

Institutt for bygg- og energiteknikk — Energi og miljø i bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Webside: www.oslomet.no

BACHELOROPPGAVE

OPPGAVERS TITTEL: Inneklima og ventilasjon i skytebanehaller i Norge - Et innblikk på Horten og Tønsberg Pistolklubb	DATO: 01.06.2021
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 72/63
FORFATTERE: Andresen, Elisabeth Michael Dropuljic, Ivan Tahir, Shahir Vimalasen, Pathujah	VEILEDER: Arnab Chaudhuri Nils Ledermann

UTFØRT I SAMARBEID MED: Norges Skytterforbund Camfil	KONTAKTPERSON: Tarjei Ravn
---	--

KORT SAMMENDRAG: I denne oppgaven ser vi nærmere på inneklima og ventilasjon i norske skytebanehaller, der det ble utført målinger på Horten og Tønsberg Pistolklubb for å gi en indikasjon på hvordan dagens situasjon er. Det ble gjort partikkeltellingsmålinger, hastighetsmålinger og luftprøveanalyser. I tillegg til dette ble de to banene, i tillegg til en av KRIPOS sine rekonstruert i et modelleringsprogram kalt STAR CCM+ for å se på luftstrømningene, og det er forslag til endringer basert på dette.

NØKKEWORD (en per linje): Luftforurensning Ventilasjon Skytebanehaller
--

Forord

Ved avsluttende semester på studieprogrammet Energi og miljø i bygg – ingeniør på OsloMet skrives bacheloroppgave under faget EMTS 3900. Denne oppgaven er skrevet av 4 studenter våren 2021, i samarbeid med Norges Skytterforbund og Camfil. Det er flere involverte vi ønsker å takke.

Vi vil rette en stor takk til Camfil og Jan-Erik Kleven for å ha tatt oss imot med åpne armer, utlån av utstyr og analyser av målingene vi tok. Takk til Kai Egil Aaserud som ga oss opplæring i måleinstrumentene og delte av tidligere erfaringer.

Vi vil også rette en stor takk til våre veiledere: Arnab Chaudhuri og Nils Ledermann, for fast oppfølging, gode veiledning og korrekturlesing av oppgaven. spesiell takk til Arnab for hjelp med det strømningsstekniske og simuleringsprogrammet StarCCM+. En spesiell takk til Nils for hjelp med ventilasjonstekniske innspill, gode råd rundt det praktiske og utlån av utstyr.

Vi ønsker også å takke Tarjei Ravn som kom med oppgaven og har hjulpet med veiledning og det praktiske. Vi ønsker også å takke Jan Petter Jacobsen for å ha tatt oss godt imot på Tønsberg skytebanehall og delt sine erfaringer med oss, og Roger Feed for å ha vist oss rundt på Horten.

Til slutt ønsker vi å takke Kai Egil Aaserud fra Camfil og til Per N. Pedersen en gang til for å ha svart på et epost-intervju vi sendte ut. En siste takk går til Pål Tanberg for svar på spørsmål rundt det ventilasjonstekniske på Tønsberg skytebanehall.

Elisabeth Andresen

Elisabeth Andresen, Oslo 01.06.2021



Ivan Michael Dropuljic

Ivan Michael Dropuljic, Oslo 01.06.2021



Pathujah Vimalasenan

Pathujah Vimalasenan, Oslo 01.06.2021



Shahir Tahir

Shahir Tahir, Oslo 01.06.2021



Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven har vært å kartlegge inneklimate situasjonen og se på det ventilasjonstekniske i norske skytebanehaller i dag, og da er det tatt utgangspunkt i to, Horten og Tønsberg pistolklubb som skal være representative. For å få en indikasjon på hvordan tilstandene er, er det tatt partikkeltellingsmålinger både imens skyting har pågått og mens det ikke har pågått, i tillegg til at det er tatt på ulike steder på de to banene. Det er også tatt målinger av lufthastighet og utført støvanalyse for å få en indikasjon på sammensetningen av forurensningene i luften på skytebanehallene.

Det ble sendt ut en spørreundersøkelse laget av gruppa for å kartlegge vaner til skyttere i Norge og å få en indikasjon på hvor godt de er kjent med farene de utsetter seg for når det kommer til farlige stoffer i lufta og få et innblikk i hvilken sikkerhets- og hygieniske tiltak som er vanlig å bruke. Undersøkelsen som ble utsendt ble besvart av 40 menn og 5 kvinner. Blant dem var .22lr den absolutt mest brukte patronene, med 9 mm på en andreplass. Når det kommer til hygiene er det for det meste håndvask og antibac som gjelder, der maske og hansker blir lite brukt.

På Horten hadde de muligheten til å styre ventilasjonsanlegget og kunne blant annet velge mellom to innstillinger kalt «Special» og «Comfort2». «Special» hadde en luftmengde på 2276 m³/h, mens «Comfort2» ga ut en luftmengde på 1197 m³/h. På Tønsberg sto ventilasjonsanlegget på samme innstilling hele tiden, da det ikke var samme mulighet til å endre der. Der var luftmengden på 2350 m³/h, som tilsvarer innstillingen «Special» når det kommer til luftmengde.

Det ble også målt lufthastigheten man fikk med de ulike innstillingene. På Horten med innstillingen «Special» oppnådde man en gjennomsnittlig lufthastighet på 0,35 m/s, mens med innstillingen «Comfort2» var den på 0,22 m/s. På Tønsberg skytebanehall ble den gjennomsnittlige lufthastigheten målt til 0,1 m/s. I tillegg til lufthastigheten ble det også utført røyktest for å få en indikasjon på bevegelsen til luften.

Resultatene fra partikkeltellingen er delt inn etter de to banene, de ulike ventilasjonsinnstillingene og med og uten luftrenser, da de hadde dette på Tønsberg for å se om de har hatt noe effekt på svevestøvet. Fra resultatene våre kom det fram at luftrensene har hatt en god effekt. Fra partikkelanalysen fikk vi påvist blant annet blyforbindelser, bariumforbindelser, svovelforbindelser, kobber og zink.

Det ble også laget modeller av de to banene med et modelleringsverktøy kalt Star CCM+, hvor det ble gjort simuleringer av luftbevegelsene og noen endringer har blitt foreslått basert på disse.

English Summary

The purpose of this bachelor thesis has been to get an insight on the indoor climate situation in shooting ranges in Norway. Tarjei Ravn, construction consultant came with a request to OsloMet after observing that it has been an ongoing problem with the indoor climate in Norwegian shooting ranges, especially when it comes to dangerous substances in the air, like lead (Pb). The request was if this could be looked closer into by graduates at the study program Energi og miljø i bygg-ingeniør, and that became us.

Our study has been based on two shooting ranges located in Norway: Horten pistol club and Tønsberg pistol club. These will work as a representatives for the conditions throughout the country. To get an indication of the conditions different measurement has been done. Among them are particle counting, air velocity measurements and particle analysis. Particle counting did occur both while shooting occurred and during in periods it did not occur, in addition to different places at the shooting ranges.

A survey was sent out by the group to map the habits of shooters in Norway and to get an indication of how well they are aware of the dangers they are exposed to in terms of dangerous substances in the air. The survey was also used to get an insight into what safety and hygienic measures are commonly used. The survey that was sent out was answered by 40 men and 5 women. Among them, the .22lr was by far the most used cartridge, with 9 mm in second place. When it comes to hygiene, it is mostly hand washing and antibac that apply, where masks and gloves are rarely used.

At Horten, they had the opportunity to control the ventilation system and could, among other things, choose between two settings called "Special" and "Comfort2". "Special" had an air volume of 2276 m³ / h, while "Comfort2" released an air volume of 1197 m³ / h. At Tønsberg, the ventilation system was on the same setting all the time, as there was not the same opportunity to change there. The air volume was 2350 m³ / h, which corresponds to the setting «Special» when it comes to air volume.

The air speed obtained with the various settings was also measured. At Horten with the setting «Special», an average air speed of 0.35 m / s was achieved, while with the setting «Comfort2» it was 0.22 m / s. At Tønsberg shooting range, the average air speed was measured at 0.1 m / s. In addition to the air velocity, a smoke test was also performed to get an indication of the movement of the air.

The results from the particle count are divided according to the two paths, the different ventilation settings and with and without air purifier, as they had this on Tønsberg to see if they have had any effect on the airborne dust. From our results it emerged that the air purifiers have had a good effect. From the particle analysis, we detected lead compounds, barium compounds, sulfur compounds, copper and zinc, among other things.

Models of the two firing ranges were also made with a modeling tool called Star CCM +, where simulations of the air movements were made, and some changes have been proposed based on these.

Innholdsfortegnelse

Definisjoner og forkortelser	7
1 Innledning	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Problemstilling og formål	9
1.3 Hypotese	10
1.4 Avgrensninger og begrensninger	11
1.5 Litteraturstudie	11
1.6 De undersøkte skytebanehallene	11
2 Teori	14
2.1 Ventilasjon	14
2.2 Forskrifter, standarder og normer	16
2.3 Funn av forurensninger og deres kilder	18
2.4 Stoffenes påvirkning av kroppen	23
2.5 Simcenter Star CMM+	24
2.6 Partikkel Analyse	25
3 Metode	27
3.1 Termisk anemometer	27
3.2 Traversmetoden	28
3.3 Simcenter Star CMM+	28
3.4 Måleprosedyre	33
3.5 Partikkel telling	33
3.6 Partikkel analyse	35
3.7 Røyktest	36
3.8 Spørreundersøkelse	37
3.9 Intervju	37
4 Resultater og diskusjon	38
4.1 Spørreundersøkelsen	38
4.2 Lufthastigheter i kanaler	39
4.3 Simcenter STAR CMM+	40
4.4 Lufthastighet	51
4.5 Røyktest	52
4.6 Partikkel telling	54
4.7 Resultater: Partikkel analyse	64
5 Konklusjoner	72

Referanser	76
Figurliste.....	80
Tabelliste	82
Formelliste	83
VEDLEGG	84

Definisjoner og forkortelser

CFD	Computational Fluid Dynamics
Mesh-continium	Her settes maskering og avrundingskriteriene. Finere mesh, resulterer høyere nøyaktighet.
Physical-continum	Definering av fysiske egenskaper med tilhørende begrensninger.
Rundskrivet	Forskrift om anlegg av, kontroll med og godkjenning av sivile skytebaner. G-1988-6174 P
NSF	Norges skytterforbund
Reynolds tall (Re)	Dimensjonsløst tall for å determinere om et fluid strømmer laminært eller turbulent
Turbulent strømning	Strømning med tilfeldig bevegelsesmønster. Oppstår når luftmedium har $Re > 2300$.
Nevrotoksin	Giftstoff som særlig angriper nervesystemet. Tungmetaller som bly og kvikksølv er det og kan skade sentralnervesystemet eller perifere nerver. https://sml.snl.no/nevrotoksin
ASP	Antall større partikler
AFP	Antall finere partikler
Simcenter STAR CCM+	CFD-programvare
kaliber	Indre diameter av våpenløpet
.22lr	Ammunisjonsbetegnelse. Amerikansk målesystemer anvender i tommer, europeere angir i mm og cm.
Mantel	Utvendig metallegering over kjernen til prosjektilet. Billigere å produsere samt minsker luftmotstanden over prosjektilet.
Tennhette	Initiator for eksplosiver. En betydelig mindre mengde høyeksplosiv reaktant som anvendes for å få kruttet til å eksplodere. Kjent som «primer» og høy detonasjonshastighet.
Ladning	Røyksvakt krutt anvendes som drivstoffet for å avfyre prosjektilet. Kruttets egenskap med lav detonasjonshastighet gjør det enklere å kontrollere bruksmengden.
«Special»	Aggregat innstilling på Horten. Tilsvarende fult pådrag – 100%.
«Comfort2»	Aggregat innstilling på Horten. Benyttet for å undersøke minstekravet for luftutskiftning.

«Plug-and-play»	Et system som kun krever fra brukeren en tilkobling.
Spiro	Sirkulærventilasjonskanal

1 Innledning

Det er strenge reguleringer og forskrifter når det kommer til de fleste bygg om det gjelder boliger eller arbeidsplasser, men når det kommer til skytebanehaller for fritidsbruk er det færre klare regler og forskrifter. Konsentrasjonen av farlige stoffer i lufta hos skytebanehaller i Norge er høyere enn i andre fritidsbygg. Dette kan gi helseskader ved ferdsel og bruk over lengre tid, noe som ikke har fått nok oppmerksomhet. Bly er en av de farlige stoffene, som kan føre til blyforgiftning, i akutt eller kronisk form [13]. Blykilden er hovedsakelig pistolammunisjon.

Det er flere brukere av skytebanehaller som ikke er klar over de mulige farene de utsetter seg for. Derfor er det blitt laget en spørreundersøkelse i forbindelse med denne bacheloroppgaven for å blant annet undersøke dette. Det er flere tiltak som kan settes i verk for å forbedre inneluftkvaliteten i allerede eksisterende skytebanehaller, og ventilasjonsoptimalisering er en av de viktigste. I denne bacheloroppgaven skal det ses på tiltak for å forbedre inneklimasituasjonen i skytebanehaller.

1.1 Bakgrunn

I nyere tid har oppmerksomheten rundt metallforgiftning blant rekreasjonsskyttere blitt satt på dagsorden. De fleste av tilfellene forårsakes av blyholdig ammunisjon i kombinasjon med svak ventilasjonseffekt. Bly er et rimelig metall og standard ammunisjon for mengdetrening blant skyttere. I en skytebanehall hvor luften er i et begrenset volum utgjør dette en betydelig risiko. Nåværende krav stiller krav til utforming av komponenter og luftmengder. Kravene omfatter ikke grenseverdier for partikler per kubikk eller luftkvalitet. Rundskrivet fra 1988 har ikke blitt revidert for pistol- og geværskyttende siden. Kravene er til den dag i dag absolutte for de som ønsker å åpne en skytebanehall.

