preciseras de frågeställningar som arbetet ämnar svara på.

1.1 Bakgrund

Husqvarna Construction, en del av Husqvarna Group, är en tillverkare av verktyg och maskiner för professionella användare inom byggbranschen. De är ledande inom diamantverktyg för kapning, slipning och borrar, och har ett brett produktsortiment inom allt från rivningsrobotar till batteridrivna sågar. Inom området golvslipar ämnar de expandera. Slipning av betonggolv är en växande bransch och det finns många fördelar med att slipa jämfört med att behandla golvet med betonglack eller epoxyfärg, som är de traditionella metoderna. Golven blir dammfria, släta, får estetiska kvaliteter, kräver betydligt mindre kemikalier, och ytan har en mycket lång livslängd. Att använda en golvslip, oavsett storlek, kan dock vara påfrestande för både operatören och omgivningen, och dessutom arbetsdrygt. Vibrationer, damm, oljud, och en överlag långsam och monoton process gör metoden mindre attraktiv jämfört med att måla, och därför skulle en autonom maskin bidra med två starka fördelar. Den skulle få bort operatören från maskinens direkta närhet, men även sänka kostnaden för metoden, då personalkostnaden är en av de största utgifterna då man slipar ett golv. Den sänkta kostnaden skulle sedan i sin tur leda till förbättrad konkurrenskraft hos metoden, och på så vis en ökad marknadsandel för golvslipning.

1.1.1 Miljöaspekt

Även om betong har en välkänd och relativt hög miljöpåverkan är betonggolv ett exempel på ett användningsområde där få andra material är bättre lämpade. Det finns få substitut för betong som byggnadsmaterial [1] för grunder och golv inom industrin, och eftersom man nästan helt kan undvika att använda kemikalier och icke-förnyelsebara material såsom epoxyplast vid slipning finns det stora miljömässiga vinster att göra. Den initiala kostnaden för att slipa golvet är idag högre jämfört med att behandla samma golv med epoxyfärg, men under golvets och byggnadens livslängd så kommer både kostnader och miljöpåverkan vara avsevärt lägre. Både energianvändning och total miljöpåverkan över tid är mer än en faktor 100 lägre för slipade betonggolv jämfört med epoxygolv, och dessutom görs långsiktigt stora ekonomiska vinningar tack vare det kraftigt minskade behovet av underhåll [2].

1.2 Syfte

Ett antal prototyper för den autonoma golvslipen finns redan, men med avsaknad av damm- och partikelhanteringsfunktioner som maskinerna skall utrustas med. Syftet med detta examensarbete är att hitta en lösning till dammhanteringen vid slipning av betonggolv med en autonom golvslip. Lösningen måste vara kompatibel med andra ingående komponenter som batterier och sensorer, och utformningen av den kommer att påverka hur hela maskinen är uppbyggd. Arbetet kommer att utföras genom konceptgenerering och utvärdering och kommer att resultera i CAD-filer eller ritningar som innefattar det slutgiltiga konceptet samt slutsatser om dammhanteringen.

1.3 Precisering av frågeställningen

För att utveckla komponenter till maskinen måste hänsyn tas till flera olika frågor. Vilka standarder gällande säkerhet, användbarhet och miljöpåverkan kommer maskinen att behöva uppfylla, och hur påverkar det vår detalj? Vilken utformning krävs för att undvika eller minimera inverkan på funktionen hos närliggande sensorer och andra komponenter? Hur skall den interagera med de andra ingående systemen? Hur skall dammet hanteras? Vilken utformning är lämplig för ändamålet? Dessa frågor ämnar arbetet att svara på.

1.4 Avgränsningar

Projektet kommer inte att behandla serieproduktion och tillverkningsmetoder av produkten eller några ingående komponenter. Funktionaliteten och integreringen av system såsom sensorer, batterier och dammhanteringsaggregat bortom deras direkta påverkan på vår monteringsenhet lämnas åt respektive systems ansvarige. Ritningarna och modellerna som framställs är att betraktas som ett steg i utvecklingsprocessen, och inte fulländade konstruktionsritningar. Eftersom projektet är förlagt på primärutvecklingsavdelningen och kundbehovsanalyser görs på annat håll så kommer slutanvändarens behov och önskemål inte heller att ägnas mycket tid och resurser. Som kund betraktas istället själva Husqvarna Construction, och deras sakkunniga bistår med underlaget till projektet.

2

Metod

I följande kapitel beskrivs de metoder och tillvägagångssätt som har applicerats för att uppnå slutresultatet. Dessutom ges ytterligare bakgrund till golvslipningsmaskiner.

2.1 Insamling av information

För att få en överblick över situationen inleddes projektet med en förstudie där information samlades in på diverse sätt, vilka är beskrivna i följande delkapitel. Den information som samlas in ligger till grund för de krav som ställs på produkten och de beslut som kommer att tas senare i projektet.

2.1.1 Intervjuer

Som en del av teamet på primärutvecklingsavdelningen utgjordes en stor del av arbetet med informationsinsamlingen av att sätta sig in i problemet och förstå var i utvecklingsprocessen projektet befinner sig. Intervjuer och möten hölls med experter inom olika områden som dammhantering och stoftavskiljare vilket gav betydelsefulla insikter i problemet.

2.1.2 Befintliga lösningar

För att få en förståelse för hur nuvarande golvslipar hanterar problemet med att samla upp damm har en marknadsundersökning av befintliga produkter gjorts. Att ha en god förståelse för hur problemet hanteras idag är viktigt när det kommer till produktutveckling då befintliga lösningar kan ge en bra grund för konceptgenerering men även ge upphov till nya idéer. Nedan beskrivs de mest förekommande lösningarna på problemet idag. Dessa kommer inte att kunna appliceras direkt då hänsyn till att konceptet är autonomt måste tas, men de ger en grund till möjliga lösningar. De huvudsakliga ingående funktionerna eller delarna i maskinen som arbetet berör presenteras nedan under egna rubriker.

2.1.2.1 Dammsug

I princip alla golvslipar på marknaden använder sig av en extern dammsugare, eller stoftavskiljare, för att hantera betongdammet som uppstår vid "torr" slipning. Dessa fungerar i princip som vanliga hushållsdammsugare och har en slang som kopplas fast i golvslipmaskinerna, se figur 2.1. Operatören flyttar på slangen allteftersom golvslipen körs, och tömmer uppsamlingsbehållaren då den är full. Hur ofta det behöver ske varierar mycket beroende på betongens egenskaper, slipverktygens grovhet och maskinen i fråga.



Figur 2.1: Golvslip med dammsugare ansluten

2.1.2.2 Våtslipning

Våtslipning har vissa fördelar jämfört med att slipa torrt, och för att möjliggöra vattentillförseln används endera direkt vattenanslutning med slang, eller en tank som golvslipen bär med sig internt. Pumpar matar sedan vatten till munstycket som sprayar en vattendimma, vilket minskar både dammbildning och friktionen mellan golv och slipverktyg. Minskad friktion bidrar till mindre risk för att verktygen överhettas och slits ut i förtid, men slammet som lämnas kvar på golvytan är besvärligt att rengöra. I vissa fall är det inte heller önskvärt att blöta ned ytan och omgivningen, och torktiden kan orsaka förseningar.



Figur 2.2: Golvslipmaskin med intern vattentank, modell Scan Combiflex 500PD

2.1.2.3 Kåpa

För att medge ett effektivt utsug, och av säkerhetsskäl, så har nästan alla slipmaskiner på marknaden en kåpa av något slag. Kåpan täcker själva sliphuvudet på maskinen, se figur 2.3a och 2.3b. I denna fästs ofta utsugskopplingar och spraymunstycken för våtslipning. En borstlist eller gummlist används för att tätat gapet mellan golv och kåpa, och har den i vissa fall önskvärda funktionen att röra upp dammet så att det sedan kan sugas upp.



(a) Golvslipmaskin modell Husqvarna HTC T6



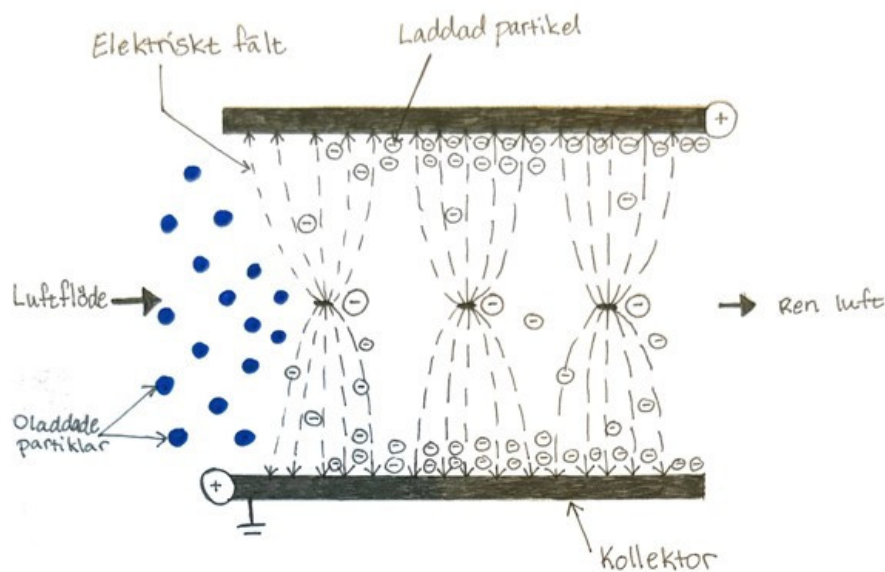
(b) Vy underifrån, spraymunstycke i mitten ovanpå kåpan

Figur 2.3: Exempel på golvslipmaskin med kåpa, borstlist och även spraymunstycke för våtslipning

2.1.2.4 Elektrostatisk dammuppsamling

Ytterligare en metod för att samla upp damm är med hjälp av elektrostatiska filter. Funktionsprincipen grundar sig i statisk elektricitet, den smutsiga luften leds mellan två laddade elektroder (ofta i form av plattor) och de laddade partiklarna fastnar på den positiva elektroden, se figur 2.4, varifrån de sedan samlas upp [3]. Tekniken är vanligt förekommande inom processindustrin, där den används för både dammuppsamling och rökgasrening i stora anläggningar.

Partiklarna från betongslipning är dock ofta för stora för att effektivt kunna samlas upp med denna metod. Av dammet som bildas är de flesta partiklarna i storleksordningen 10-100 mikrometer [4], även om medianstorleken är runt 11 mikrometer [5]. Elektrostatiska filter används främst för mindre partiklar, maximalt uppåt 5-10 mikrometer anses gångbart [6], och även om det är dessa mindre partiklar som är mest hälsovådliga [7] så anses metoden inte lämplig för att behandlas vidare i arbetet. Metoden skulle ändå behövt användas tillsammans med andra dammuppsamlingslösningar, låg eller ingen kompetens inom området finns att tillgå, och att tillämpa tekniken på ett autonomt, batteridrivet fordon anses för komplext för detta arbetes omfång. Därför kommer metoden inte att behandlas vidare i detta arbete, även om den kan vara intressant i framtiden.