Politi og forsvaret iverksatte utredninger for å kartlegge konsekvenser og risiko. Enkelte rapporter er tilgjengelige for allmennheten, andre har blitt gradert. Ikke-sivile følger arbeidsmiljøets grenseverdier og normer. Rekreasjonsskyttere er ikke sidestilt med politi/militæret og har derved færre krav å forholde seg til. Færre krav har medført at en del pistolklubber har fått overta tidligere tilfluktsrom. Tilfluktsrom skjærer publikum fra lyd, samtidig som det gjør utbedringer vanskelig. Flere av ventilasjonsanleggene er utdaterte og sjeldent blitt modernisert. Inneklimaet i slike bunkere kategoriserer ofte som ikke tilfredsstillende/dårlig.

Norges Skytterforbund kontaktet OsloMet med forespørsel om en mulig bacheloroppgave. NSF ønsket å undersøke om det er en mulighet å skape ventilasjonstekniske løsninger til en kostnad pistolklubber kan fordøye. Pistolklubber driftes med dugnadsånden og er begrenset med kapital.

Tidligere studier har fiksert på målte bly-verdier i blodet, luftmengder og hastighet over tverrsnittet. Løsningsforslagene antyder økning av luftmengder som gunstig løsning på problemet. Til nå har ingen beskrevet på hvilken måte en skal distribuere luften. I denne oppgaven ønsker forfatterne å undersøke nåværende tilstand på skytebanehallene. Samt å modellere ventilasjonstekniske løsninger egnet for å ivareta sikkerheten til skytterne.

1.2 Problemstilling og formål

Samtlige skytebanehaller har iverksatt ventilasjonstiltak for å kontrollere blyforurensing og andre forurensninger. Hvor godt fungerer tiltakene sammenlignet med hverandre og hvor godt fungerer de sammenlignet med angitte retningslinjer.

Formålet med oppgaven er å kartlegge konsentrasjonen av forurenset luft på skytebanehaller, samt gi et grunnlag til innholdet i lufta. I tillegg skal inneklimate situasjonen vurderes opp mot de angitte forskriftene og forventningene som Camfil og NSF har for innendørs skytebaner i Norge. Til slutt skal en helhetlig vurdering gjøre om hvorvidt tiltakene hver av banene har gjort fungerer.

For å undersøke problemstillingen vil forfatterne forsøke å svare på følgende punkter gjennom rapporten:

- **Analyse av luft**
Skyting resulterer i uvedkomne stoffer. Stoffene kan påstås som farlige for mennesker over lengre tid. Hvilke stoffer er dette, og hvilke mengder forekommer de i? Hvilke parametere er luftforurensningen avhengig av?
- **Vurdering av forskjellige ventilasjonsinnstillinger og deres påvirkning på inneklimate situasjon**
Primære ventilasjonsløsninger brukt i skytebanehaller i dag er de samme som de som ble brukt da hallene først ble bygget. Hensikten deres da var å opprettholde en gruve eller en grotte som ble brukt som et lager for våpen eller et bomberom. Oppfyller disse systemene dagens krav? Er tiltakene gjort for å forbedre inneklimate situasjonen effektive? Er den ene løsningen mer foretrukket enn den andre?

For å svare på overnevnte spørsmål vil det utføres målinger på to skytebanehaller, et i Tønsberg og et i Horten, samt korresponderende simuleringer. Dataen vil bli prosessert og en helhetlig vurdering vil utarbeides.

1.3 Hypotese

Basert på forventningene som har blitt satt av NSF for oppgaven og indikasjon av trender fra tidligere studier settes følgende hypoteser:

For Horten:

- H₁: Ventilasjonen på innstillingen «Special» gir lavere andel partikler enn «Comfort2»
- H₂: Ventilasjonen på innstillingen «Special» gir høyere lufthastighet enn «Comfort2»

For Tønsberg:

- H₃: Det er mindre mengder partikler i luften etter skyting med luftrenseren på enn med luftrenseren av
- H₄: Lufthastigheten øker når luftrenserne står på

For begge banene:

- H₅: Antall partikler målt er lavere på Tønsberg enn på Horten
- H₆: Det er større konsentrasjon av forurensning på midten og i enden av banen enn ved standplassen
- H₇: Høyere lufthastighet og mer luftgjennomstrømning gir lavere konsentrasjon av forbrenningspartikler
- H₈: Ved siden av blyforbindelser vil også stoffene karbonmonoksid (CO), bariumoksid (BaO) og kaliumsulfat (K₂SO₄) kunne påvises av partikkel analysen.

1.4 Avgrensninger og begrensninger

Nedenfor er relevante avgrensninger og begrensninger listet opp. Avgrensningene nedenfor er hva forfatterne selv anser som mindre viktig av ulike grunner.

Under semesteret har ulike faktorer begrenset eller utfordret arbeidet knyttet til oppgaven og nedenfor er relevant begrensninger listet opp.

- Pandemien Covid-19 har gjort kommunikasjonen innad i gruppen, samt kommunikasjon mellom veilederne og gruppen vanskeligere. I tillegg har den gjort store utsettelse i de opprinnelige planene for målinger. Kommunikasjonsutfordringene har blitt løst med Zoom.

1.5 Litteraturstudie

Før begynnelsen av undersøkelsen, ble relevant litteratur gjennomgått og forskjellige synsvinkler rundt de tekniske løsningene ble diskutert. Nedenfor er den mest relevante faglitteraturen oppsummert.

1.5.1 Rapport, «Firing Ranges – Design, Ventilation & Filtration», 2003 [37]

«Firing Ranges – Design, Ventilation & Filtration» utgitt av Camfil, er en rapport fra 2003 [37]. Den omhandler retningslinjer for design og drift av en skytebanehall. For eksponering av partikler fremlegges en liste av farlige stoffer som kan framkomme i en skytebanehall. Stoffene er sortert etter faren de utsetter et menneske for. Rapporten snakker i hovedsak om bly, dets framkomst, påvirkning på mennesker og hvordan det skal håndteres. Etter Camfils anbefalinger er HEPA filtre absolutt viktigste både når det gjelder renhold av skytebaner og når det gjelder resirkulering av den forurensede luften. De anbefaler også å ha store mengder luft bak skytteren. Avtrekk i den andre enden og totalt undertrykk forsikrer man en lineær bevegelse av den kontaminerte luften. På denne måten holdes skytteren beskyttet.

1.5.2 Rapport, Cobee2018, 2018 [25]

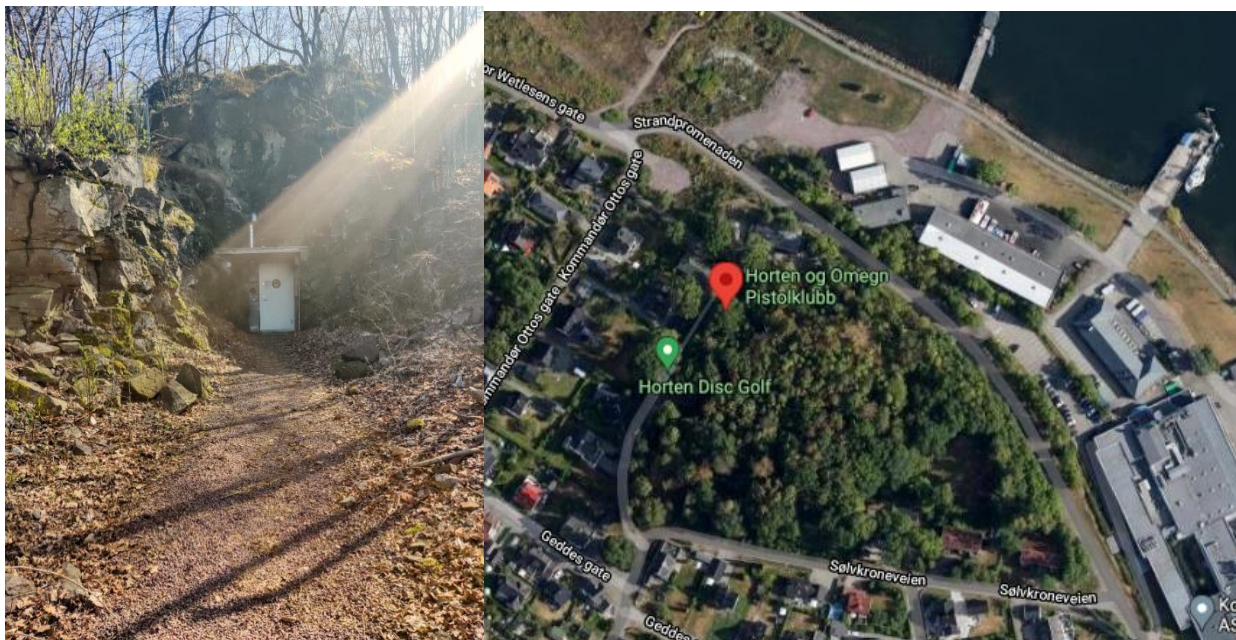
«Study Findings Regarding Pollution Levels in Indoor Shooting Ranges and Ventilation System Design to Limit Them» utgitt av Cobee2018 I samarbeid med Instituttet for varme, gas og vann teknologi i Riga technical university er en rapport fra februar 2018 [25]. Rapporten omhandler en skytebanehall i Latvia, hvor forurensningsnivået under en skytekonkurranse er målt i antall partikler. Ut ifra målingene deres og andre generelle prinsipper anbefaler rapporten en ventilasjonsløsning. Tilluft bak skytteren og 2 avtrekk innen 5 meter fra standplassen og et avtrekk i andre enden av banen.

1.6 De undersøkte skytebanehallene

1.6.1 Horten skytebanehall

Horten & Omegn Pistolklubb (HoPK) er en pistolskytterklubb underordnet Vestfold Skytterkrets, Norges Skytterforbund og Norges Idrettsforbund. Skytebanehallen ligger til i Sølvkronveien 7b i Horten og datoen den ble besøkt for å utføre målinger til denne oppgaven var 19.april 2021. Hallen ble opprinnelig brukt som torpedolager under andre verdenskrig, før den i senere tid har blitt omgjort til skytebanehall.

Horten skytebanehall er et fjellanlegg. Bildet under viser inngangsdøren til Horten skytebanehall, omgivelsene rundt, samt været den gjeldende dagen. Det er også tatt med et utklipp fra Google Maps for å vise mer av omgivelsene rundt banen.



Figur 1: Bilde av inngang og satellittkort utsnitt av Horten skytebane



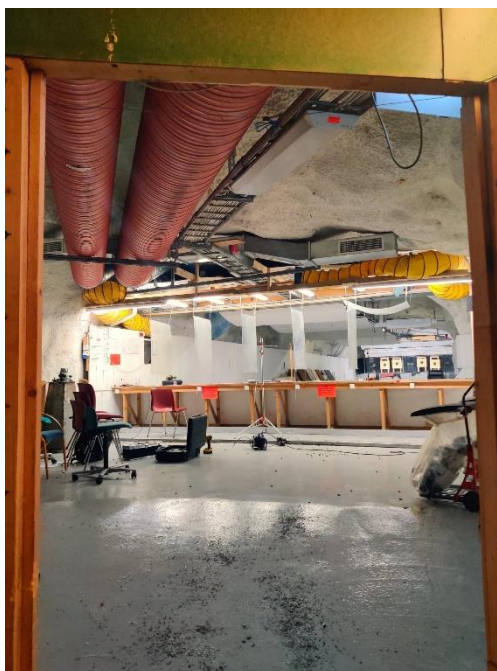
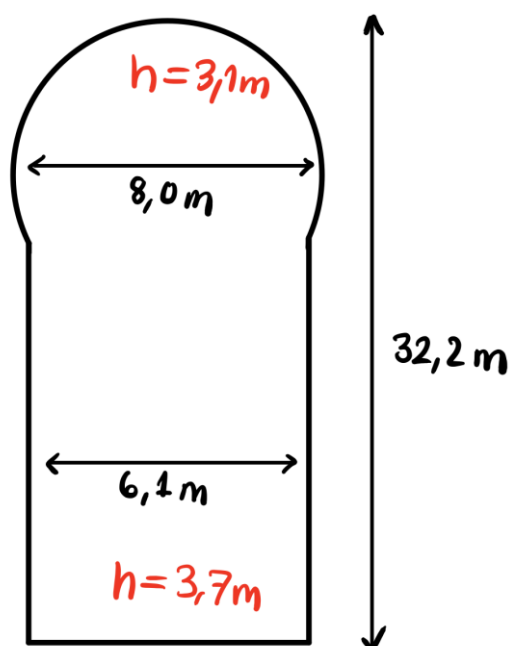
Figur 2: Tegning med mål over Horten skytebanehall og bilde av skytebanen

Bildene over viser banen målingene ble utført på. Banen har en total lengde på 32,2 m og en varierende effektiv takhøyde grunnet helning gjennom banen. Se figur 2 for de resterende målene. Figur 2 er skissert slik at standplass er øverst og målskivene nederst.

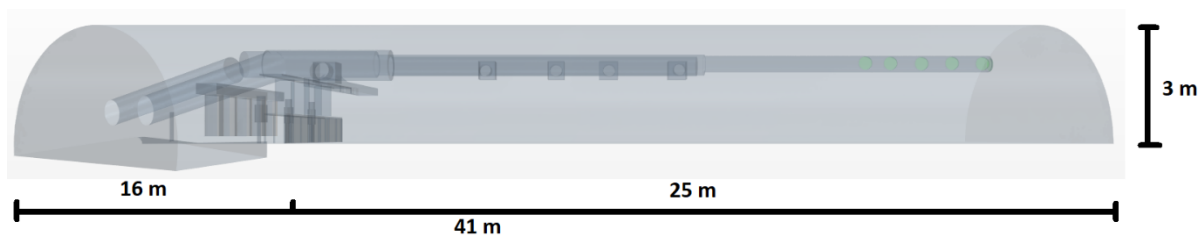
1.6.2 Tønsberg skytebanehall

Tønsberg og Omegn Pistolklubb holder til i Stoltenbergs gata 3 i Tønsberg. Målingene her ble også tatt 19. april. I motsetning til Horten skytebanehall ligger Tønsberg skytebanehall i sentrum og i

samme bygg som andre næringer, blant annet firmaet Telenor. Tønsberg skytebanehall var opprinnelig et tilfluktsrom. Denne banen hadde en lengde på 32,2 m. Se figur 4 for de resterende målene. Figur 3 er skissert slik at målskivene er øverst og standplass nederst. Figur 3 viser også plassering av ventilasjon bak standplassene.



Figur 3: Tegning med mål over Tønsberg skytebanehall og bilde av skytebanehallen bak standplass



Figur 4: Mål på Tønsberg skytebanehall

2 Teori

2.1 Ventilasjon

2.1.1 Filter og filterklasser

Byggforskserien spesifiserer ingen krav for innendørs skytebanehaller. Det er likevel flere relevante aspekter som kan benyttes for å definere standard for luftbevegelse og luftkvalitet i en skytebanehall. Kapittel 552.331 Filtrering av luft i ventilasjonsanlegg gir en generell innføring i luftforurensninger, filtreringsbehov, filtertyper og kriterier for å velge riktig filter. Filtrene beskytter ventilasjonssystemet mot uønskede partikler og forurensninger [1]. Filtre deles opp i fire klasser; grovfilter (G), finfilter (F), HEPA (H) og ULPA (U). Standard NS-EN ISO 16890-1:2016 har en bredere beskrivelse over hvilke partikkelstørrelser opptas av de ulike filterkategoriene [36]. Ved utvalg av filter krever det kunnskap om lokale forhold. Et kvalitetsfilter som HEPA har betydelig trykkfall i forhold til et grovfilter. Av den årsak er viktigheten med å konsultere produsentens filterdatablad stor.

2.1.2 Ventilasjonstekniskløsninger

Det er viktig å adskille avtrekk og tilluft, slik at man unngår kontaminasjon av tilluft. Riflebaner skal ha mekanisk balansert ventilasjon, mens pistolbaner kan benytte mekanisk avtrekk dersom minimumskravene blir fulgt.

Ventilasjonssystem	Fordeler	Ulemper
Balansert ventilasjon	Kontroll på luftmengder og temperatur Lavere oppvarmingskostnader med gjenvinner Lettere å kontrollere lufttrykket i rommet Rimeligere i det lengre løp ifht energibesparelser Tilluften blir filtrert	Høyere kostnader i form av installasjon og planlegging Krever større plass
Mekanisk avtrekk	Rimeligere å installere Enklere å planlegge Krever mindre plass enn balansert ventilasjon	Ingen varmegjenvinner Variabel luftmengder ifht åpning mot uteluft Høyere oppvarmingskostnader Kan medføre unødig høyt undertrykk i et rom Dyre driftskostnader i det lengre løp Ingen filtrering av tilført luft

Tabell 1: Fordeler og ulemper ved ulike ventilasjonssystemer

I nybygg er det påbudt med balansert ventilasjon fordi det er en viktig del av energikonservering. For å holde energieffektiviteten høy har man to alternativer for varmegjenvinning; platevarmeveksler og kryssvarmeveksler. Fordelen med varmegjenvinning er lavere energiforbruk og økonomiske besparelser. De beste varmegjenvinnerne har en virkningsgrad på 85%, ved å ta i bruk en slik gjenvinner vil det lønne seg økonomisk på sikt.

2.1.3 Lufthastighet og luftskiftning

Pistolbaner har ingen angitte krav for lufthastighet. Et prinsipp som blir nevnt i rapporten til Camfil er at når lufthastighet øker, øker også effektiviteten av elimineringen av forurensninger ved skytteren. Luftstrømmen gjennom hele tverrsnittsarealet skal være laminær strømning, for å kontrollere transporten av partiklene. Hastigheter over 0,4 m/s skaper turbulens og derfor ligger den ideelle lufthastigheten på rundt 0,4 m/s. Hastigheter under 0,245 m/s er ikke nok for å få ut forurensninger. Camfil sin rapport anbefaler lufthastigheter mellom 0,25-0,5 m/s [37] Formelen for å beregne lufthastigheten over tverrsnittet er angitt:

$$\frac{\text{målt luftmengde } [\frac{m^3}{h}]}{\text{tverrsnittet } [m^2] * 3600 s}$$

Formel 1: Lufthastighet

Kalkulere luftmengdebehov i m³/h basert på hastighet over tverrsnittet, er et nyttig verktøy for å undersøke valg av aggregat eller om aggregatet holder mål. Luftmengdebehovet er gitt av formel 2:

$$H B \frac{m}{s} 3600 s$$

hvor:

$$H = \text{høyden } [m]$$

$$B = \text{bredden } [m]$$

$$\frac{m}{s} = \text{ønsket hastighet i } [\frac{m}{s}]$$

Formel 2: Luftmengdebehov

For å kalkulere fra meter/sekund til meter/minutt så multipliseres det med en faktor på 60. Det er flere faktorer som spiller inn på valget av ventilasjonsaggregat.

Luftskiftninger angir hvor mange ganger luften i et rom skiftes ut i løpet av en time. Benevnningen er angitt som h⁻¹. Forholdet er angitt av formel 3:

$$\frac{\text{målt luftmengde } [\frac{m^3}{h}]}{\text{volumet av rommet } [m^3]}$$

Formel 3: Luftskiftning

For å kalkulere frem til luftmengdebehovet basert på luftskiftekravet er formel 4 den veiledende.

$$H * B * L * h^{-1}$$

hvor:

$$H = \text{høyde } [m]$$

$$B = \text{bredde } [m]$$

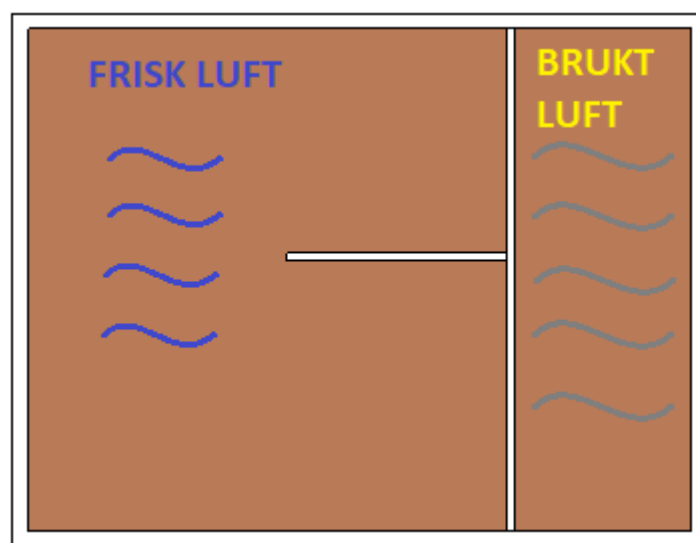
$$L = \text{lengde } [m]$$

$$h^{-1} = \text{antall luft skiftninger } [h^{-1}]$$

For en skytebanehaller det essensielt at samtlige standplasser blir forsynt med omtrentlig like luftmengder. Siden det er ønskelig med høy hastighet over tverrsnittet på en skytebane, kan det oppstå misnøye i form av opplevd trekk. En lufthastighet på minimum 0,2 m/sekund oppfattes vanligvis som trekk [2].

2.1.4 Ventilasjonsprinsipp

Forurensninger kan fjernes langs bredden eller langs lengden som den blir ved de fleste skytebanehaller. Det fokuseres derfor på å flytte luften langs x-aksen og oppnå en stempelstrømning. Ved å presse bruktluft ut med friskluft, trekker man røyk og partikler bort fra skytter. For å visualisere dette, se figur 5 under. Figur 5 viser en usynlig vegg som barriere mellom friskluft og bruktluft.



Figur 5: Stempelstrømning, 2D illustrasjon

2.2 Forskrifter, standarder og normer

Skytebanehaller, må som alle andre bygg følge det norske regelverket for bygging, der det skal følges en rekke lover og forskrifter. Stortinget vedtar lover, og deretter utarbeider de ulike departementene i regjeringen en mer detaljert beskrivelse av lovens bestemmelser, i form av forskrifter. [11]. Både lovene og forskriftene som vedtas må overholdes og er bindene.

Plan- og bygningsloven bestemmer hvordan Norges arealer bli brukt på en effektiv og rasjonell måte.[12] Byggeteknisk forskrift, TEK17, er gitt i medhold av plan- og bygningsloven. Denne forskriften har en rekke tekniske krav til produkter og byggverk, og står helt sentralt ved prosjektering av bygninger og anlegg.[13]

Nyttige verktøy for å lage gode byggverk er Norske standarder og anvisninger fra Sintefs byggforskserie.[13] Standard Norge fastsetter og utgir Norsk Standard, utarbeidet i Norge, Europa eller internasjonalt.[14] Byggforskserien gir anbefalinger for prosjektering, utførelse og forvaltning av bygninger, samt dokumenterte løsninger.[15]

Normer er underlagt lover og forskrifter, og er ofte anbefalinger og veiledere fra bransjen som har blitt utviklet med tid og erfaring.

TEK 17

I TEK17, kapittel 13 *Inneklima og helse*, stilles krav til parametere som påvirker inneklimaet, som skal bidra til å blant annet forebygge helseskader.

§ 13-3 *Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning* anbefaler 2,5 m³ per time per m² gulvareal, frisklufttilførsel på grunn av forurensning fra materialer, i rom som er i bruk. Det anbefales også tilstrekkelig avtrekk til at det opprettholdes tilfredsstillende luftkvalitet.[13]

Byggforskserien

552.351 *Fordeling av ventilasjonsluft i rom* [38]

Omhandler luftfordeling og luftfordelingsprinsipper.

552.331 *Filtrering av luft i ventilasjonsanlegg* [1]

En generell innføring i luftforurensninger, filtreringsbehov, filtertyper og kriterier for å velge riktig filter.

552-340 *Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg* [39]

Komplett standard om tilgjengelige varmegjenvinnere.

Justisdepartementet

I dag, Justis- og beredskapsdepartementet har ansvar for blant annet rettsvesenet, politi- og påtalemyndigheten og samfunnssikkerhet. [21]

Forskrifter om anlegg av kontroll med og godkjenning av sivile skytebanehaller

Den offentlige forskriften er utarbeidet av Justisdepartementet 1. juli 1988 og er den gjeldende forskriften for anlegg av skytebanehaller. Den tar hovedsakelig for seg sikkerhet og omfatter nyanlegg, ombygging eller utvidelse av en skytebane.[16]

«9.1.4 Innendørs geværbaner skal ha mekanisk ventilasjon dimensjonert etter følgende minimumskrav:

- Luften skiftes ut 4 ganger i timen
- Lufthastigheten i banen på minimum 1,5 meter/minutt
- 300 m³/h pr. time pr. våpen

Friskluftinntaket plasseres bak skytteren. Avtrekket plasseres minimum 15 m. foran» G-1988-6174 P

Pistolbaner har følgende ventilasjonskrav:

«9.2.3 Innendørs pistolbaner skal ha mekanisk ventilasjon som dimensjoneres etter følgende krav:

- Luften skiftes ut 3 ganger pr. time

Minimum 250 m³ pr. våpen pr. time» G-1988-6174 P

Norsk Standard

NS-EN 16798-7:2017

Bygningers energiytelser - Ventilasjon i bygninger, omfatter beregningsmetoder for dimensjonering av luftmengder i bygninger.[17]

NS 3420-BM:2019 og NS 3420-V:2019

Disse omhandler beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner og spesifiserer henholdsvis ventilasjonstekniske systemer og ventilasjonsinstallasjoner.[19][20]

Kulturdepartementet

I samarbeid med Det frivillige Skyttervesen, Norges Jeger- og Fiskerforbund, Norges Skytterforbund og Norges Skiskytterforbund, har Kulturdepartementet utarbeidet en veileder for skytebanehaller.

Skytebanehaller- Veileder for planlegging av skytebanehaller

Hensikten med veilederen er å forenkle og samle informasjon om etablering av skytebanehaller. Veilederen er like relevant ved utvidelse og ombygging av eksisterende skytebaneanlegg.[22]

Det frivillige skytterforbund

Det frivillige Skyttervesen (DFS) er den største norske skytterorganisasjonen. Den ble konstituert av det norske parlamentet i 1892, med virkning fra 1. juli 1893. DFS mottar fortsatt økonomisk støtte fra Forsvarsdepartementet. Med omtrent 850 klubber og 138 000 medlemmer er DFS en av de største idrettsorganisasjonene i Norge, og den største frivillige støtteorganisasjonen til det norske forsvaret.[23]

Innendørs 15m skytebanehaller for kaliber .22 (Juni 2007)

Veiledningen utformet av DFS tar for seg blant annet sikkerhetsmessige krav, tekniske anbefalinger og administrative bestemmelser ved etablering og drift av 15 meters innendørs skytebanehall for kaliber.22.[24]

Arbeidstilsynet

Arbeidstilsynet er en statlig etat som er knyttet til både private og offentlige virksomheter. Hovedoppgaven deres er å følge opp at virksomhetene ivaretar sitt ansvar etter arbeidsmiljølovgivningen, allmenngjøringslovgivningen og annet regelverk som er tillagt Arbeidstilsynets myndighet.[18] Til tross for at de fleste skytebanehaller ikke er offisielle arbeidsplasser, kan disse reglene og forskriftene benyttes som veiledere.