Figur 2.4: Funktionsprincipen för ett elektrostatiskt filter

2.2 Kravspecifikation

För att uppnå en lyckad konceptgenerering skapades en kravspecifikation, se figur 2.5. Ett dokument som tydligt definierar vad som förväntas av den slutgiltiga produkten. Kravspecifikationen är framställd med hjälp av de intervjuer som gjorts och information från befintliga lösningar. Kriterierna delas in i krav (K) och önskemål (Ö), önskemålen viktas även på en skala från 1-5, där en femma är mest önskvärd. Detta dokument kommer att ligga till grund för de koncept som tas fram samt som validering för måluppfyllnad av det slutgiltiga konceptet.

Chalmers	Dokumenttyp	Kravspecifikation				
	Projekt	Dammhanteringssystem till autonom golvslip				
Utfärdare:		Skapad: 2023-03-01				
Wilma Andersson, Gideon Skogberg		Modifierad: 2023-05-26				
Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)	
Funktion/er			1-5			
	Hantera damm vid slipning av betonggolv	K		Test	Kund	
1. Prestanda						
1.1	Kompatibel med autonom golvslip	Ja	K	Test	Husqvarna	
1.2	Uppsamling av damm <i>Främst applicerbart vid torslipning, dessutom kan vissa lösningar kan även ha extern uppsamling</i>	>0,75 kg/min <i>Uppskattat värde av hur mycket maskinen avverkar</i>	K	Test	Husqvarna	
1.3	Minimera flygdamm <i>Krävs för att operatörer skall få vistas runt maskinen. Mäts i luften kring maskinen då den är i drift</i>		Ö	5	Test	Husqvarna
1.4	Ljudnivå	<110 dB	Ö	4	Test	Projektgrupp
1.5	Energibehov	< 900 W	Ö	4	Test	Projektgrupp
2. Miljö						
2.1	Återvinningsbart material	>=80% <i>Viktprocent</i>	Ö	4	Granta EduPack	Projektgrupp
2.2	Återvunnet material	>=50% <i>Viktprocent</i>	Ö	3		Projektgrupp
3. Livslängd						
3.1	Livslängd	>=5 år <i>Vid normalt, professionellt bruk</i>	K		Test	Husqvarna
3.2	Livslängd	>=10 år <i>Vid normalt, professionellt bruk</i>	Ö	3	Utmattningsprov	Husqvarna
4. Underhåll						
4.1	Lätt att reparera <i>Reparation av produkten ska kunna utföras smidigt och fort vid service. Detta innebär lätt åtkomst till utbytbara delar.</i>		Ö	5	Utvärdering	Projektgrupp
4.2	Går att underhålla med vanliga verktyg <i>Fördel för kunden</i>		Ö	2	Utvärdering	Projektgrupp
5. Storlek						
5.1	Längd <i>För att passa på EU-pall</i>	< 1200 mm	Ö	2	Mått	Projektgrupp
5.2	Bredd <i>För att passa på EU-pall</i>	< 800 mm	Ö	2	Mått	Projektgrupp
5.3	Höjd	< 600 mm	Ö	1	Mått	Projektgrupp
6. Massa						
6.1	Komponentens massa <i>Operatörer bör ej lyfta mer än 25 kg enligt Arbetsmiljöverket, det gäller totala massan för maskinen</i>	< 10 kg	K		Test	Projektgrupp
7. Standarder och lagkrav						
7.1	Flygdamm <i>Krävs för att operatörer skall få vistas runt maskinen. Mäts i luften kring maskinen då den är i drift</i>	Ej högre mängd än uppmätta värden på andra Husqvarna produkter*	Ö	4	Test	Husqvarna

Figur 2.5: Kravspecifikation

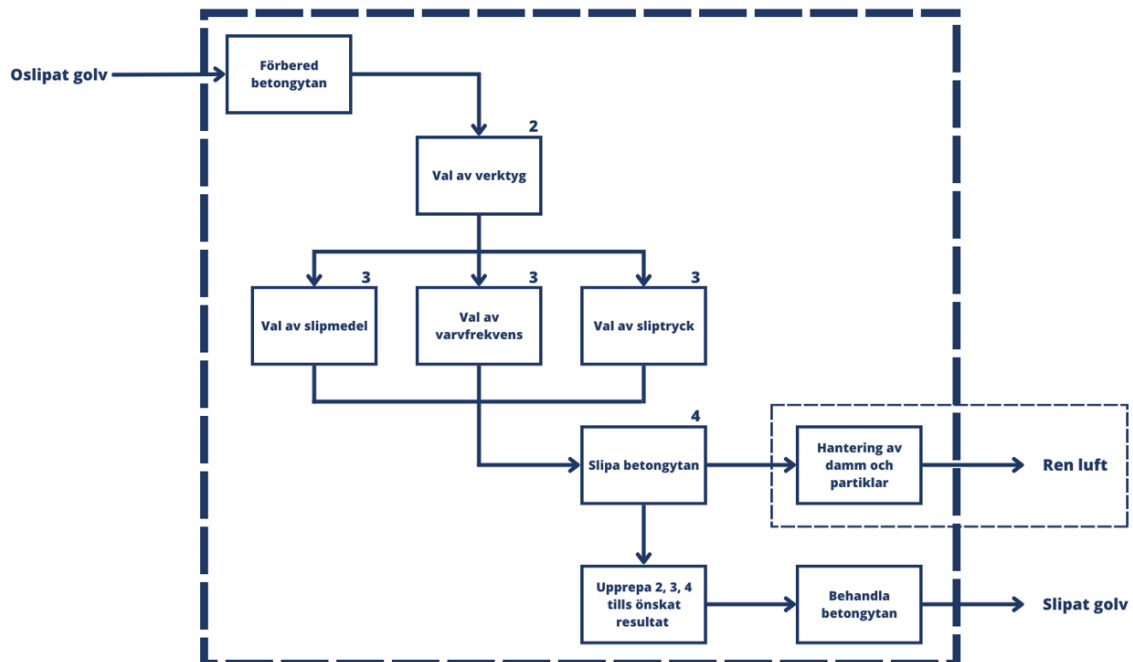
*Projektgruppen har fått ta del av insamlad mätdata från tester av andra produkter som kommer att ligga till grund för beslut om uppfyllande.

2.3 Funktionsanalys

För att få en förståelse för hur de olika delarna är sammankopplade och hur de påverkar varandra i processen vid slipning av betonggolv gjordes en funktionsanalys i form av en flödesmodell. I en flödesmodell presenteras funktionerna i en process i kronologisk ordning, på så vis utelämnas ingen funktion. Därmed kunde potentiella hinder vid förändring av en funktion i processen identifieras.

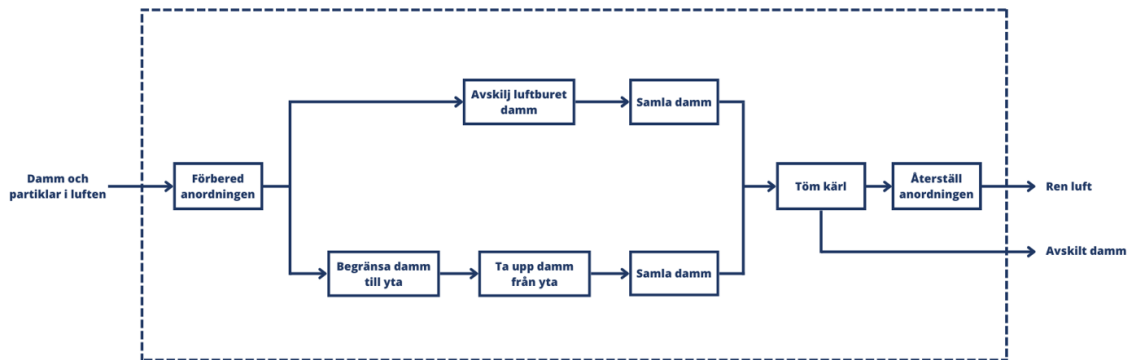
I figur 2.6 är processen för slipning av betong beskriven i sin helhet. Processen börjar med att förbereda betongytan som ska slipas, här tas lösa partiklar bort, eventuella beläggningar slipas bort och ytan rengörs. Utifrån ytans struktur, hårdhet och önskad ytfinhet görs ett val av verktyg och hur många omgångar golvet ska slipas. Baserat på verktygsval görs inställningar [8] innan det är dags att slipa. Därefter slipas betongytan och damm och partiklar bildas. Det finns olika kända lösningar på hur dammet och partiklarna hanteras, se delkapitel 2.1.2 Befintliga lösningar. Sedan upprepas steg 2, 3 och 4, se figur 2.6, för att till sist avslutas med en behandling av betongytan.

Den del av processen som examensarbetet ämnar utveckla är markerad med en tunn streckad box. Här syns det tydligt att hanteringen av damm och smuts är sammankopplad med själva slipningen av ytan, och om man skulle ta bort dammhanteringen skulle resultatet förändras negativt.



Figur 2.6: Funktionsflöde för golvslip

Ytterligare en flödesmodell skapades, se figur 2.7, med fokus på enbart damm- och partikelhanteringen för att på så vis identifiera vilka delfunktioner som ingår i processen. Med hjälp av flödesmodellen blev det tydligt att det damm som bildas vid slipning kan delas upp i två olika kategorier, luftburet damm och damm som lägger sig på golvet.



Figur 2.7: Funktionsflöde för damm- och partikelhantering

2.4 Konceptgenerering

Efter att ha analyserat funktionerna och tagit del av befintliga lösningar så togs koncept fram. Funktionerna identifierades enligt figur 2.7, nedan presenteras tillvägagångssättet och hur de olika koncepten har utvärderats.









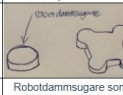
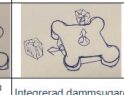

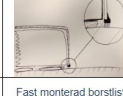


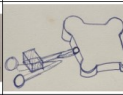
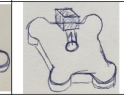


2.4.1 Generering av lösningskoncept

För att komma på lösningar till de identifierade funktionerna i flödesmodellen, se figur 2.7, användes idéer från sakkunniga inom respektive område, tillämpningar av befintliga lösningar tillsammans med metoden Brainstorming. Fem olika brainstormingpass på fem minuter vardera genomfördes av projektgruppen utifrån de fem funktionerna *begränsa damm till yta*, *avskilj luftburet damm*, *ta upp damm från yta*, *samlar damm* och *töm kärl* i flödesmodellen. Brainstormingen genomfördes enligt brainwritingtekniken, vilket innebär att deltagarna individuellt skriver ner eller tecknar sina tankar och idéer. Denna teknik motverkar att gruppen fastnar vid en första idé då alla idéer samlas in innan diskussion påbörjas. Metoden främjar originella och unika idéer då de initiala tankarna hos deltagarna förblir opåverkade av varandra. Brainstormingen resulterade i 18 idéer.

Utifrån dessa lösningar sammanställdes en morfologisk matris, se figur 2.8. Funktionerna från flödesmodellen är presenterade till vänster i figuren, som även är grunden till den morfologiska matrisen, och tillhörande lösningar därefter. Den morfologiska matrisen möjliggör en stor lösningsrymd då varje dellösning av de olika funktionerna kan kombineras med varandra och skapa olika koncept. Exempelvis är kombinationen A2, B1, C3, D1 och E1 en möjlig lösning, dvs. ett koncept. Utifrån matrisen finns det 378 olika matematiska möjliga kombinationer. Alla är dock inte

2. Metod




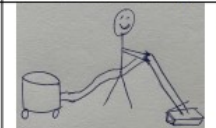
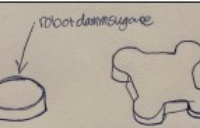

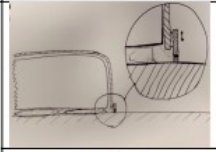



möjliga att utföra i verkligheten på grund av diverse orsaker som diskuteras längre ner i rapporten.

			Lösningar							
			1	2	3	4	5	6	7	
Funktionser	Avskilj luftburet damm	A								
			Extern vattenspridare med fast anslutning	Intern vattentank med fast spraymunstycke framför siphuvudet	Vattenspridare uppe på maskinen	Vattenspridare på sidorna av maskinen	Vattenspridare under maskinen	Vattenspridare på tendern	Dammsugare, filtrera luften	
	Samla damm	B								
			Manuellt, dammsugare	Robotdammsugare som hänger efter	Integrerad dammsugare					
	Begränsa damm till yta	C								
		Borstlist "flytande" runt siphuvudet	Fast monterad borstlist runt siphuvudet	Fast monterad gummlist runt siphuvudet						
Ta upp damm från yta	D									
		Intern dammsugare med uppsamling ombord	Utsug bak på maskinen	Utsug uppe på maskinen						
Tom kärl	E									
		Påse	Löstagbar intern behållare							

Figur 2.8: Morfologisk matris

2.4.2 Konceptkatalog

För att förenkla processen att ta fram koncept grupperades flera av lösningarna i figur 2.8. Lösningarna med spraymunstycke grupperades då det enda som skiljde dem åt var deras respektive placering. Även lösningarna till *begränsa damm till yta* grupperades då alla bestod av en borstlist. Likaså grupperades lösningarna till *ta upp damm från yta* då dessa lösningar innefattade en intern dammsugare och det enda som skiljde dem åt var placering av utsug. Detta resulterade i 18 möjliga kombinationer, se figur 2.9.

			Lösningar		
			1	2	3
Funktioner	Avskilj luftburet damm	A			
			Extern vattenspridare med fast anslutning	Intern vattenspridare	Dammsugare, filtrera dammet
	Samla damm	B			
			Manuellt, dammsugare	Robotdammsugare som hänger efter	Integrerad dammsugare
	Begränsa damm till yta	C			
			Borstlist		
	Ta upp damm från yta	D			
			Intern dammsugare med uppsamling ombord		
	Töm kärl	E			
			Påse	Löstagbar intern behållare	

Figur 2.9: Morfologisk matris efter gruppering

2. Metod

Utöver att vissa lösningar grupperades är inte alla kombinationer av lösningar möjliga. Då en manuell dammsugare eller robotdammsugare används som lösning för funktionen *samla damm* är lösningen till funktionen *ta upp damm från yta* redan uppfyllt, vilket illustreras med "-" i tabell 2.1. Vid användning av vatten är uppsamling av dammet i en påse inte möjligt. Detta ledde till 12 koncept som presenteras i tabell 2.1.

	Delfunktioner				
	Avskilj luftburet damm	Samla damm	Begränsa damm till yta	Ta upp damm från yta	Töm kärl
Koncept 1	Extern vattenspridare	Manuell dammsugning	Borstlist	-	Löstagbar behållare
Koncept 2	Extern vattenspridare	Robotdammsugare	Borstlist	-	Löstagbar behållare
Koncept 3	Extern vattenspridare	Integrerad dammsugare	Borstlist	Intern dammsugare	Löstagbar behållare
Koncept 4	Intern vattenspridare	Manuell dammsugning	Borstlist	-	Löstagbar behållare
Koncept 5	Intern vattenspridare	Robotdammsugare	Borstlist	-	Löstagbar behållare
Koncept 6	Intern vattenspridare	Integrerad dammsugare	Borstlist	Intern dammsugare	Löstagbar behållare
Koncept 7	Dammsugare, filtrera dammet	Manuell dammsugare	Borstlist	Intern dammsugare	Påse
Koncept 8	Dammsugare, filtrera dammet	Manuell dammsugare	Borstlist	Intern dammsugare	Löstagbar behållare
Koncept 9	Dammsugare, filtrera dammet	Robotdammsugare	Borstlist	Intern dammsugare	Påse
Koncept 10	Dammsugare, filtrera dammet	Robotdammsugare	Borstlist	Intern dammsugare	Löstagbar behållare
Koncept 11	Dammsugare, filtrera dammet	Integrerad dammsugare	Borstlist	Intern dammsugare	Påse
Koncept 12	Dammsugare, filtrera dammet	Integrerad dammsugare	Borstlist	Intern dammsugare	Löstagbar behållare

Tabell 2.1: Konceptkatalog

2.5 Eliminering och resulterande lösningar

Då målet är att presentera ett återstående koncept i slutet av rapporten undersöktes möjligheten av ytterligare eliminering, vilket resulterade i tillämpning av en elimineringsmatris. Elimineringssmatrisen utgår från de krav som är ställda på produkten och som framgår av kravspecifikationen, se figur 2.5. Konzepten utvärderas med avseende på varje krav, där de som uppfyller alla krav behålls medan de som inte uppfyller alla krav förkastas, se figur 2.10.

Då en av grundbultarna i detta projekt är att automatisera ett arbetsmoment, och minska behovet av en operatör så ansågs de koncept som innehöll manuella arbetsmoment som inkompatibla med en autonom golvslip. Det resulterade i att fyra koncept eliminerades.

	Uppfyllande av kravspecifikation				Beslut
	Hantera damm vid slipning av betonggolv	Kompatibel med autonom golvslip	Uppsamling av damm, 0,75 kg/min	Livslängd, 5 år	
Koncept 1	Ja	Nej			Förkasta
Koncept 2	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Koncept 3	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Koncept 4	Ja	Nej			Förkasta
Koncept 5	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Koncept 6	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Koncept 7	Ja	Nej			Förkasta
Koncept 8	Ja	Nej			Förkasta
Koncept 9	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Koncept 10	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Koncept 11	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Koncept 12	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll

Figur 2.10: Elimineringssmatris

Även koncepten som inkluderade lösningen robotdammsugare eliminerades, då detta skulle medföra en ytterligare produkt i slipningsprocessen, något som önskades undvikas eftersom en mer komplex process ansågs inskränka på komabilitetskravet i kravspecifikationen. Den största funktionella skillnaden mellan de åtta kvarstående koncepten är inom avskiljningen av luftburet damm. De två huvudspåren är att antingen använda sig av en dammsugare som med hjälp av undertryck suger upp dammet, eller att med hjälp av en fin vattendimma få dammpartiklarna att falla ur luften och lägga sig på golvet, där de senare kan samlas upp. De två lösningarna lämpar sig bättre för torr- respektive våtslipning, och kanske inte hanterar den andra slipmetoden så väl.

På grund av tidsbrist och bristande kompatibilitet med den befintliga testriggen så eliminerades sedan även de koncept som använde sig av vattenspridare, vilket är koncept 2, 3, 5 och 6. Dessa koncept är dock fortfarande av intresse för vidareutveckling, inte minst när det kommer till den dubbelverkan som man får vid våtslipning, men kommer inte att behandlas i detta arbete. Detta innebär att endast koncept 11 och 12 återstår och tas till vidareutveckling och testning.

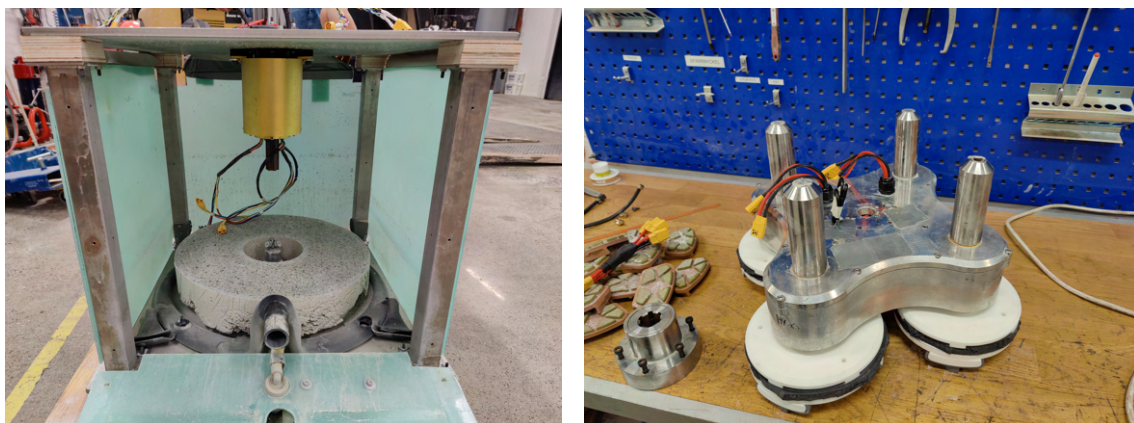
3

Vidareutveckling

I följande kapitel beskrivs utrustning och tillvägagångssätt för de tester som gjorts för att vidareutveckla slutkoncepten.

3.1 Utrustning och upplägg

De slutgiltiga koncepten med dammsugare som lösning för att samla damm utvärderades sedan vidare med hjälp av testtriggen och prototypmaskinen, se figur 3.1, samt mätutrustning som fanns att tillgå från Damm- och slamavdelningen på Husqvarna Construction. I testerna mättes mängden damm i luften med en partikelmätare för att bestämma vilken nivå av dammsugareffekt som krävdes för att komma ner till en tillfredsställande nivå av luftburet damm. Den enda skillnaden mellan koncept 11 och 12 är hur uppsamlingskärlet töms, löstagbar behållare eller påse, och för att utvärdera den delfunktionen gjordes en bedömning vid ett senare tillfälle.



(a) Testtriggen med provbit i betong

(b) Prototypmaskinen på arbetsbänken

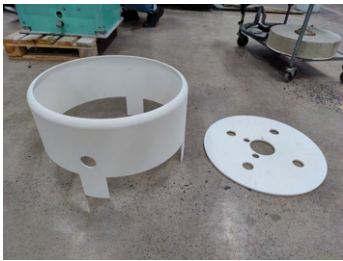
Figur 3.1: Testtrigg och befintlig prototypmaskin, båda byggda på primärutvecklingsavdelningen

3.1.1 Prototyp och testtrigg

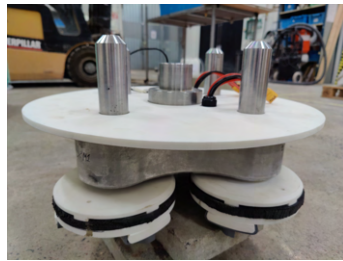
För att utvärdera hur pass väl en dammsugare hanterar det damm som genereras konstruerades och tillverkades en kåpa, figur 3.2a, som täckte prototypmaskinen, figur 3.2b och 3.2c. Till den kåpan kopplades en av de vanliga dammsugarna, eller stoftavskiljarna, som brukar användas vid golvslipning. På grund av den befintliga

3. Vidareutveckling

prototypmaskinens och testtriggens utformning fick kåpan som täckte maskinen dock anpassas. Till exempel gick inte borst- eller gummilister att använda då provbiten med betong (figur 3.1a) var något mindre än själva prototypmaskinen, listerna hade hamnat i luften. Dessutom fick kåpan konstrueras i två delar för att kunna monteras i riggen, vilket gjorde att den fick en söm som inte var helt tät och lite damm kunde smita ut. Dessa anpassningar kan rimligen antas orsaka en lite större mängd damm i luften. För mått på kåpan, se bilaga 1 och 2. Lägg märke till splineskopplingen som är synlig i centrum ovanpå maskinen, och hålet för dammsugarslangen på sidan av kåpan i 3.2c.