Forskrift om tiltaks- og grenseverdier

Forskriften angir grenseverdier, tiltaksverdier og smitterisikogrupper slik at arbeidstakerne kan beskyttes mot farer på grunn av fysiske, kjemiske eller biologiske faktorer i virksomheten.[5]

Folkehelseinstituttet

Folkehelseinstituttet er et norsk statlig forvaltningsorgan som er underlagt Helse- og omsorgsdepartementet. Hovedoppgavene deres er helseovervåking, forskning og forebygging. Folkehelseinstituttet og Miljødirektoratet har fastsatt kriterier for hvilke nivåer av enkelte metaller i luft som er helseforsvarlig. [7]

2.3 Funn av forurensninger og deres kilder

2.3.1 Variasjon av ammunisjon

Skyting i Norge er organisert av Norges skytterforbund (NSF). Klubbene og medlemmene under forbundet følger ingen særegne lover utenom de satt av staten. Dette tillater bred variasjon av type våpen og ammunisjon brukt av skytterne. Likevel er det noen klassikere som går igjen over de fleste klubber i Norge. Tarjei Ravn, anleggsrådgiver i NSF, ble kontaktet for å klargjøre mest brukt ammunisjon og inneklimate situasjonen for hver av banene.[32] Han mente at begge banene hadde omtrent lik fordeling av ammunisjon, men forskjellig inneklimate, se tabell 5. I denne oppgaven ble

inneklimate situasjonen vurdert ut ifra faktiske målinger. Samtidig ble en spørreundersøkelse tatt for å bekrefte Tarjeis påstander om mest brukt ammunisjon. [32]

Planlagte måle stasjoner:	Inneklimate situasjon
-Tønsberg og Omegn PK	Midt på treet
-Horten og Omegn PK	En av de verste

Tabell 2: Planlagte skytebane banehallen

Mest brukt ammunisjon	
.22lr	gj. 38.5 grains
32S&W	gj. 99 grains
9mm Luger	gj. 131 grains
38s	gj. 153 grains
45acp	gj. 230 grains

Tabell 3: Mest brukt ammunisjon (basert på påstander)

Det er antatt at ammunisjonstypfordelingen på alle innendørsbaner er cirka likt fordelt. Nærmere 70% av alle kalibere er .22lr, 20% vil være 9mm og 38s og gjenværende 10% vil være ulikt fordelt på andre kalibere. [32] Naturligvis vil større kalibere som 45acp ha mer vekt på prosjektilet enn kalibere som .22lr og dermed forbrennes også mer krutt, noe som igjen fører til mer forurensning. «Grains» er en måleenhet brukt for å differensiere akkurat denne vektforskjellen. Sammenligningsvis inneholder 45acp gjennomsnittlig 230 «grains», mens .22lr inneholder gjennomsnittlig 40 «grains». [32] En mot en forurenser 45acp mer enn .22lr, men fordi .22lr er majoriteten i ammunisjonsfordelingen vil den helhetlige forurensningen være større for .22lr. Hoved ammunisjonen brukt under målingsprosessen vil derfor være .22lr.

Det andre kalibere som kommer til å bli tatt i bruk under prøvene er 9mm. 9mm og 38s er omtrentlig likt brukt, men fordi 9mm er lettere tilgjengelig vil gruppen bruke den. 9mm har gjennomsnittlig 131 «grains». [32]

Selv om ammunisjonsfordelingen er antatt å være lik, vil forurensningstetthet likevel kunne variere basert på ventilasjonsdesign og kapasitet, vaskerutiner og andre tiltak tatt for å begrense forurensningen.

2.3.2 Prioriterte stoffer og deres opphav

For å kunne beskrive opphavet til utslippsstoffene må skyteprosessen deles inn i tre deler, før skuddet er avfyrt, rett etter at skuddet er avfyrt og etter at skuddet har truffet målskiva.

Før en skytter skyter har personen ladet våpenet med ammunisjon. I kalibere som .22lr er blyprosjektilet åpen til luft. Dette vil kunne føre til at blyet reagerer med oksygen og danner blyoksid. Til vanlig vil blyoksid virke som smøremiddel for smidig utløsning av prosjektilet, men hvis patronene får lov til å aldre (bli gamle) vil blyoksidet dannet et tykt hvitt lag på prosjektilet. Ved avfiring av den gamle patronen vil de giftige stoffene bli luftborene og være en fare for de som befinner seg i umiddelbar nærhet. Denne effekten av forsterket eksponering for blyoksid vil også nås ved gjentakende avfiring på kort tid. Nivået med blyoksid på nye patroner er veldig liten, men ved gjentakende avfiring vil partiklene kunne samle seg og oppnå høy konsentrasjon.

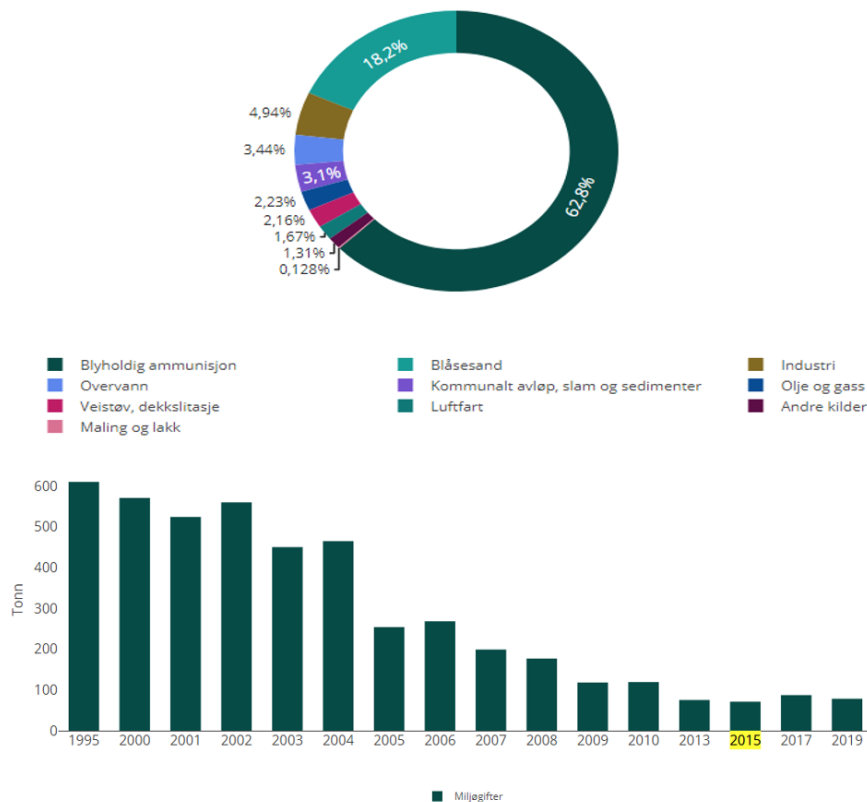
Camfil har laget retningslinjer for design, ventilasjon og filtrering som var publisert i 2003. I denne retningslinjen er det også en liste over vanlige forurensende stoffer å finne på en skytebanehall. Innholdet i patronene har med tiden endret seg og det er visse stoffer på Camfil sin liste som vil være mindre sannsynlig å finne i dag. Se figur 6 under for en liste fra Camfil sin retningslinje [37]:

1. Mercury Compounds
2. Lead
3. Lead Oxide
4. Lead Styphanate
5. Chlorine Compounds
6. Barium Oxide
7. Stannic Oxide
8. Nitrogen Dioxide
9. Stannous Oxide
10. Sulphur Dioxide
11. Carbon Monoxide

Figur 6: Liste over mulige stoffer som kan finnes i skytebanehaller [37]

- Spor av klor kan forekomme hvis dette er brukt som et vaskemiddel. Klor har 7 elektroner i ytterskallet sitt og er veldig reaktiv. Klor fordampes ved -34°C og vil være farligst i gass tilstand. Det er derfor rimelig å forvente forekomst av klor i lufta. Gassen trenger ikke å påvirke skytteren direkte fordi den ikke forekommer mot skyteren. Samtidig så vil heller ikke konsentrasjonen overstige 40-60 ppm [42].
- Kvikksølv (Hg) kan utelukkes fullstendig. Tidligere ble dette brukt som en eksplosiv i form av kvikksølvfulminant ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$). I dag er kvikksølv ammunisjon ulovlig, og spor av stoffet vil dermed være minimalt eller ikke eksisterende. Det som eventuelt forekommer, vil være bakenforliggende forurensning fra tidligere. [44]
- Tinoksider (SnO_2/SnO) kan forekomme. De dannes når tin kommer i kontakt med varme fra pistolen og reagerer med oksygenet i lufta. På samme måte som de andre forbindelsene med oksygen vil også tinoksid øke gradvis ved gjentakende skyting.
- Nitrogendioksid (NO_2) vil kunne dannes ved at nitrogenet og oksygenet i lufta reagerer som følge av høye temperaturer som oppstår fra pistolen under skyting. Varmen fra pistolen vil virke som en katalysator for reaksjonen. Ved gjentakende skyting vil nitrogenoksidet gradvis øke i tetthet. NO_2 kan igjen reagere med varme og danne nitrogenmonoksid (NO). Stoffet er ikke representert i Camfil sin liste, men er valgt å ta med her ettersom det er helsefarlig i store mengder.

Innholdet i patronene har som sagt med tiden endret seg og National Center for Biotechnology Information (NCBI) gir et eksempel på dette, kvikksølvfulminat også kjent som knallkvikksølv har blitt erstattet med blyholdige forbindelser [30]. Kvikksølv er et ekstremt giftig stoff, derfor ble det regulert og fjernet fra bruksprodukter som ammunisjon og termometer. Blyholdig alternativ har ført til stopp av kvikksølvutslipp, men også til økt bly utslipp. Helhetlig har blyutslippene blitt 90% mindre siden 1995. Ifølge miljødirektoratet var 63% av alt blyutslipp i 2019 forårsaket av blyholdig ammunisjon. [41]



Figur 7: Grafen viser utvikling i «Utslipp av bly» i Norge siden 1995. Den er hentet fra Miljødirektoratets side for bly og blyforbindelser (41).

Prosjektilet i .22lr er laget av en relativ myk blykjerne. Den står åpen til luft, mens hylsen består av et kobberskall som dekker drivladningen. En stor del av .22lr brukt i dag er ikke omgitt av en mantel. [32]



Figur 8: Bilde av to versjoner av ammunisjonstypen .22lr.

Figur 8 viser to versjoner av ammunisjonstypen .22lr. Den til venstre er uten mantel og man ser blykjernen klart. Den til høyre er med mantel. Mantelen kan for eksempel være en kobberlegering som omgir prosjektilet. Legeringen forsterker prosjektilet og tillater toleranse for en høyere utskytningshastighet. Uten mantelen vil deler av prosjektilet falle av i små blypartikler. Hovedpartiklene som vil være dratt av er bly og blyoksid. En annen kilde for bly forurensning er primeren. En primer består av flere deler; detoneringsmidler, oksidasjonsmidler, drivstoff og andre bindemidler. .22lr bruker Blytrinitroresorcinat eller «lead styphanate» som et detoneringsmiddel i sine primere. «National Center for Biotechnology Information» markerer stoffet med følgende kjemiske faresignaler:



Danger

H200: Unstable Explosive [Danger Explosives]

H302: Harmful if swallowed [Warning Acute toxicity, oral]

H332: Harmful if inhaled [Warning Acute toxicity, inhalation]

Figur 9: Bilde viser farer på ammunisjonspakning (er et utsnitt fra NCBIs artikkel "Lead styphnate"[28])

Oksidasjonsmiddelets oppgave i primeren er å tilføre mest mulig oksygen i reaksjonen. Dette skyver reaksjonsligningen mot høyre og nærmer fullstendig forbrenning av primeren. Likevel vil det alltid være igjen ubrente rester. Dagens primere bruker bariumoksid som oksidasjonsmiddel. Gjenværende bariumoksid vil være spredd i lufta eller ligge igjen som pulver på våpenet.

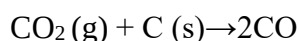
Patroner har vært brukt siden tidlig 1800 tallet. Det er to hoveddeler til patroner; prosjektilet og krutt. Desto mer krutt desto mer energi utløst. Krutt har tidligere vært laget av flere forskjellige substanser, men i dag er sammensetningen av kaliumnitrat, kull og svovel. Reaksjonsligningen for teoretisk fullstendig forbrenning av krutt er gitt under:



Formel 5: Reaksjonsligningen for teoretisk fullstendig forbrenning av krutt [43]

Formel 5 er en forenklet reaksjonslikning for teoretisk fullstendig forbrenning av krutt. Kaliumnitrat, kull og svovel reagerer sammen og danner kalsiumsulfat, karbondioksid og dinitrogen. Likningen er hentet fra Compoundchem's siden «The Chemistry of Gunpowder» [43].

I realiteten vil forbrenningen være ufullstendig på grunn av for lite oksygen eller feil forhold mellom reaktantene. Ved ufullstendig forbrenning vil den giftige gassen CO dannes fra reaksjonen mellom kull og CO₂. Dette kan ses i reaksjonslikningen vist i formel 6. På samme måte som blyoksid vil også CO nivået økes ved gjentakende avfyring og ved dårlig ventilasjon kan dette være livstruende.



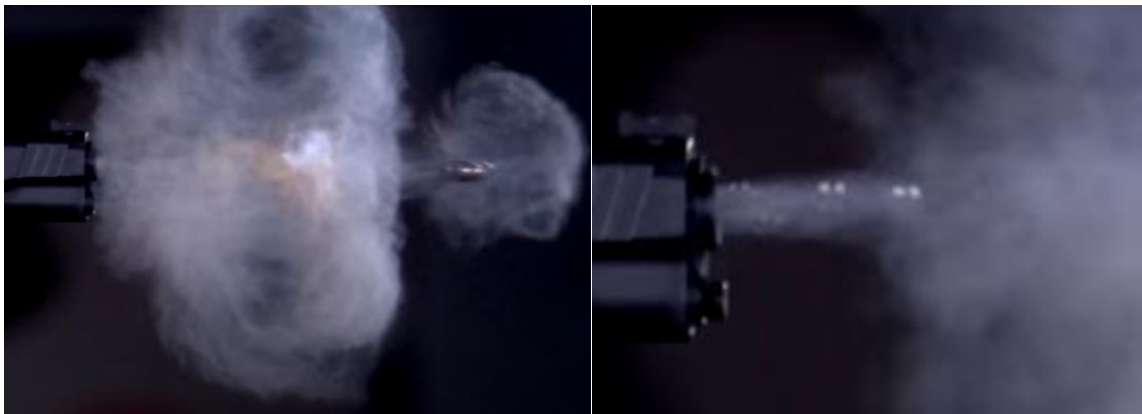
Formel 6: Ufullstendig forbrenning av krutt

Formel 6 viser reaksjonslikningen som forekommer etter ufullstendig forbrenning av krutt. Karbondioksid reagerer med varmt kull og danner den giftige gassen karbonmonoksid.