(a) Kåpa tillverkad i två delar



(b) Kåpans lock tillåter rotation

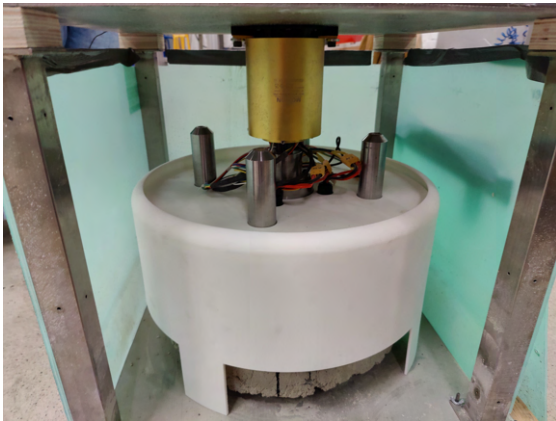


(c) Kåpan fullständigt monterad på maskinen

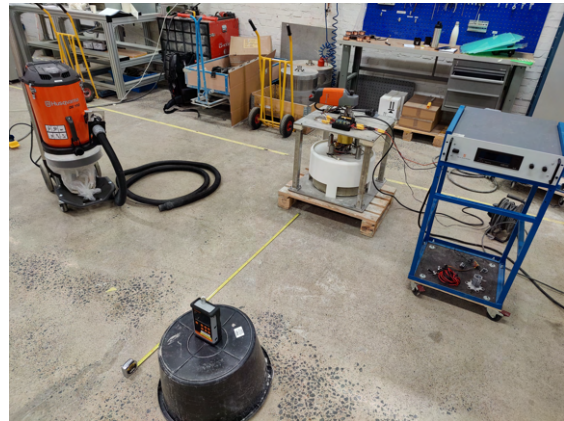
Figur 3.2: Kåpan och hur den monteras på prototypmaskinen

3. Vidareutveckling

Maskinen och kåpan monterades sedan på sin plats inne i testriggen (figur 3.3a), de gröna väggarna som syns i bilden monterades av innan testen utfördes för att ge en mer verklighetstrogen spridning av dammet. Hela testets upplägg går att se i figur 3.3b, där ett spänningsaggregat synligt till höger i bilden driver maskinens fyra motorer (en motor per slipdisk) och en bormatare (Modell AD 10, synlig ovanpå riggen) roterar hela maskinen via en splinesaxel för att efterlikna det rörelsemönster maskinen har i verkligheten då den rör sig över ett betongglov.



(a) Prototypmaskinen inne i testriggen. Släpringen medgör överföring av ström och signaler mellan två roterande komponenter

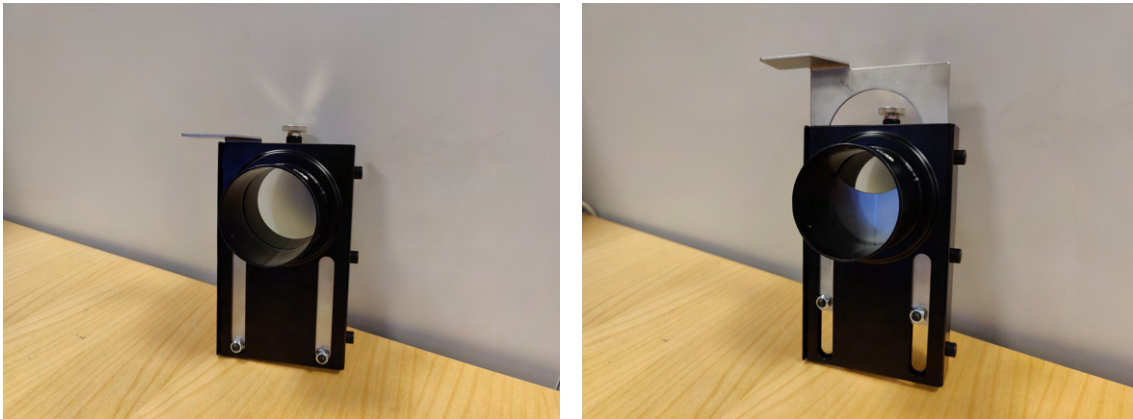


(b) Prototypmaskinen kopplad till spänningsaggregat, dammsugare med strypspjäll och strömmätare på plats i testlokalen

Figur 3.3: Prototypmaskinen och testningens upplägg

3.1.2 Mätverktyg

Ett justerbart spjäll, figur 3.4, användes för att strypa dammsugaren, som annars hade en betydligt högre effekt än vad som var tänkbart för en batteridriven, intern dammsugare. Spjällets position markerades och loggades vid varje test, då detta senare kan användas för att bestämma vilket flöde och undertryck en dammsugare behöver generera för att uppnå tillräcklig verkan.



(a) Spjället fullt öppet

(b) Spjället delvis stängt

Figur 3.4: Justerbart spjäll till dammsugaren. Positionen kan låsas med låsskruvar

För att empiriskt kunna mäta skillnader i mängden luftburet damm, vid olika verkan från dammsugare, användes en partikelmätare (figur 3.5) som loggade antalet partiklar per liter under en testkörning. Partiklar från 0,3 till 10 mikrometer kunde mätas, vilket inkluderar storleken på de mest hälsovådliga partiklarna [5].



Figur 3.5: Partikelmätare modell Temtop PMD 331

3.1.3 Testning i riggen

Testerna utfördes i den så kallade Tegelladan på plats i Jonsered. Varje test inleddes med att en luftrenare, se markering 5 i figur 3.6, sattes igång för att uppnå ett utgångsläge av partiklar i luften. Detta utgångsläge sattes till 2000-6000 0,3 mikrometer stora partiklar per liter, vilket var ungefär samma nivå som kunde uppmätas inne på kontoret. Då partikelmängden i luften var stabil stängdes luftrenaren av och partikelmätaren (markering 3) placerades 1,5 m ifrån testriggen. Spänningsaggregatet (markering 2) ställdes in enligt instruktion och dammsugaren (markering 4) fästes i kåpan och spjället ställdes in på vald nivå, se figur 3.7. Sex olika nivåer av strypning testades och ett test utfördes vid varje nivå.

För att påbörja testet startades dammsugaren och sedan spänningsaggregatet, som drev slipdiskarna på maskinen. Då slipdiskarna var i rotation startades bormataren (markering 1, ovanpå riggen), som roterade hela maskinen i konstant hastighet. Därefter startades partikelmätaren och varje test pågick i fem minuter. Vid avslutat test stängdes först spänningsaggregatet av, sedan bormataren, dammsugaren och till sist partikelmätaren. Hela proceduren upprepades en gång vid varje nivå markerad på spjället, se figur 3.7, och tre gånger helt utan dammsugare inkopplad.



Figur 3.6: Testets upplägg inne i lokalen



Figur 3.7: Markeringar på spjället, 1 är helt öppet, 6 är nästan fullständigt strypt

Vid ett senare tillfälle så upprepades test två för att kontrollera resultaten, men möjligheten att utföra alla tester flera gånger fanns ej, detta på grund av tidsresurser, lokalens tillgänglighet och betongprovbitens livslängd.



Figur 3.8: Spjällets läge vid test 2, halvöppet

4

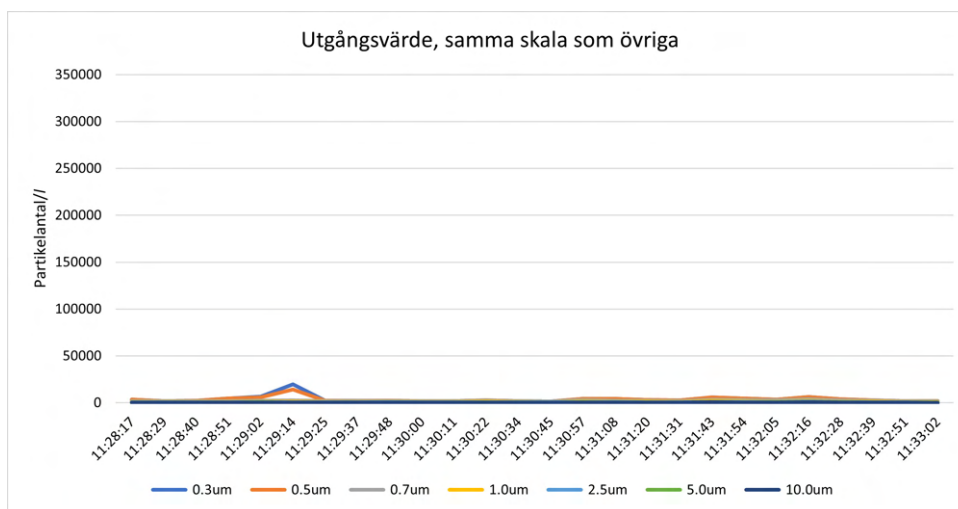
Resultat

Nedan presenteras mätresultatet från testkörningarna och en bedömning av det slutgiltiga konceptets funktion och duglighet. Graferna har alla samma skala (högsta markering på Y-axeln 350 000 partiklar/l) om inget annat specificeras. Var 10:e sekund loggade partikelmätaren ett mätvärde, som är ett medelvärde över den mät-tiden, och klockslagen syns på X-axeln.

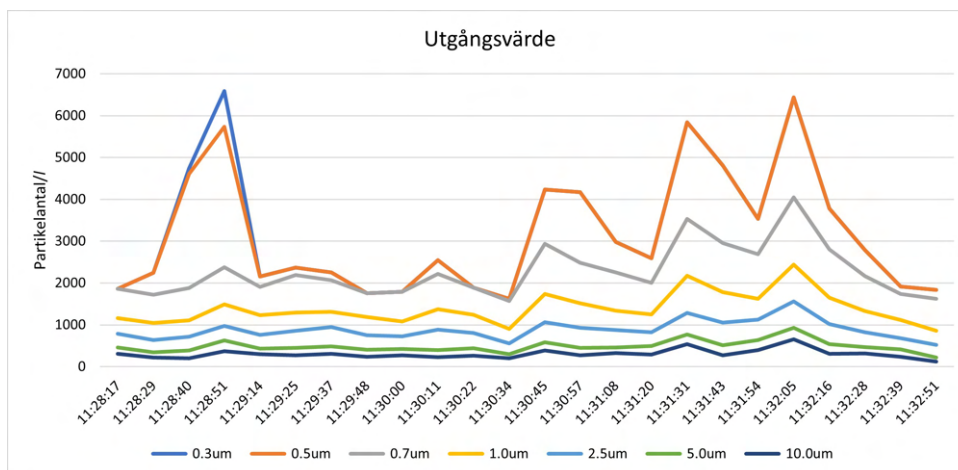
4.1 Utgångsläge

Mellan varje enskild testserie tilläts partikelmängden i luften gå ner till jämviktsläge, uppmätta värden visas grafiskt i figur 4.1 samt 4.2 och ligger alltså på samma nivå som de värden som uppmättes inne på kontoret.

Medeltalet uppmätta partiklar av alla storlekar landade på 12 758/l, och det maximala antalet partiklar i luften som uppmättes var 39 641/l.



Figur 4.1: Partikelmängden vid ett utgångsläge, samma skala som följande grafer



Figur 4.2: Samma värden som i 4.1 fast i förstorad skala

4.2 Testkörningar

För att jämföra mätvärdena mot ett maximivärde så kördes testrigen helt utan dammsugare inkopplad, och på så vis erhöles maximala mätvärden som presenteras nedan i tabell 4.1. Testkörning Max 1 var den första testkörningen, på en helt nygjuten provbit med följaktligen grov ytfinhet, och då bildades så mycket damm att inloppet på mätinstrumentet sattes igen, vilket ledde till den avtagande trenden i partikelmängden som kan ses i bilaga 4 och till det ungefär halverade medeltalet jämfört med testkörning Max 2 och Max 3. Max 2 uppmättes direkt efter Max 1 då partikelmätaren rengjorts, och Max 3 uppmättes som absolut sista test för att säkerställa att den ojämna ytan på den nygjutna provbiten inte påverkade mätresultaten. Mätningarna visade att provbitens ursprungliga ytfinhet inte spelade någon större roll åtminstone rörande partiklar i de mätbara storlekarna.

Testkörning:	Max 1	Max 2	Max 3
Medeltal	778 235	1 515 929	1 470 311
Maximalt antal	1 653 008	1 676 708	1 637 426

Tabell 4.1: Maxvärden för partikelmängd, utförda helt utan dammsugare. Enhet antal/l

4. Resultat

Även med blotta ögat gick det att observera en mycket hög nivå av luftburet damm vid testkörning utan dammsugare, se figur 4.3. Under testerna användes lämplig personlig skyddsutrustning, inklusive andningskydd.



Figur 4.3: Testkörning Max 1

Därefter genomfördes de sex mätningarna, en per nivå av strypning, med dammsugaren inkopplad och spjället justerat enligt figur 3.7, och resultatet presenteras i tabell 4.2 samt i bilagorna 6-12.

Testkörning:	Mätning 1	Mätning 2	Mätning 2, ny	Mätning 3	Mätning 4	Mätning 5	Mätning 6
Medeltal	435 953	1 039 892	237 944	443 084	539 345	714 684	682 676
Maximalt antal	1 487 355	1 654 384	322 332	1 414 232	1 462 773	1 347 282	1 246 222

Tabell 4.2: Medeltal och maximalt uppmätt antal partiklar för mätningarna 1-6. Enhet antal/liter

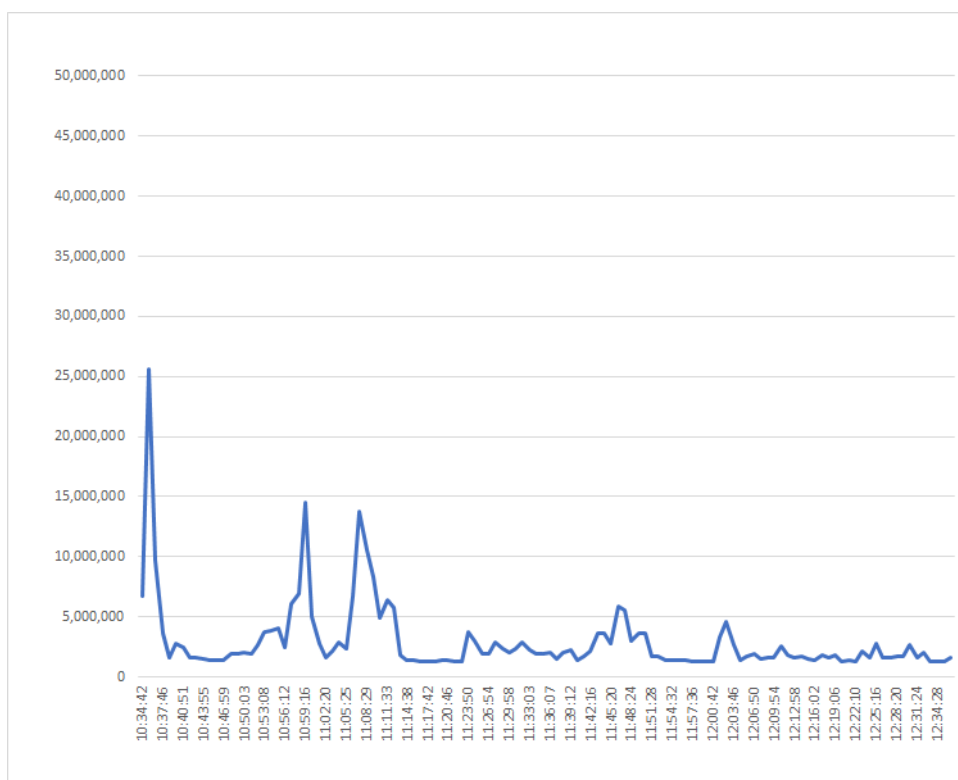
Med dammsugaren inkopplad minskade den synliga mängden damm markant, se figur 4.4, även om de uppmätta nivåerna var fortsatt relativt höga. De minsta partiklarna, som inte syns med blotta ögat, är också de som är mest skadliga då de innehåller en högre andel kristallint kvartsdamm [7] som ger upphov till ett flertal sjukdomar.



Figur 4.4: Mätning 1

4.3 Jämförelse med andra mätningar

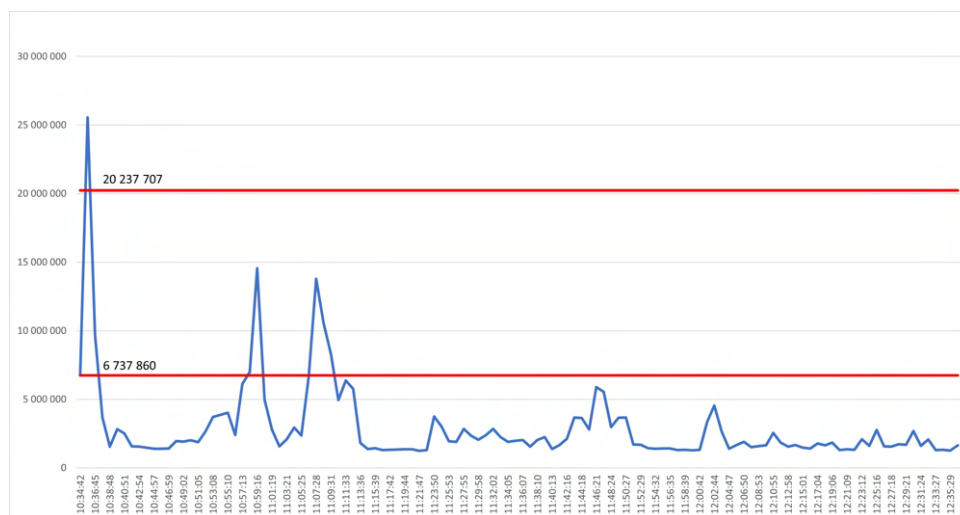
Då ingen skarp gräns för tillfredsställande värden fanns så fick mätvärdena istället jämföras med tidigare mätningar. Den enda mätningen med jämförbart upplägg som fanns att tillgå visas i figur 4.5 och den utfördes i april 2022 av Damm- och slamavdelningen på Husqvarna Construction. Där mättes dammutvecklingen under normal drift av en medelstor traditionell golvslip, med dammsugare inkopplad, vid 1,5 meters avstånd under ungefär två timmars tid med en identisk partikelmätare. Topparna i början av grafen är då dammsugaren stängdes av för att testa utslaget på partikelmätaren.



Figur 4.5: Tidigare mätningar från Damm- och slamavdelningen. Totalt antal partiklar av alla storlekar uppmätta under 2 timmar, enhet antal/kubikfot

Man kan rimligen anta att de tidigare mätningarna skall uppvisa betydligt lägre värden, då de utfördes med beprövade maskiner och med ostrypat dammsugare av större modell.

Omvandlar man de högsta och lägsta medeltalen av de uppmätta värdena från mätningarna i tabell 4.2 till partiklar per kubikfot (som de tidigare mätningarna var gjorda i, 1 kubikfot = 28,317 liter) så erhåller man ett lägsta värde (mätning 2, ny, bilaga 8) på 6 737 860 partiklar/kubikfot och ett högsta värde (mätning 5, bilaga 11) på 20 237 707 partiklar/kubikfot. Det är betydligt högre värden än de tidigare mätningarna, men i samma storleksordning.



Figur 4.6: Högsta och lägsta medelvärde från testerna markerat med röda vågräta streck ovanpå de tidigare mätningarna från Damm- och slamavdelningen, enhet antal/kubikfot

4.4 Slutgiltigt koncept

Som tydligt kan ses av figurerna och tabellerna minskar partikelmängden i luften betydligt vid högre dammsugareffekt, vilket ter sig rimligt. Lösningen är inom ett välkänt område för Husqvarna Construction, och både kompetens samt utrustning för att jobba vidare med batteridrivna dammsugare finns. Dammsugare bedöms således vara en tillämpbar lösning för avskiljningen av luftburet damm till en autonom golvslip. När det gäller tömningen av uppsamlingskärlet, som var den enda skillnaden mellan koncepten som tog sig vidare till vidareutvecklingen, så gjordes bedömningen att en uppsamlingspåse är mindre praktisk och mindre förenlig med miljösträvanden än en löstagbar intern behållare. Det slutgiltiga konceptet för detta arbete är alltså koncept 12 i tabell 2.1.

5

Slutsats & diskussion

Som tydligt kunde ses från resultatet och graferna som finns presenterade i bilagorna så kunde ingen meningsfull slutsats dras om lämplig nivå för dammsugarens utsugseffekt. Under alla mätningar så uppmättes en alltför hög nivå av partiklar, mätningarna var inte stabila och när testen upprepades så var resultatet mycket annorlunda. Mätfelen och osäkerheterna kommer från många källor, såsom lokalens ventilationssystem, dörrar som öppnades och stängdes under pågående test, personal i rörelse, och annan verksamhet i lokalen. Partikelmätaren var under arbetets gång inte heller helt tillförlitlig, och visade emellanåt tydligt felaktiga värden även under nästan helt dammfria förhållanden. Ett bättre förfarande hade även varit att ha flera mätare runt om testriggen, då dammet på grund av luftens rörelse kunde blåsa åt ett eller annat håll. Tiden för varje mätning borde även ökas, fem minuter var inte nog med tid för att uppnå jämviktsläge i en så stor lokal, och efter att vissa tester avslutats så kunde man observera att partikelnivån fortsatte öka ett tag. Flera testserier borde göras för att uppnå ett mera trovärdigt och upprepningsbart resultat. Även testriggens och prototypmaskinens utförande kan ses som en felkälla, då det inte är riktigt representativt för verkligheten när maskinen stillastående slipar samma betongbit hela tiden, och med samma verktyg trots att ytan redan är slipad till den maximala nivå av ytfinhet som går att uppnå med det verktyget. Maskinens vikt, och följaktligen marktrycket var heller inte optimerat för de slipverktyg som användes. Under arbetets gång så har prototypmaskinen, åtminstone i datormodeller, bytt skepnad just för att öka trycket på slipverktygen, vilket är centralt för prestandan hos diamantslipverktyg.