Stoffene som forekommer på en skytebane, oppfører seg som luftbårne partikler. Massen deres er så lav at de kan henge i luften over lengre tid. En person kan bli utsatt for disse partiklene på tre forskjellige måter;

- Den første og mest eksponerende måten vil være innånding eller svelging av metallstøvet som forekommer direkte etter avfyring. En sky av metalstøv vil ekspandere over og rundt

våpenet. Først vil produkter fra forbrenningen av primeren rømme ut av munningen og forme en liten sky. Like etter vil produkter fra forbrenning av kruttet følge etter i en mye større sky. I illustrasjonen nede til venstre kan man se begge skyene og prosjektilet like etter avfiring. Bildet nede til høyre viser fragmenter av patronen bli utløst i høy fart etter prosjektilet. Fort etter vil forurensningsskyene sammenslås i en turbulent strømning som ekspanderer i alle retninger, også mot skytteren.



Figur 10: Bilde av patron som avfyres

- Andre konfrontasjon mellom skytter og partiklene vil være når skytteren går mot målskiven. For å sjekke hvor treffsikker man har vært etter skyting flytter man seg gjennom banen til målskiva. Luftbårne metallfragmenter vil befinne seg i denne åpne plassen mellom standplassen og skiva, og faren for innånding er stor. Samtidig vil også prosjektilfragmenter ha spred seg etter kollisjonen med målskiva. Partiklene vil kunne observeres både som luftbårent støv og fast stoff og vil kunne innåndes og kjennes på tungen.
- Tredje måte å bli utsatt for farlige stoffer fra pistolen er rester fra pistolen og tomhylsen. Kobberskallet som blir utløst fra utkastingsporten nær skytteren vil inneholde ufullstendig brent krutt og kunne utsette skyteren for dette. Også andre stoffer fra primeren vil kunne treffe skytteren. Tyngre partikler som bly vil kunne legge seg på flater, men også på klær og på kroppen. Dette er en av hovedgrunnene til at hygiene og vask er viktig. Noen skyttere foretrekker å konstruere ammunisjon på egenhånd og gjenbraker derfor patronhylsene sine. Dette kan utsette både dem og andre for inntak av farlige stoffer hvis det ikke blir gjort med forsiktighet og hensyn på helse.

2.4 Stoffenes påvirkning av kroppen

I skytebanehaller finnes det en rekke ulike type forurensende stoffer og gasser. Blant de er det bly(Pb_{82}), kobber(Cu_{29}), kvikksølv(Hg_{80}), sink(Zn_{30}) og karbonmonoksid(CO).

Den viktigste eksponeringen av bly skjer gjennom innånding av blyholdig støv/gass. Eksponering av større mengder bly kan i de verste tilfeller føre til blyforgiftning. Det skilles mellom akutt og kronisk/langsom blyforgiftning. På skytebanehaller vil den kroniske typen være mest fremkommende, da man eksponeres for en viss mengde bly over lang tid. Et problem med denne typen er at det ikke oppstår karakteristiske symptomer [3].

Bly omsettes ikke i kroppen, og vil derfor samles opp og føre til organskader. Beinmarg, nervesystem, lever, nyre og hormonproduserende organer er utsatt for skade ved blyforgiftning. Ved kronisk forgiftning kan det medføres skade på blodcellene, hjernen og de perifere nerver, og

muligens også øke risikoen for høyt blodtrykk på grunn av nyreskade. I kroppen tar bly plassen til kalk i skjelettet, og lagres der. Dette kan føre til at blyet frigjøres og kan føre til forgiftning når benvevet nedbrytes, for eksempel ved brudd eller alderdom.

Bly bindes også lett til blodets proteiner og andre kroppsvæsker. Det blir derfor lett tatt opp i sirkulasjonen og transportert videre. Dette kan være svært farlig for gravide, da det kan bli ført over til fosteret, og den normale utviklingen av hjernen kan bli forstyrret. Bly har dessuten en stimulerende virkning på det glatte muskelvevet, særlig i tarmene og livmoren, noe som kan føre til smertefulle kramper og en sterkt økt risiko for abort [4].

Grenseverdi for forurensing av bly i arbeidsatmosfæren er på $0,05\text{mg/m}^3$ ifølge Arbeidstilsynet. Referanseområde for barn er mindre enn $0,5\text{ }\mu\text{mol/l}$ ($10,0\text{ }\mu\text{g/dl}$) og referanseområde for voksne er mindre enn $1,0\text{ }\mu\text{mol/l}$ ($20,7\text{ }\mu\text{g/dl}$). Ved klinisk blyforgiftning er nivået hos voksne som oftest høyere enn $3,0\text{ }\mu\text{mol/l}$ ($62,2\text{ }\mu\text{g/dl}$) [5].

Innånding av andre metaller som kobber, kvikksølv og sink kan forekomme i skytebanehaller. Eksponering for dette kan gi irritasjon i nese og hals. Innånding kan gi akutt metallfeber. Symptomene kan være feber, frysninger, muskelsmerter, uvelhet, tarmplager, hoste, allmenn svakhet og tretthet. Dette kan minne om influensa [6][7].

En annen gass som kan befinne seg i skytebanehaller er karbonmonoksid. Karbonmonoksid (CO) er en giftig gass uten farge eller lukt. Karbonmonoksid dannes ved ufullstendige forbrenninger. Det vil under enhver forbrenning dannes litt av denne gassen. Gassen er lettere enn atmosfærisk luft, og vil derfor innendørs legge seg rett under tak [8].

Karbonmonoksidforgiftning skyldes innånding av karbonmonoksid. I kroppen vil karbonmonoksid fortrenge oksygenet fra hemoglobinet i de røde blodcellene og danner karboksyhemoglobin (COHb), som reduserer oksygentilførselen til vevene og hemmer åndedrettet. Det som kan skje ved forgiftning er effekter på hjerte- og blodkarsystemet som rytmeforstyrrelse, hjertekrampe og hjerteinfarkt, effekter på nervesystemet som fører til adferdsforstyrrelser og effekter på fosterutvikling som kan føre til for tidlig fødsel og lav fødselsvekt. De første symptomene på forgiftning er hodepine, tretthet, hjertebank, dunking i tinningene, øresus og kvalme. I de mest alvorlige tilfellene forekommer kramper etterfulgt av pustevansker som fører til død [9].

Luftkvalitetskriterier for CO; 80 mg/m^3 i 15 minutter, 25 mg/m^3 i 1 time og 10 mg/m^3 i 8 timer [10].

2.5 Simcenter Star CMM+

Programvaren Simcenter Star CMM+ er utgitt av Siemens og er klassifisert som et CFD-simuleringsprogram. CFD står for computational fluid dynamics (numerisk kalkulering av væskedynamikk). Simcenter STAR-CMM+ er verktøyet ingeniører anvender primært i bil og flyindustrien. Programmet bistår med beregninger for en teoretiskmodell slik at ingeniører kan få et tilnærmet realistisk svar før en faktisk modell blir bygget. I bilindustrien er dette et unnværlig verktøy for å kalkulere aerodynamikken og påvirkningskraften fra luften. Fordeler fra dette kan også beskrive et ventilasjonssystem. Formålet er å simulere luftstrømninger på skytebanehaller. Simuleringen av luftstrømninger vil være veiledende for å påvise egenskapene og strømmningsretning. Det ønskedes er å påvise en laminær strømning fremfor en turbulent strømning.

Før resultatet kan oppnås er det flere steg brukeren må utføre i programmet. Det første steget er konstruksjon av selve modellen i kombinasjon med forskjellige komponenter. Tilluft og avtrekk defineres. Når modellen er ferdig kan komponentene ses i det som heter «CAD view».

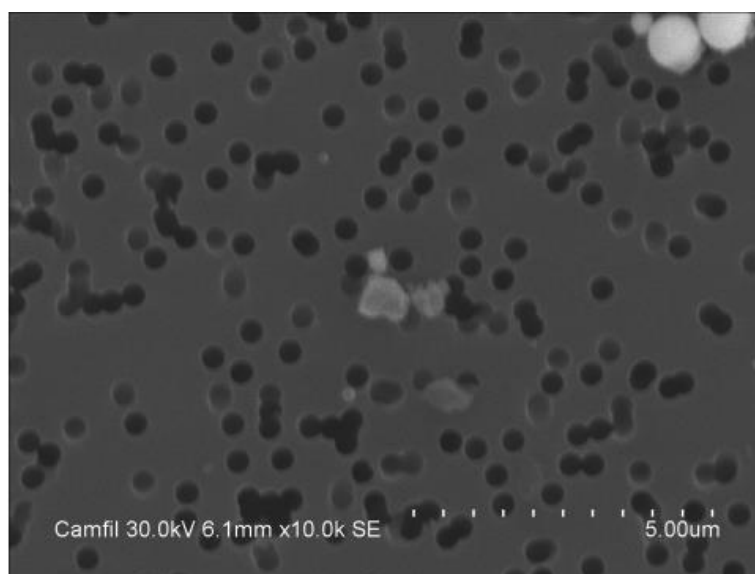
Andre steg innebærer å initialere fysikalske egenskaper og betingelser for modellen. Steget innebærer å sette fysikalske og maskeringskriterier. Når ønskede innstillinger er valgt omformes modellen til et netting-mønster lignende midlertidig modell. Den midlertidige modellen er nå klar til å simulere luftbevegelsene. Base size kan ses på som en oppløsning som forklarer hvor pikselert den simulerte modellen skal være. Desto lavere størrelse på base size, desto finere maskering. Finere maskering vil gjøre løsningsforslaget mer realistisk. Det tredje og siste er presentasjon av løsningsforslaget.

Den numeriske kalkuleringen av modellen er en iterativ prosess. Prosessen kan ha alt fra fem hundre til ti tusen kalkuleringer. Dette kan være en veldig tidkrevende prosess. Under denne prosessen åpnes det et «residual»-fane. Bruker kan se kalkuleringens prosess og progress. Når samtlige av variablene konvergerer mot null og kalkuleringen opphører, kan det konkluderes at modellen er realistisk. Resultatet kan senere bearbeides i views som «scalar» og vektor.

2.6 Partikkel Analyse

SEM-analyse

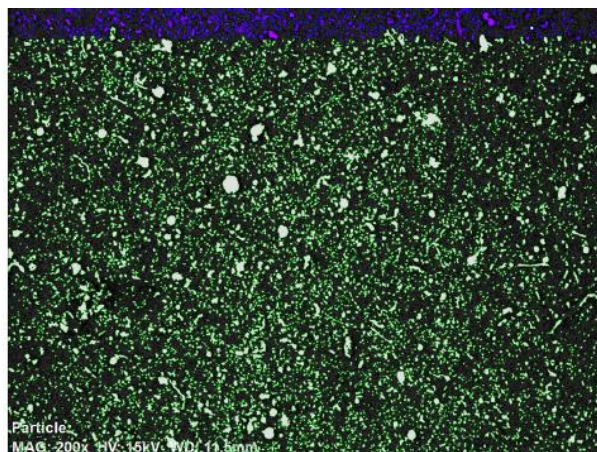
SEM- står for sveipeelektronmikroskop og brukes til å studere antall, form og størrelse av partiklene. Partikler fra cirka 0.4 μm diameter og nedover blir fanget opp av hulrommene inni membranen. Resultatene vises i bilder fra forstørrelsene 50x-10,000x. For mer detaljert beskrivelse kan rapporten fra Camfil i vedleggene A, B og C leses.



Figur 11: Et eksempel på resultater fra SEM-analyse. Bildet er av romluft ved 10,000x forstørrelse

EDS-analyse

EDS-analyse bruker «energy-dispersive spectroscopy» detektor, altså et røntgenanalysesystem til å studere den enkelte partikkelen (partikkelstørrelse må være større enn 2.0 μm). Resultatet vil kunne vises i et enkelt 200x røntgenbilde som viser forskjell i stoffer i forskjellige farger. I tillegg vil en tabell oppgis. Tabellen vil angi «klasse» (type stoff), størrelser og en forklaring på stoffets opprinnelsesgrunner. Ettersom bare 300 partikler kan analyseres vil også ikke analyserte partikler bli nevnt. Av de partiklene som faktisk ble analysert kan også forskerne forslå deres opprinnelse og peke ut uvanlige partikler fra prøven. Gruppen forventet opptak av noen uvanlige stoffer. Disse skal senere vurderes og kommenteres i resultat delen.



Figur 17: Rumluft

Klass	2-5 µm	5-10 µm	10-20 µm	20 µm+	Totalt	Förklaring
Barium	40	123	45	8	216	-
Bly	65	96	22	1	184	-
Svavelinnehåll	1	2		1	4	-
Organiskt		1			1	Hud, Textiler, Förbränningsaggregat
Mineral/Sand		1			1	Olika typer av mineral
Koppar	1				1	-
Ej analyserade	1472	3287	1063	173	5995	Maximalt 300 partiklar analyseras
Totalt	1579	3510	1130	183	6402	

Figur 12: Bilde av EDS analyse.

Figur 12 viser et røntgenbilde som viser refleksjon fra de forskjellige stoffene og en tabell som kommenterer hvilke stoffer det er.

3 Metode

3.1 Termisk anemometer

Luftmengdemålinger ble utført i samsvar med « *Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer* ». Under forsøket ble Swema 3000 instrument benyttet med termisk anemometer. Instrumentet er oppbygget som et teleskop med et tynt wolfram tråd og barometer med temperatur. Barometer og temperatur korrigerer til korrekt luftdensiteten. Wolframtråden blir oppvarmet når kretsen tilføres elektrisitet. Det er to måter å beregne lufthastighet på, varmetapet eller resistansen i tråden. Forholdet mellom motstand og hastighet muliggjør denne konverteringen. På enden av teleskopet er det en pil, pilen skal stå med luftmengderetningen.