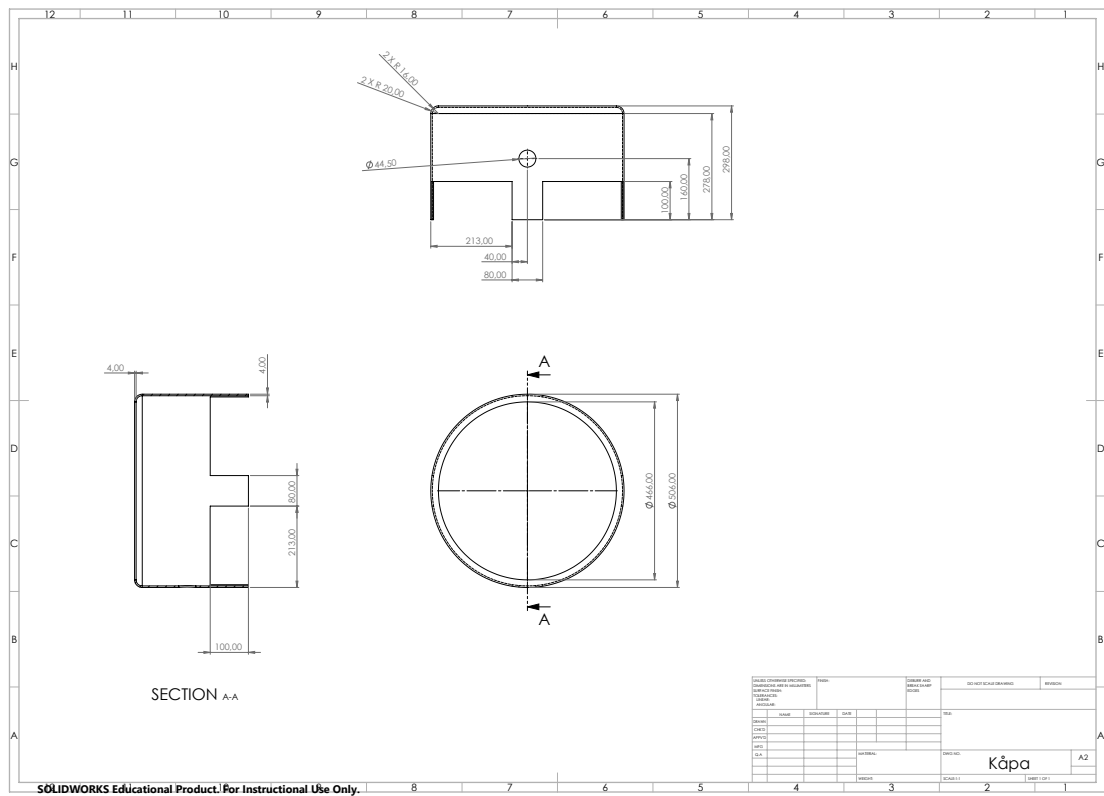
Arbetets slutgiltiga koncept bedöms uppfylla önskemålen som fanns för produkten väl. Underhåll, storlek, livslängd och massa är inte fastslagna men bedöms vara uppnåeliga. Det kan nämnas att ljudnivån torde vara något högre än för lösningen med vattendimma, då en dammsugare nog är mer högljudd än en vattenpump, men eftersom slipningen i sig ger upphov till det mesta av oljudet är detta mindre väsentligt.

Avslutningsvis bör även de uteslutna koncepten nämnas, lösningen med vattendimma som metod att begränsa luftburet damm är högintressant och kanske ännu bättre lämpad för en autonom maskin. Rimligtvis kan man göra antagandet att en sådan lösning också skulle kunna uppfylla kraven och önskemålen. Som tidigare nämnt är det inte alltid acceptabelt eller lämpligt att använda vatten på det sättet på arbetsplatser, men det beror på vartåt branschen utvecklas och om våt- eller torrslipning blir den etablerade metoden.

Referenser

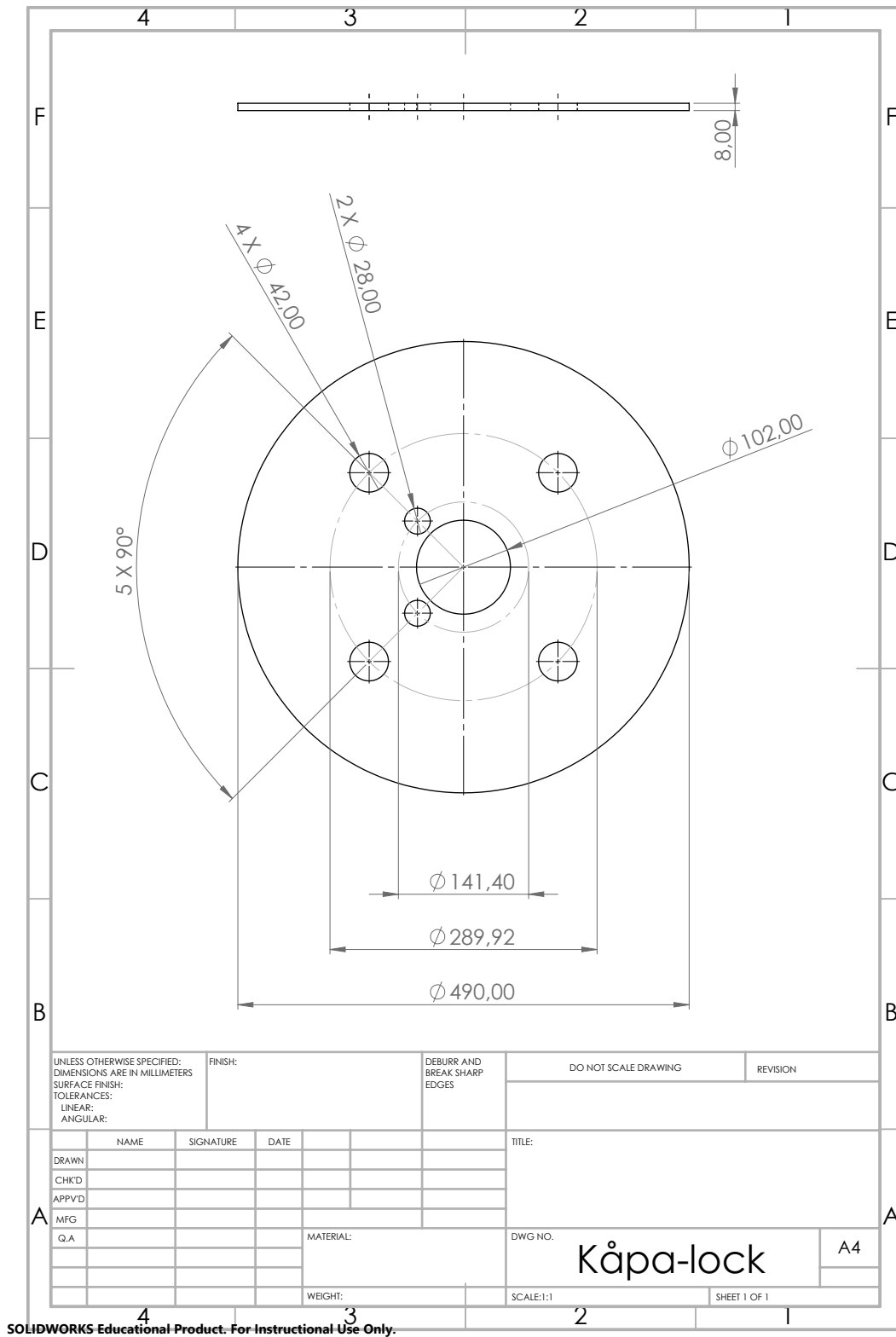
- [1] C. P. UK. “Is polished concrete environmentally friendly?” Concrete Polising UK. (Oct. 2019), Tillgänglig: <https://www.concretepolishing.co.uk/is-polished-concrete-environmentally-friendly/> (Besökt 05/12/2023).
- [2] E. Institute. “Sustainable flooring: The benefits of polished concrete,” Eneref Institute 917.779.8600. (Apr. 2017), Tillgänglig: http://eneref.org/reports/eneref_flooring_polished-concrete.pdf (Besökt 05/12/2023).
- [3] D. Hosansky. “Electrostatic precipitator,” Encyclopædia Britannica, Inc. (Apr. 2021), Tillgänglig: <https://www.britannica.com/technology/electrostatic-precipitator> (Besökt 10/02/2023).
- [4] C. O. Editor. “Controlling concrete dust,” Concrete Sawing & Drilling Association. (Jun. 2019), Tillgänglig: <https://www.concreteopenings.com/editorial/controlling-concrete-dust/> (Besökt 02/13/2023).
- [5] H.-H. Park, E.-S. Hwang, and J.-K. Jang, “0079 characteristics of particle size distribution in concrete finishing work,” *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 74, no. Suppl 1, A21–A22, 2017, ISSN: 1351-0711. DOI: 10.1136/oemed-2017-104636.58. eprint: https://oem.bmj.com/content/74/Suppl_1/A21.3.full.pdf. Tillgänglig: https://oem.bmj.com/content/74/Suppl_1/A21.3.
- [6] B. G. Miller, “Chapter 6 - emissions control strategies for power plants,” in *Coal Energy Systems*, ser. Sustainable World, B. G. Miller, Ed., Burlington: Academic Press, 2005, pp. 283–392, ISBN: 978-0-12-497451-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-012497451-7/50006-1>. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124974517500061>.
- [7] H. Park, E. Hwang, and C. Yoon, “Respirable crystalline silica exposure among concrete finishing workers at apartment complex construction sites,” *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 9, no. 12, pp. 2804–2814, 2019. DOI: 10.4209/aaqr.2019.05.0251. Tillgänglig: <https://doi.org/10.42092Faaqr.2019.05.0251>.
- [8] H. F. Systems. “Hur man slipar ett htc superfloor - steg för steg,” HTC Floor Systems. (Oct. 2019), Tillgänglig: https://www.youtube.com/watch?v=mRXIoLYdF9o&t=356s&ab_channel=htcfloorsystems (Besökt 02/13/2023).