Figur 13 SwemaAir [40]

Egenskaper og begrensninger for termisk anemometer Swema Air5	
Måle området	
Lufthastighet	0,1 ... 12 m/s (alternativt 30 m/s)
Temperatur	-20 ... 80 °C
Barometer	600 ... 1200 hPa
Målesikkerhet ved +10 ... +30 °C	
±0,05 m/s ved 0,1 ... 1,33 m/s	
±5% avlest verdi når 1,33...30 m/s	

Tabell 4 Egenskaper og begrensninger for termisk anemometer Swema Air5, hentet herifra Swema [40]

Målinger utføres etter følgende prosedyre

1. Identifiser kanal med mest gunstig strekk. Helst tre ganger diameter eller bedre.
2. Identifiser kanalenes størrelse og form. Trykk på «MENY1», sett «mode» til «APF», «Ø» for sirkulær eller «H x B» for rektangulære kanaler. Enhet settes til «m3/h». Instrumentet tar høyde for resterende parametere.
3. Målingene utføres i samsvar med traversmetoden.
4. Lagre målingene etter 4 eller 5-punktsmåling. Åpne logg under «MENY1» og protokollfør målingen.

K₂-faktoren er automatisk tatt med i utregningen når innstillingene er oppsatt slik som beskrevet.

Lufthastighetsmålingene ble også utført med Swema 3000. Målingene ble utført i pustesonen i en høyde på 1,55 m. Proben ble montert på et stativ for å kunne ta stabile målinger.

3.2 Traversmetoden

Traversmetoden beskriver punktvis hastighetsmåling i ventilasjonskanal. Uavhengig om det er prandtl-/pitotrør eller termisk anemometer. Tabell 7-2 i ventilasjonsbibelen beskriver hvor målepunktene befinner seg i kanalen. Målepunktene er aldri plassert inntil kanalveggen, men omtrentlig 2-5 cm fra veggen etterfulgt av en senter måling.

Diameter Ø	Anbefalt antall målinger	Sentermåling
100 - 160	4	NEI
200 - 400	5	JA
500 < Ø	8	JA

Tabell 5: Målepunkter i kanal

Korreksjonsfaktoren tar høyde for turbulent strømning og tverrsnittet. Faktoren er ulik for kanalens form og størrelse. Målingene blir pålitelige av å anvende k_2 -faktoren fremfor å ikke bruke. Målingene ble utført i samsvar med tabell 7-2. For ø500 ble det tatt en ekstra punktmåling slik at antallet ble 9.

3.3 Simcenter Star CMM+

3.3.1 Mesh-innstillinger

Følgende innstillinger ble valgt for nettingsmønster

- Thin Mesher
- Surface Remesher
- Base size = 0,1 meter

3.3.2 Fysikalske egenskaper

Følgende innstillinger er valgt for fysikalske egenskaper

- Solution Interpolation
- Two-Layer All y^+ Wall Treatment
- Wall Distance
- Realizable K-Epsilon Two-Layer
- K-Epsilon Turbulence
- Steady
- Constant Density
- Gradients
- Segregated Flow
- Gas
- Three Dimensional

3.3.3 Modell konstruksjonene

Det er laget modeller av Horten skytebanehall og Tønsberg skytebanehall. Formålet er å lage en så naturtro modell som mulig for å kunne simulere effekten av ventilasjonen på de to skytebanehallene. Det er også modellert inn mennesker i modellene for å kunne gi et så realistisk bilde som mulig og få en indikasjon hvordan ventilasjonen fungerer når banene er i bruk.

Grunnlaget for modelleringen er tatt ut ifra skytebanene. Modellene har noen avvik fra virkelig modell. Skytebanehallene er modellert med riktige lengder og mål, og det er også tatt med riktige diametere på de ulike kanalene. Det er tatt med kulefangere som ikke er i vegg. «Base size» for maskenettet er satt til 0,1 m, dette gir en høy oppløsning på modellen. Lave verdier for «base size» gir mer nøyaktige beregninger.

Horten

Horten var den første banen hvor målingene ble foretatt. Denne skytebanen har tilluft tilført fra fem spirorør fra provisorisk tak for å øke hastigheten over tverrsnittet. Banen heller naturlig nedover med omtrent åtte grader. Nivåer er separert med trapper. Bildene er tatt på plassen og fundamentet for modellbyggingen.



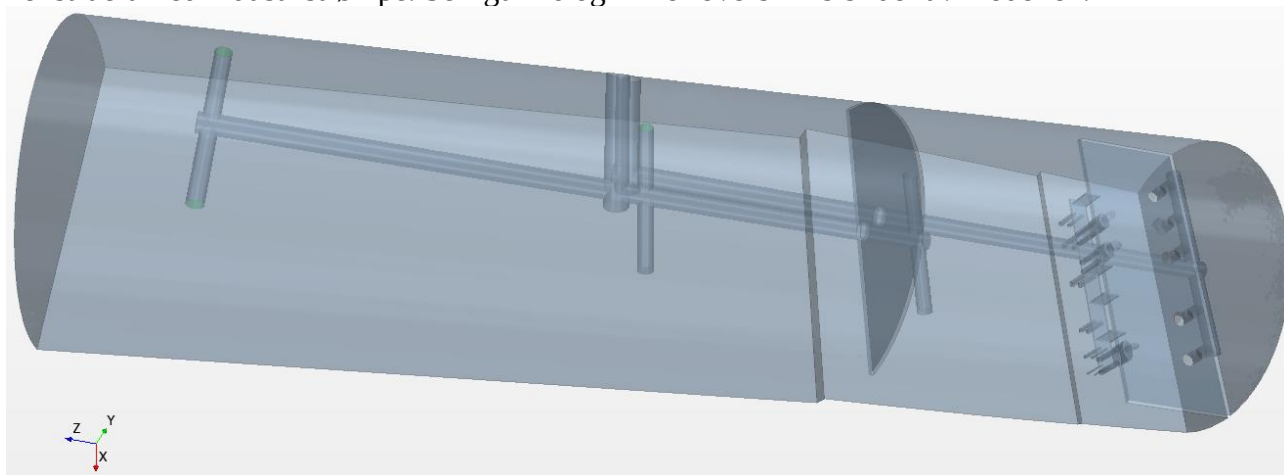
Figur 14: Bilde fra standplassen på Horten skytebanehall

Skivene er plassert omtrent femten meter fra standplassen. Avtrekken er synlig (punktene på bildet er maks strupt), tilluften kommer over standplassen. Avtrekken har til sammen seks avgreninger. De ser ut som på figur 14, kun plassert lenger bak.



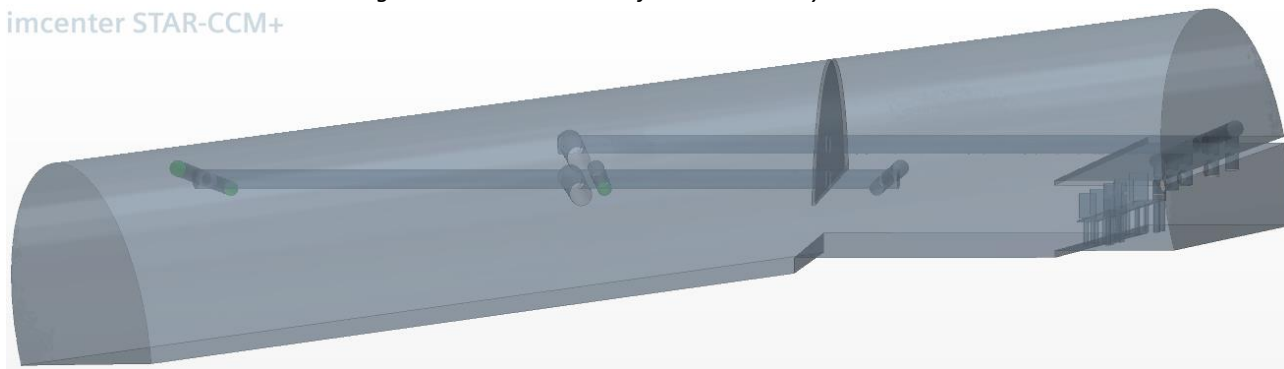
Figur 15: Bilde av plassering av tilluft Horten skytebanehall

Tilluften har blitt montert slik figur 15 viser som fungerer som en midlertidig løsning. Planen er å montere en industristrømpe som er bestilt, men ikke ankommet. Modellen laget i Star CCM+ er konstruert med industristrømpe. Se figur 16 og 17 for overblikks bilder av modellen.



Figur 16: Modell sett ovenfra av Horten skytebanehall

imcenter STAR-CCM+



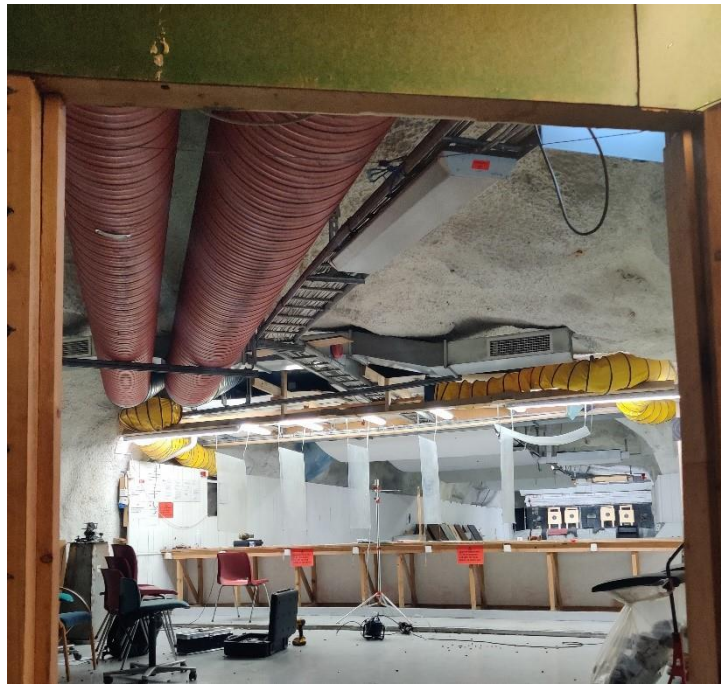
Figur 17: Modell sett fra siden av Horten skytebanehall

Modellen representerer ikke virkelighet eksakt, men fungerer som en tilnærming. Det var ikke muligheter for å se over tak, for å se etter spjeld. En antagelse som ble gjort for modellen er innregulert tilluft. Hver tilluftsventil avgir $0,41 \text{ m}^3/\text{h}$ og de tre aktive avtrekken trekker $0,81 \text{ m}^3/\text{h}$ luft.

Tønsberg

Tønsberg skytebanehall er lokalisert i et fjellanlegg. Utforming på banen er som en halvsylinder, og bak standplass er det en helning nedover og fram til selve inngangspartiet til banen.

Utformingsprinsippet på banen er omrøring og her er tilluften rettet både mot målskivene og fra målskivene. Tilluft og avtrekk er plassert i en avstand mindre enn 5 meter fra hverandre. Det er en åpen spirokanal og monterte baderomsventiler. Det sentrale avtrekket er plassert rett foran standplassen. Det er andre avtrekkspunkter også og de befinner seg lengre utpå banen. Det er tilluftspunkter etter standplass, men disse er helt stengt.

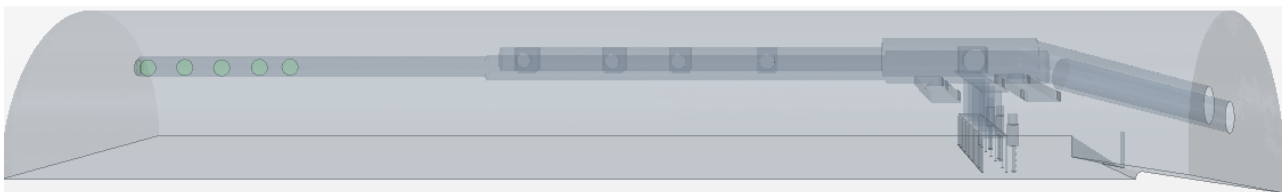


Figur 18: Bilde av Tønsberg skytebanehall, fra bak standplass

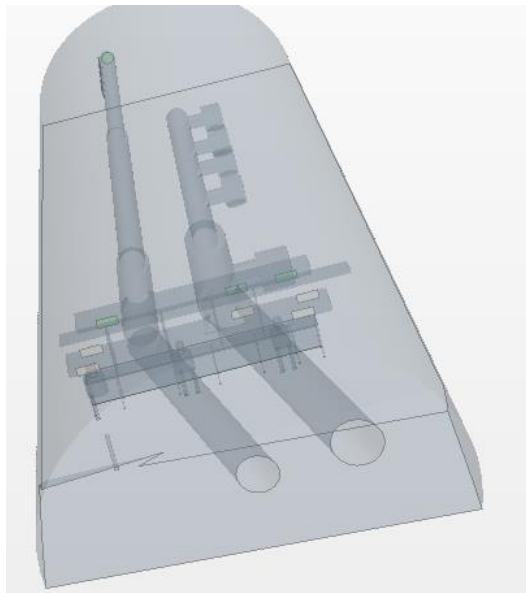


Figur 19: Bilde av Tønsberg skytebanehall fra målskivene

På Figur 20 ser man at det er åpne rister uten kammer bak, dette betyr lavt eller ingen trykkfall. Avtrekken foran standplassen var helt åpen. Resterende tilluft ut på banen var maks strupt. Alt dette er informasjon som muliggjorde gjenskapelsen av banen ved hjelp av STAR CCM+, se figur 20 og 21.