Bilagor

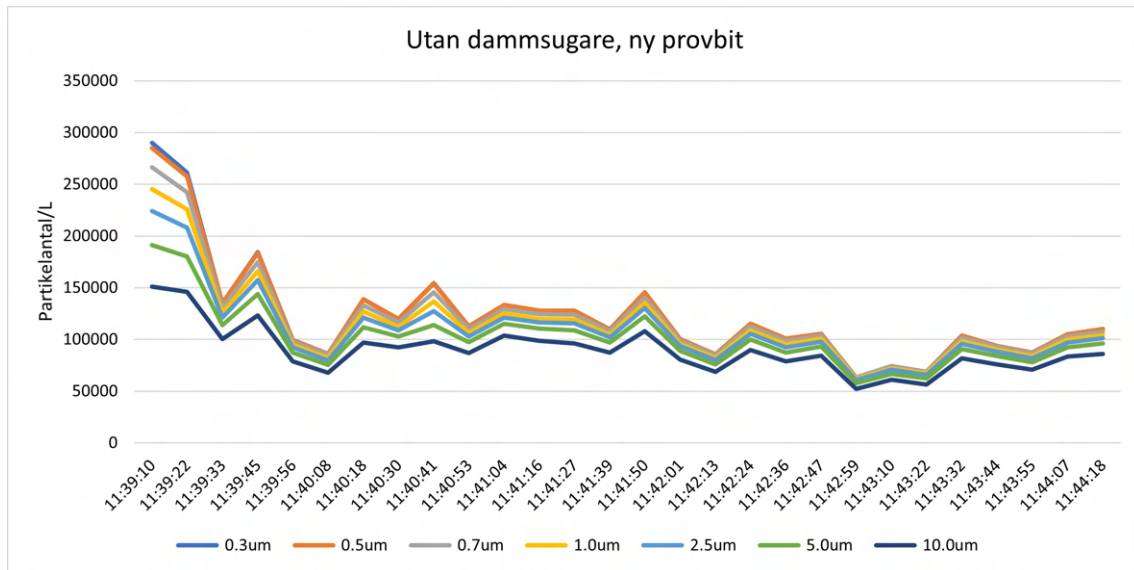


Bilaga 1: Kåpa

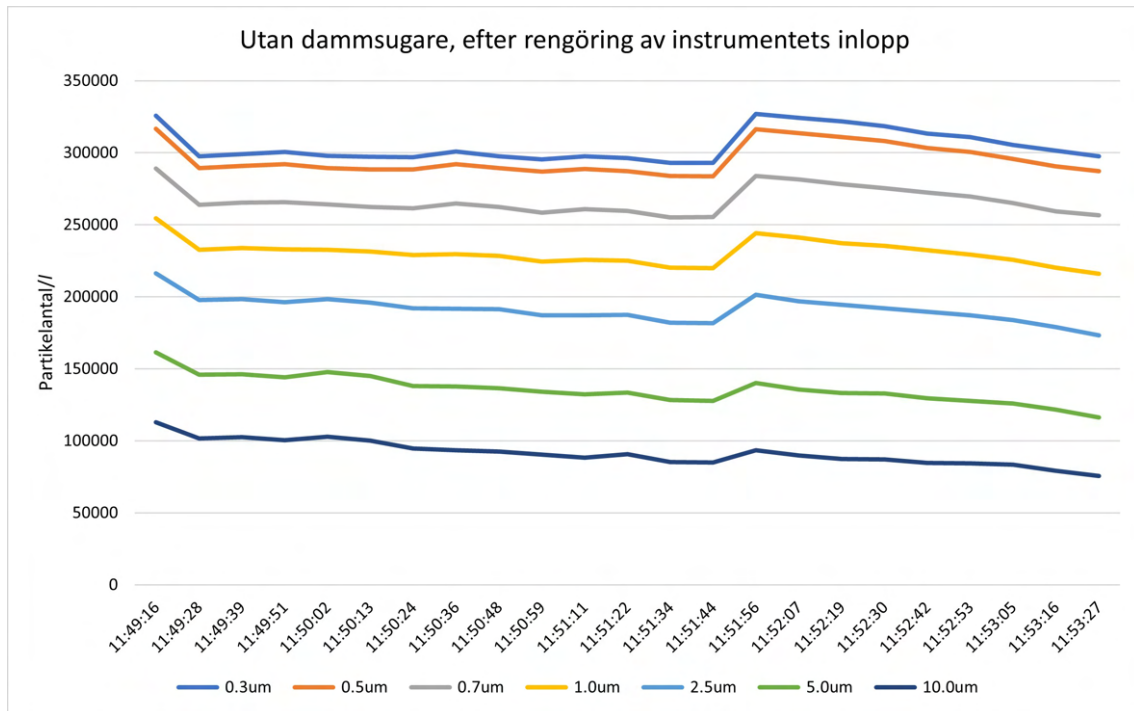
Bilagor



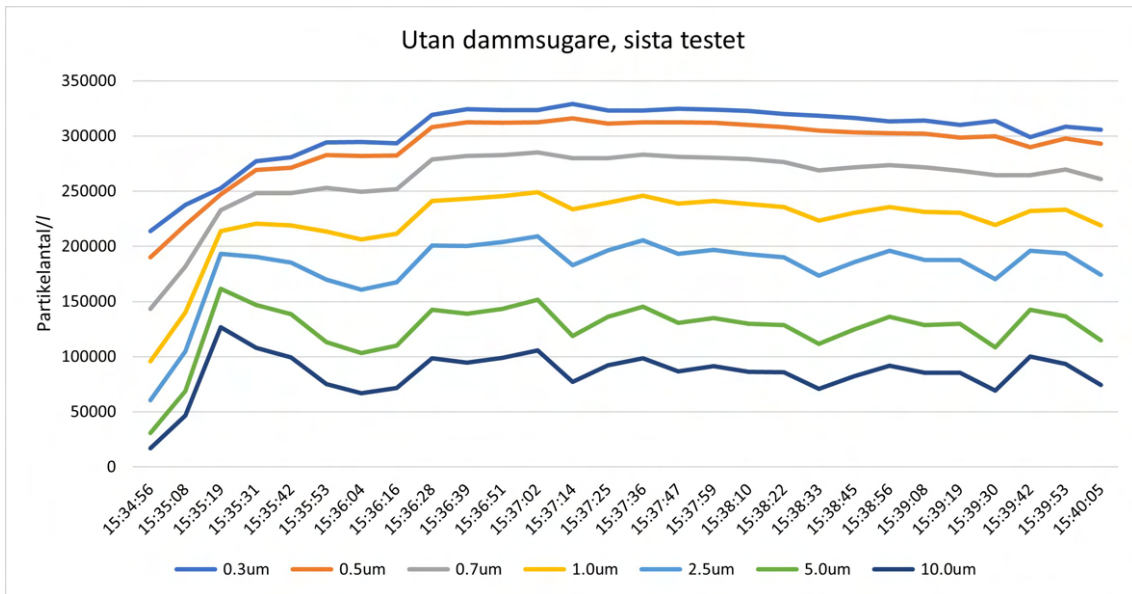
Bilaga 2: Kåpa-lock



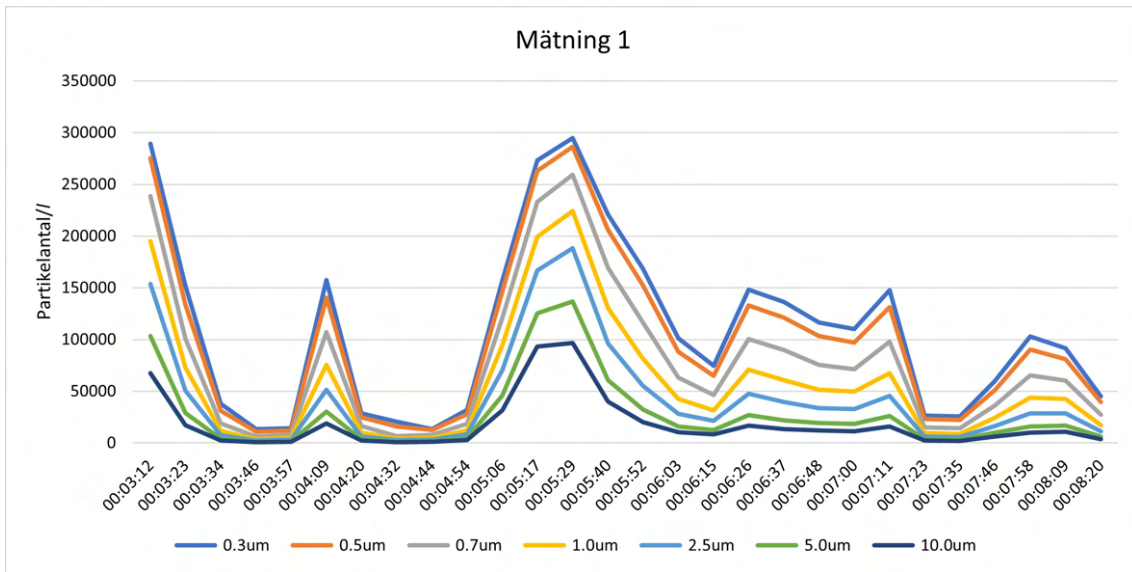
Bilaga 3: Mätning Max 1 utförd utan dammsugare



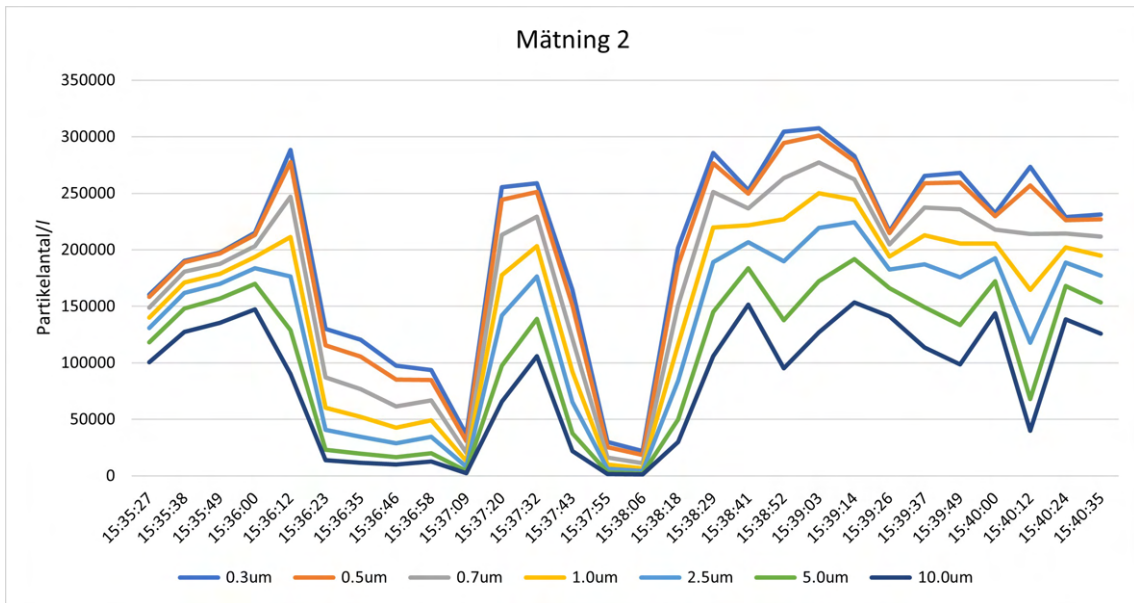
Bilaga 4: Mätning Max 2, mätt just efter Max 1