Figur 20: Modell sett fra siden av Tønsberg skytebanehall

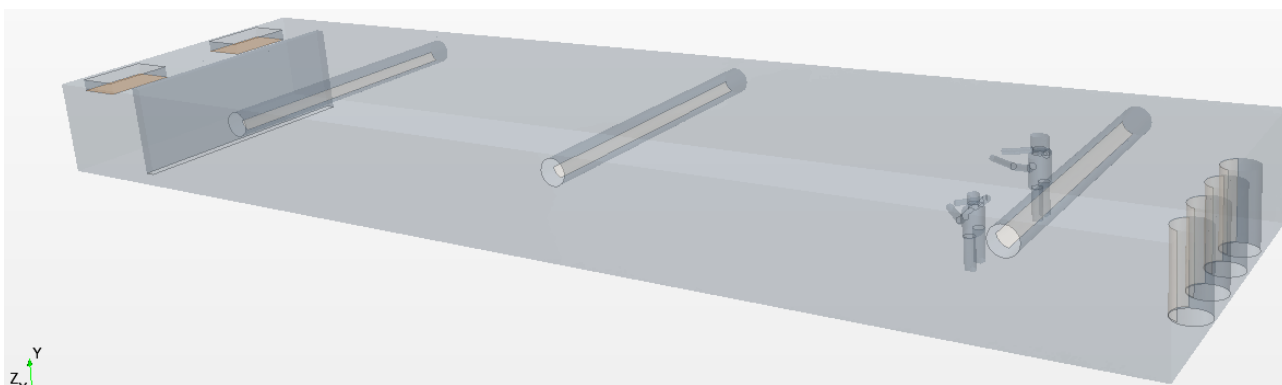


Figur 21: Modell sett ovenfra av Tønsberg skytebanehall

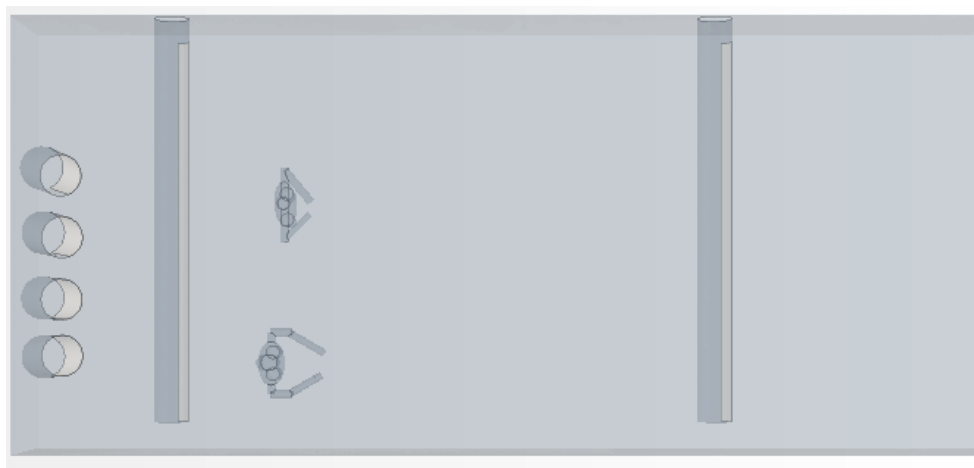
Hensikten med å forlenge modellen lenger bak var å se konsekvensen av å rette tilluften bakover i rommet. Inneklima vurdering med luftbevegelser er viktig for å kunne bestemme om hvorvidt partikler blir dyttet vekk eller stillestående.

KRIPOS

Figur 22 er en gjenskapning av en av KRIPOS sine skytebanehaller basert på et besøk her. Hos dem var det ikke mulighet for å få utført målinger, men det ble tatt mål av dimensjonene på banen og tegnet skisser som figur 22 baserer seg på. Den har en rektangulær konstruksjon med fire tilluftsdoner i bakgrunnen og tre industriposer. Dimensjonene er lengde 32m, bredde 8m og høyde 2,4m.



Figur 22: Modell av KRIPOS skytebanehall sett fra siden



Figur 23: Modell av KRIPOS skytebanehall sett ovenfra

Modellen av KRIPOS sin skytebanehall er brukt for å kunne sammenligne med Horten og Tønsberg sine modeller. For denne modellen er det utført en del simulering for å komme frem til best mulig scenario. Det ble utført med kun tilluftsdoner og uten industriposer, og med industriposer og uten tilluftsdoner. Luftmengdene ved normal drift og luftmengder funnet på andre skytebaner ble benyttet. Ved å sette like premisser vil medføre at resultatene er sammenlignbare.

3.4 Måleprosedyre

Skytebanehallene var ikke i normal drift på grunn av korona og vil derfor ikke belastes som normalt. For å få en reel stresstest vil samme prosedyre følges på begge banene. Prosessen utført i denne oppgaven er heretter kalt *prosedyre alpha*.

Prosedyre alpha er som følger:

- alltid tre skyttere** som skyter under eksponeringsprosessen.
- alltid samme tre våpen og samme ammunisjon** som blir brukt. I kapittel 2.3.1 er antakelsen for mest brukte ammunisjoner oppgitt. Det velges derfor å bruke 2 våpen med 22.lr patron og et med 9mm patron.
- alltid likt antall skudd avfyrt** mellom hvert intervall under eksponeringsprosessen. For å forestille realistisk situasjon er det derfor valgt 50 patroner per person per intervall. Det resulterer igjen inn i 300 patroner avfyrt under hele eksponeringsprosessen.
- alltid samme posisjonering av skyttere**. Skytterne skal alltid stå med en standplass avstand mellom seg. Eksempelvis 1,3,5 eller 2,4,6.

3.5 Partikkel telling

Det ble gjort partikkeltellingsmålinger for å observere endringen i luftforurensningen under skyting. Målingene ble gjort over en tidsperiode på tre og en halv time, der et gjennomsnittlig intervall var på 15 minutter.

Instrumentet som ble brukt til partikkeltelling heter *AEROTRAK HANDHELD PARTICLE COUNTER 9306*. Det mest gunstige hadde vært å logge under skyte-prosessen, men dette var ikke mulig med instrumentet som var til rådighet. For å motvirke dette ble det utført regelmessige målinger. *AEROTRAK HANDHELD PC 9306* ble brukt for å ta opp data fra partikkeltelleren ved hjelp av et isokinetisk 0.1 CFM inntak. [31] Instrumentet kan gjøre separate opptak av partikler i størrelsene fra 0.3 μm til 10.0 μm . Svaret vil bli fremstilt i en tabell med hensyn på tid, partikkelstørrelse og antall partikler.

Målingene av partikkelstørrelsene ved standplass ble utført kontinuerlig for å kunne kartlegge en mer detaljert endring rundt skytteren. Målinger midt på banen, nær målskivene og andre steder ble utført med jevne mellomrom. Målepunktene er som beskrevet i modellen i figur 24 og 26 for henholdsvis Tønsberg og Horten. De vises som hvite sirkler og ligger i pustesonen på 1.55m. Punkt 1 ligger rett vedsiden av skytterens munn og er sirka 60 cm fra utslippskilden, altså pistolen. Punkt 2 er kritiskpunkt, det vil si at den ligger i den delen av banen hvor tettheten av forurensningene er forventet høyest. Ifølge artikkelen «Report on Study Findings Regarding Pollution Levels in Indoor Shooting Ranges and Ventilation System Design to Limit Them» vil dette punktet ligge 5 meter fra våpenet.

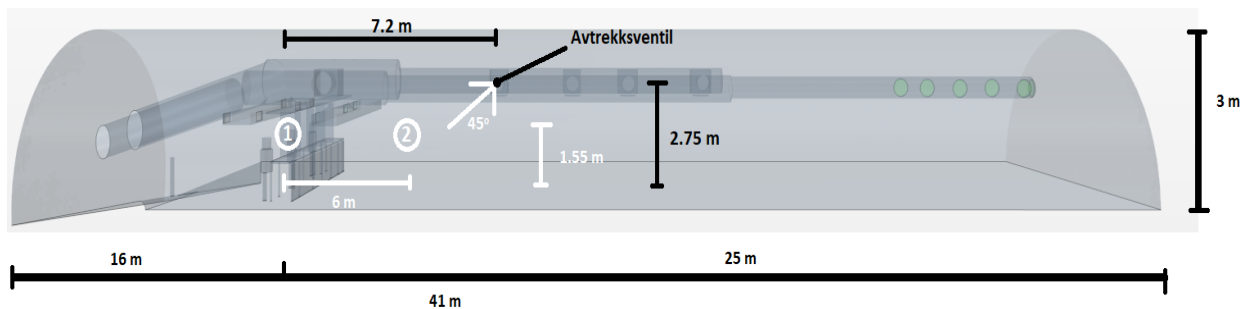
Modellen av Tønsberg skytebanehall vist i illustrasjon 1 ble brukt til å regne ut plasseringen av det kritiske punktet. En avtrekksventil (se bilde 1) ligger 7.2 m fra standplassen vent rett ned mot gulvet. Den effektive høyden antas å være 2.75 meter. Det antas også at gjennomsnittsvinkelen avtrekket virker på det kritiske punktet er 45 grader. Formel 7 bruker Pythagoras til å regne ut det kritiske punktet (hvitt punkt 2). punktet ligger 6 meter fra standplassen, mens høyden forblir 1.55 m.

$$|\angle c = 90^\circ | \angle A = \angle b = 45^\circ \rightarrow a = b|$$

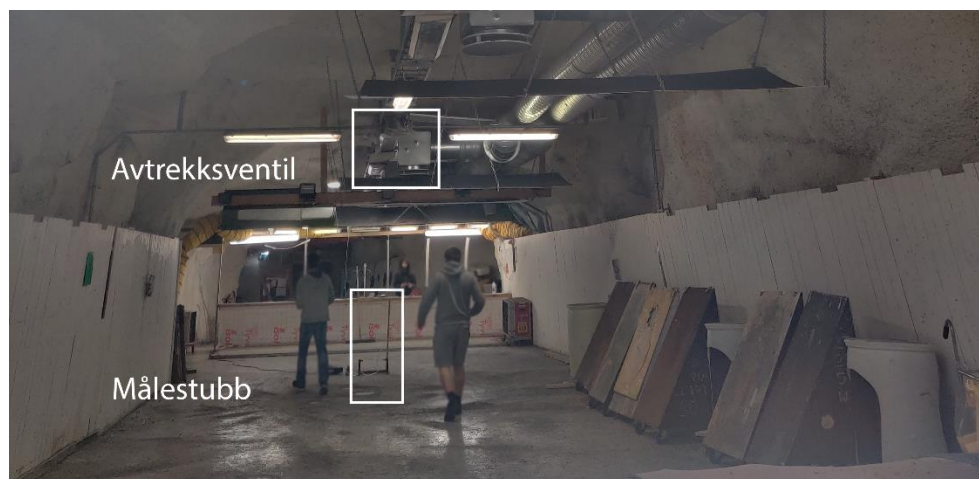
$$a = 2.75 \text{ m} - 1.55 \text{ m} = 1.2 \text{ m}$$

$$d = 7.2 \text{ m} - 1.2 \text{ m} = 6 \text{ m}$$

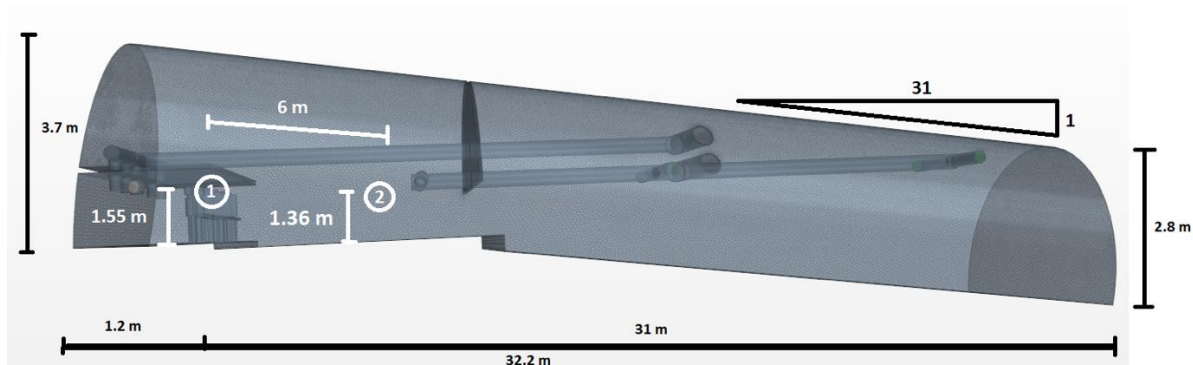
Formel 7: Utregning for plassering av det kritiske punktet



Figur 24: Modell av Tønsberg nedre skytebanehall



Figur 25: Bilde av Tønsberg nedre skytebanehall med avtrekksventiler.



Figur 26: Illustrasjon av Horten skytebanehall med et helningsforhold på 31:1.

I motsetning til Tønsberg har Horten en gradvis helning i forholdet 31:1 på sin skytebanehall (se Figur 26). Dette utfordrer konseptet for plassering av det kritiske punktet. Lengden mellom standplass og det kritiske punktet settes også her til 6 m for å følge prosess alpha. For å regne ut høyde derimot ble helleforholdet brukt. Punkt 2 bør plasseres i høyden 136 cm på en flat bakke.

3.6 Partikkel analyse

Partikkelidentifiseringen består av to deler. Den første delen tar for seg selve prøveinnsamlingen, den andre delen er analyser utført av Camfil.

Utstyret som ble brukt til den første delen var en målestubbe, et pitotrør, ei pumpe og en slange. Slangen ble koblet fra pumpa til pitotrøret. I den andre enden av pitotrøret ble membranen festet. Ved hjelp av pumpa ble 6L luft sugd inn og fanget opp av membranen. Målestubben fulgte med en hette for å dekke den sensitive membranen og beskytte den fra å bli forurensset av stoff fra klær, hud partikler og andre uønskede kontaminasjoner.

Målestubbene ble plassert i samme posisjon som der partikkeltellingene ble utført, altså i pustesonen til skytteren og ved det kritiske punktet. Se figur 24 og 26 over. Pumpenes vanlige tidsintervall er en time, men etter Camfils anbefaling om redusert tidsintervall ble det valgt et intervall på 30 min. På grunn av begrenset tilgang av membraner var ikke det aktuelt å utføre flere målinger.