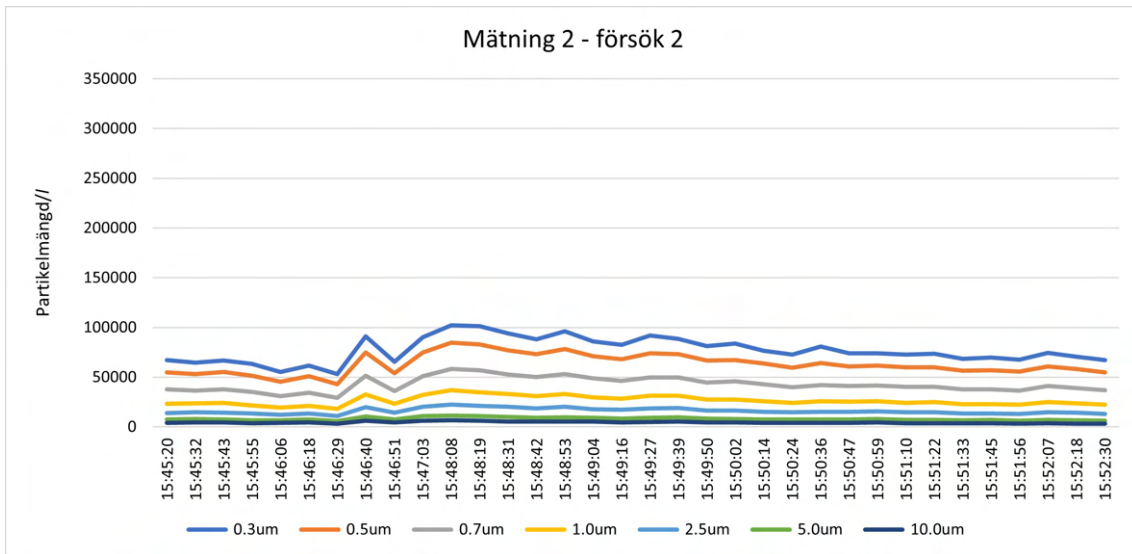
Bilaga 5: Mätning Max 3



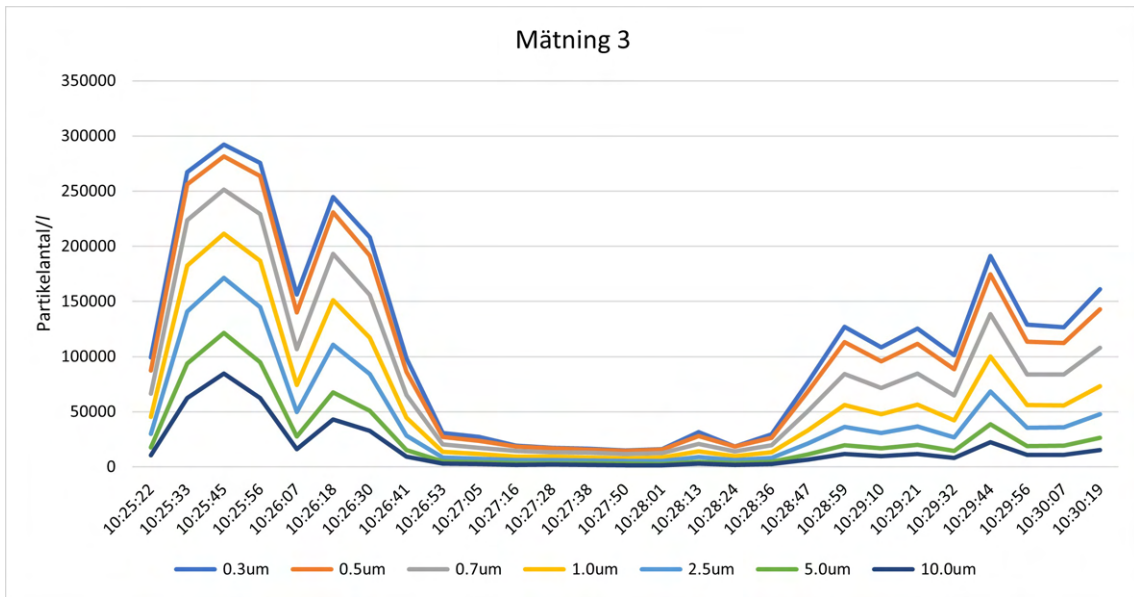
Bilaga 6: Mätning 1



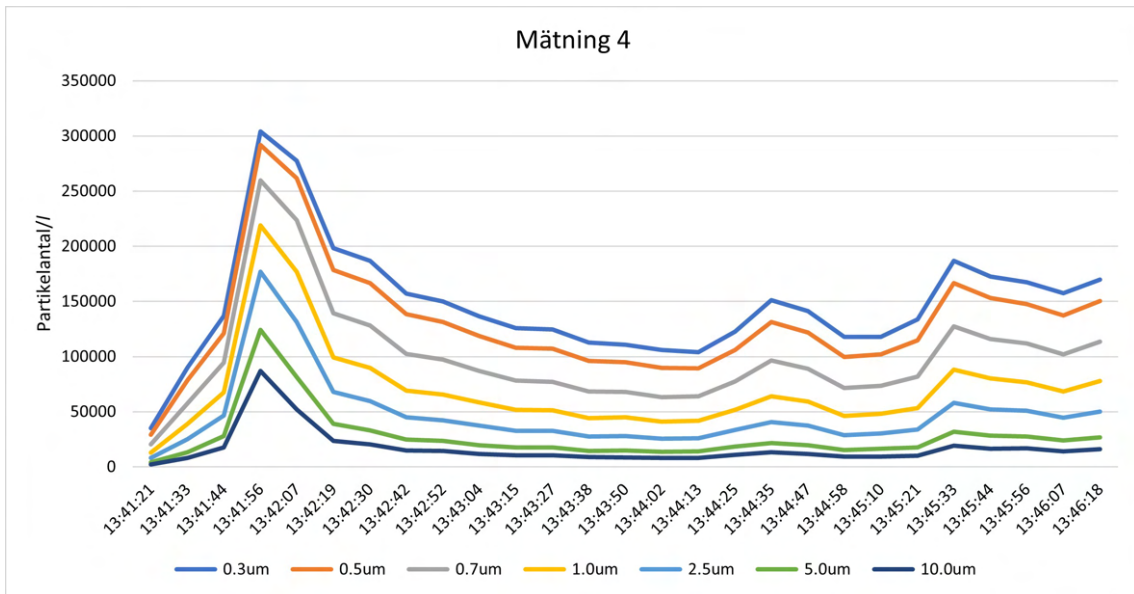
Bilaga 7: Mätning 2



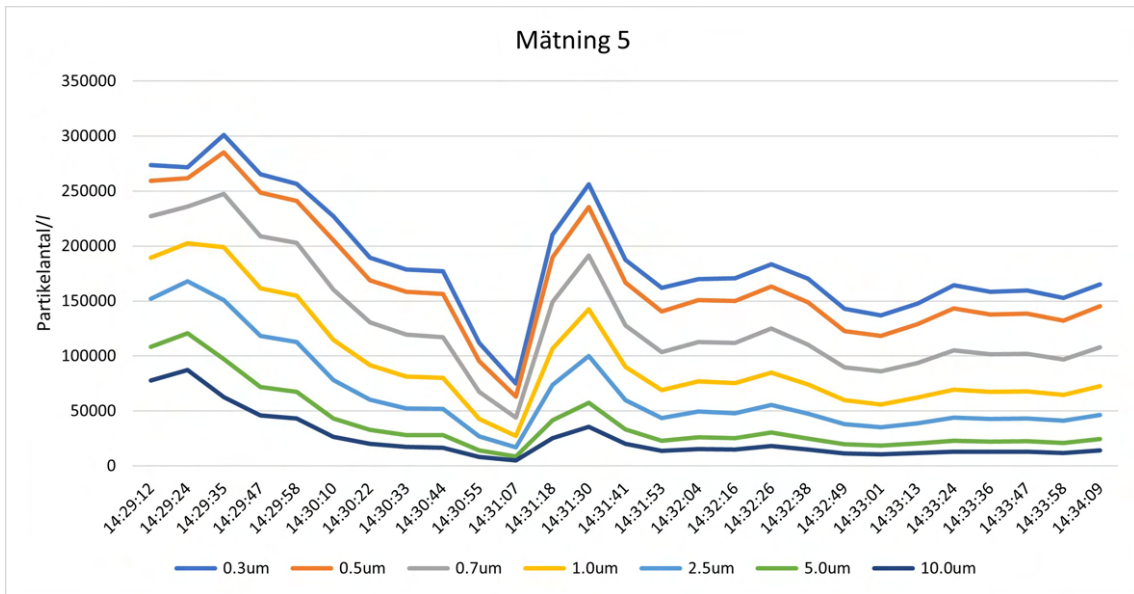
Bilaga 8: Mätning 2, utförd vid ett senare tillfälle



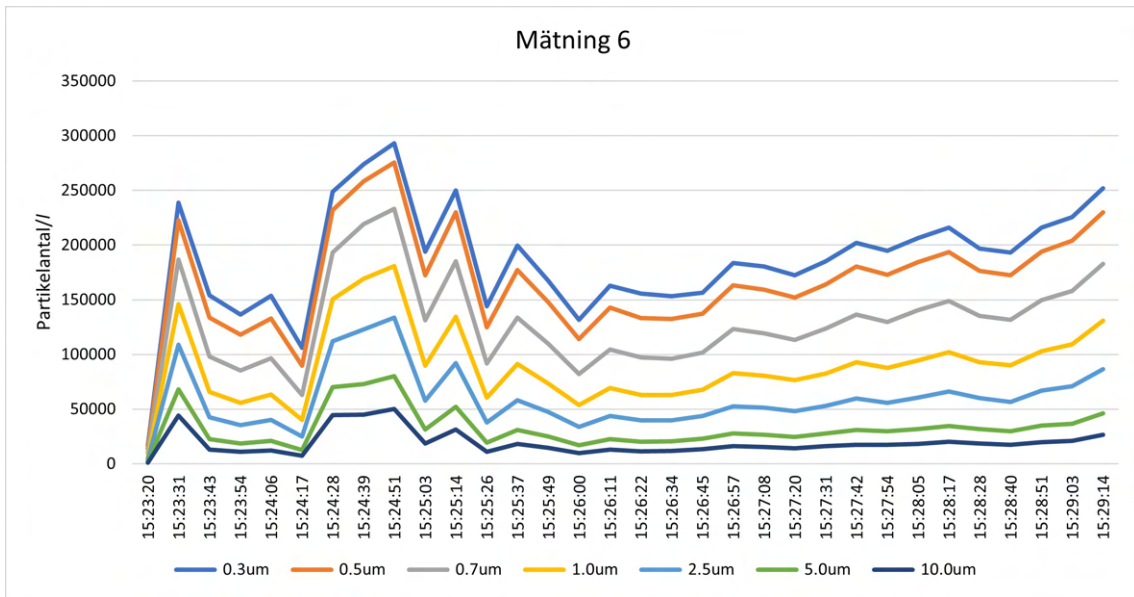
Bilaga 9: Mätning 3



Bilaga 10: Mätning 4



Bilaga 11: Mätning 5



Bilaga 12: Mätning 6

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

www.chalmers.se



CHALMERS