Akkurat som partikkeltellings instrumentet kan ikke membranene logge endringene over tid. Derimot er det mulig å simulere en logging ved å redusere Δt . Rett før skyteøkten ble satt i gang ble pumpene aktivert og membranheten fjernet. Pumpene ble holdt gående inntil intervallet var nådd. Etter at skyteøkten var avsluttet ble hetten plassert raskt, men forsiktig tilbake på membranen slik at den ikke inkluderte andre fremmedlegemer. Membrannummeret ble notert og tilhørende informasjon om sted, tid og plassering ble markert av, for lettere å kunne skille mellom dem.

I artikkelen «Report on Study Findings Regarding Pollution Levels in Indoor Shooting Ranges and Ventilasjon System Design to Limit Them» er det gjort målinger i løpet av en seks timers periode [25]. De seks timene utgjør 13 målinger, hvorav fire er foretatt før skyting.

Prosedyre *alpha* tilsvarer totalt ble syv målinger utført, der to av dem var før skyting. Den første målingen ble utført for å vurdere bakgrunns konsentrasjonen av utslippet når skytebanen ikke er i bruk. Den andre målingen er for å bekrefte at det ikke er noen endringer i luftkvaliteten, mens banen ikke er i bruk. Dermed forsikres det at en times tilleggsmålinger som rapporten nevnt over hadde ikke er nødvendig.

Den andre delen av analysen ble utført av Camfil. Prøvene ble samlet inn hos Camfil og sendt videre til laboratoriet deres i Sverige for analyse. De benyttet to ulike typer analyseteknikker for å vurdere antall, form, størrelse og identitet til de luftbårne partiklene.

3.7 Røyktest

Det ble benyttet en røykpenn til å utføre en røyktest. Røykpennen fungerer som en luftstrømindikator, som raskt kan indikere små luftstrømmer og eventuelt trekk. Røykpennen består av en penn, som er beholderen og en vek, som legges inn i pennen. Veken tennes med en fyrstikk eller lighter. Den avgir røyken som danner grunnlaget som benyttes for observasjonene. Røyken inneholder ingen farlige eller etsende stoffer.



Figur 27: Bilde av røykpennen som tennes på



Figur 28: Bilde av veken med flamme



Figur 29: Bilde av flammen slukket, røyk opptrer

Røyktesten ble utført før skyteøktene på begge baner, for å få et inntrykk av luftstrømmene. Begge ble utført ved standplass. Dette ble gjort for å sjekke om tilluften var plassert slik at det fungerte like optimalt på alle standplasser.

3.8 Spørreundersøkelse

En av metodene som har blitt benyttet for å samle informasjon var spørreundersøkelser. Dette ble brukt for å få et nærmere innblikk i skytebanehallene som det har blitt tatt målinger i. Det var også for å underbygge antagelsene som ble nevnt i teorien, om blant annet mest brukte skytevåpen og patroner. Spørreundersøkelsen besto av spørsmål knyttet til renhold, hygiene, sikkerhet og symptomer på dårlig inneklima. Målgruppen ble først satt til skyttere ved de to skytebanehallene i Tønsberg og Horten, men grunnet lite svar, ble målgruppen utvidet til noen flere skytebanehaller. Det ble benyttet Google Forms til å lage spørreundersøkelsen, og distribuert gjennom vår kontakt i skytterforbundet. Spørsmålene skulle besvares i en kombinasjon av fler valg og egendefinerte svar. Spørreundersøkelsen er vedlagt i vedlegg D.

3.9 Intervju

Et virkemiddel som ble benyttet var intervju. I motsetning til spørreundersøkelsen, så har målet her vært å få innspill fra eksperter. Det ble valgt tre intervjuobjekter en fra Caverion, en fra Camfil og en fra Arbeidstilsynet. Både Camfil og Caverion er store innen ventilasjon, og tilbyr produkter som luftrensere og luftfiltre. Caverion ble valgt primært ut ifra kontakt i sammenheng med oppgaven. Kontaktpersonen hadde også tidligere målt i Tønsberg skytebanehall og dermed hadde litt referanse fra før. Gjennom oppgaven har det vært et samarbeid med Camfil, blant annet gjennom utlån av utstyr. Til tross for at skytebanehaller ikke er en arbeidsplass, kan det sammenlignes med verdier for luftforurensing. Arbeidstilsynet ble valgt med tanke på kunnskap om lover og regler tilknyttet luftforurensing, spesielt bly og bly partikler.

Intervjuspørsmålene ble valgt i forhold til kunnskapen til de ulike intervjuobjektene. Intervjuene er vedlagt i vedlegg D. I tillegg til spørsmålene inneholdt intervjuet noen av resultatene fra målingene, med baktanke om innspill fra ekspertene om deres oppfatninger, konklusjoner og løsninger.

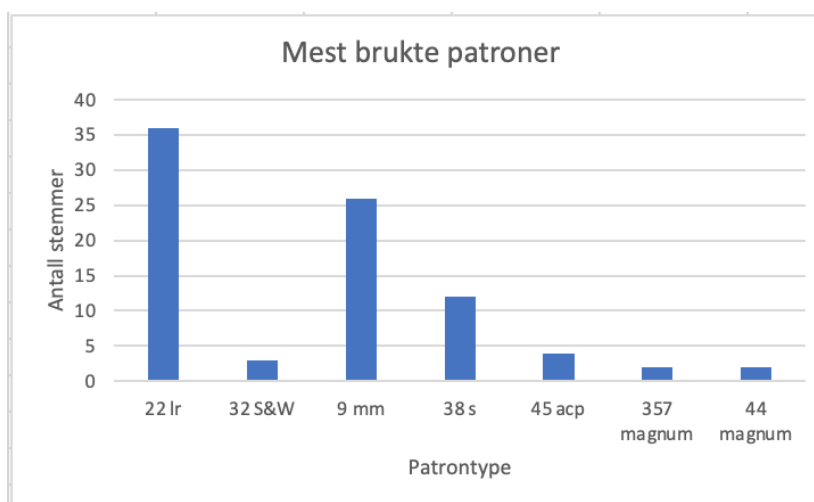
4 Resultater og diskusjon

Målingene ble utført 19. april 2021. Værforhold var som en vanlig vår dag med sol, 16.1 C i Horten og 14.9 C i Tønsberg. Målingene ble først utført på Horten skytebanehall fra 14.00-17.30. Deretter ble det utført målinger på Tønsberg nedre skytebanehall fra 18.00-21.30.

4.1 Spørreundersøkelsen

Resultatene er basert på 45 svar, der 40 er menn og 5 er kvinner og majoriteten er i alderen 51-60. De resultatene som er nyttige for hensikten, som er beskrevet i metode, er tatt med. Alle resultatene er vedlagt i vedlegg D.

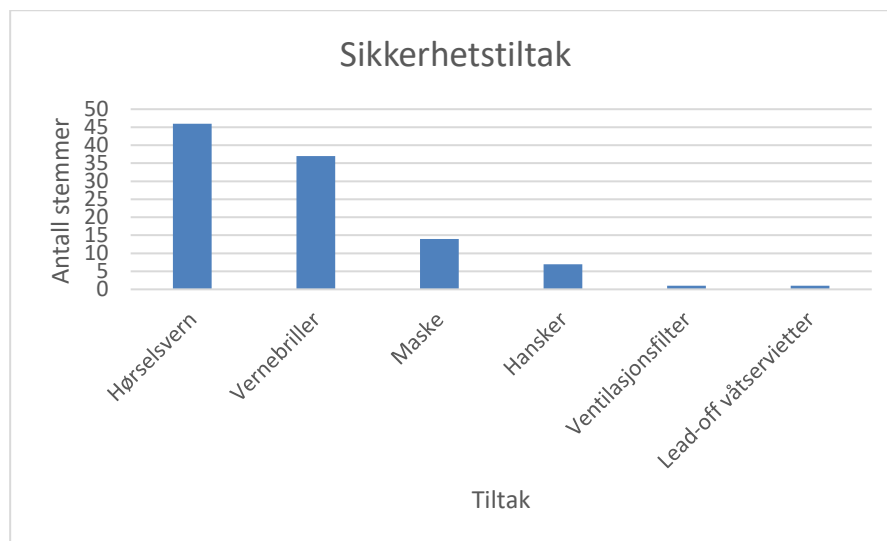
Resultatene viser at gjennomsnitt skutte patroner i løpet av en økt ligger på 93 patroner og gjennomsnitt i antall timer på skytebanen ligger på 1t og 25min. Figur 30 viser de mest brukte patronene, der 22lr, 9mm og 38s er mest benyttet. Resultatene for tiltak med hensyn på hygiene, gitt i figur 31, viser at håndvask med såpe og vann er den mest brukte, sammen med antibac. Det var ikke spesifisert i spørsmålet at Corona tiltak skulle inkluderes eller ekskluderes. Antibac og vask av overflater er derfor usikkert om benyttes til vanlig.



Figur 30: Graf som viser mest brukte patroner



Figur 31: Graf viser sikkerhetstiltak med hensyn på hygiene



Figur 32: Graf av ordinære sikkerhetstiltak

Fra resultatene om ordinære sikkerhetstiltak, gitt i figur 33, er vernebriller og hørselsvern de mest brukte. Resultatene viser også bruk av maske, hansker og lead-off våtservietter (blyfjerning). Der sist brukes for å minimere inntak av farlige stoffer, men blir brukt sjeldent. Skytebanehaller bør vurdere å innføre påbud med engangsmaske og engangshansker, i tillegg til håndvask med såpe. På den måten er ikke luftveiene helt mottakelige for farlige stoffer. Det samme gjelder for hendene med hansker. Dette kan øke oppmerksomheten for å ikke ta seg i ansiktet med hendene. I resultatene var det oppgitt at noen kjente på irriterte øyne, irritert hals, irritert hud og tørre slimhinner. De samme tiltakene kan forebygge dette. Vernebriller er med på å unngå irriterte øyne.

Undersøkelsen bekrefter påstanden til Tarjei om hvilke ammunisjoner som brukes mest. Blant de spurte på denne undersøkelsen er 75% av ammunisjonen som blir brukt .22lr og 9mm. De definerer majoriteten og var mest aktuelle for målingene. Vask og renholds rutiner foreslår at det er store variasjoner fra bane til bane. På Horten svarte 5 av 6 brukere at det ikke vaskes, mens på Tønsberg er det nærmere 1 av 4 som sier at det vaskes etter Camfils anbefalinger. Begge banene har fysiske muligheter for spyling, men banelederne forklarer at på grunn av lite kjennskap til temaet vaskes det ofte med tørr mopp [34]. De som feier er ofte frivillige og er ikke kjent med Camfils vaskerutiner. De utsetter seg selv for metallstøv og sine nærkontakter for fare.

4.2 Lufthastigheter i kanaler

4.2.1 Horten skytebanehall

Første scenario – Pådrag: MAKS			
Dimensjon Ømm	Hastighet - m/s	Luftmengde m ³ /h	
315	8,4	2 276,6	Tilluft
315	7,8	2 110,7	Avtrekk
Luftutskiftning h ⁻¹ = 5,5			
Andre scenario – Pådrag: Komfort (Minstekrav tre ganger luftutskiftning)			
Dimensjon Ømm	Hastighet - m/s	Luftmengde m ³ /h	
315	4,4	1 197	Tilluft
315	4,7	1 278	Avtrekk
Luftutskiftning h ⁻¹ = 3			

Tabell 6: Lufthastigheter i kanal Horten skytebanehall

Aggregatet kan innstilles etter ønsket preferanse. Brukervennlig aggregatoverstyring basert på «Plug-and-play». Tilgang til selve aggregatet. Standardfilter var ikke montert, derimot ble et nødfilter tatt i bruk.

4.2.2 Tønsberg skytebanehall

Første scenario – Pådrag: PÅ			
Dimensjon Ømm	Hastighet - m/s	Luftmengde m ³ /h	
500		2 350	Tilluft
400		2 300	Avtrekk
Luftutskiftning h ⁻¹ = 1,5			

Tabell 7: Lufthastigheter i kanaler Tønsberg skytebanehall

Det er to innstillinger på tavlevender, «AV» og «PÅ». Andre avlesninger og innstillinger kan ikke revideres. Ingen adgang for å undersøke aggregatet. Aggregatet tilhører kommunen og ikke leietager.

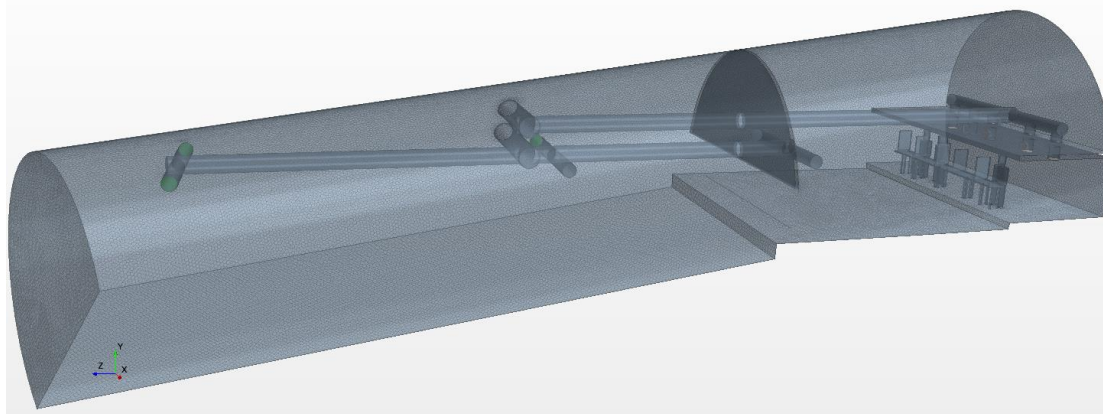
4.3 Simcenter STAR CMM+

Det var kun et sted hvor skytebanehallen var rektangulær. Andre baner hadde en halvsirkulær form som gjorde modelleringen litt mer vrient. Både Horten og Tønsberg er skytebanehaller i fjell og var tidligere benyttet som tilfluktsrom. Kripos sin bane på Bryn var den eneste av nyere dato og bygget etter arbeidsmiljølovens bestemmelser. Kripos var banen som ikke var mulig å få gjort fysiske målinger grunnet Covid-19 situasjonen.

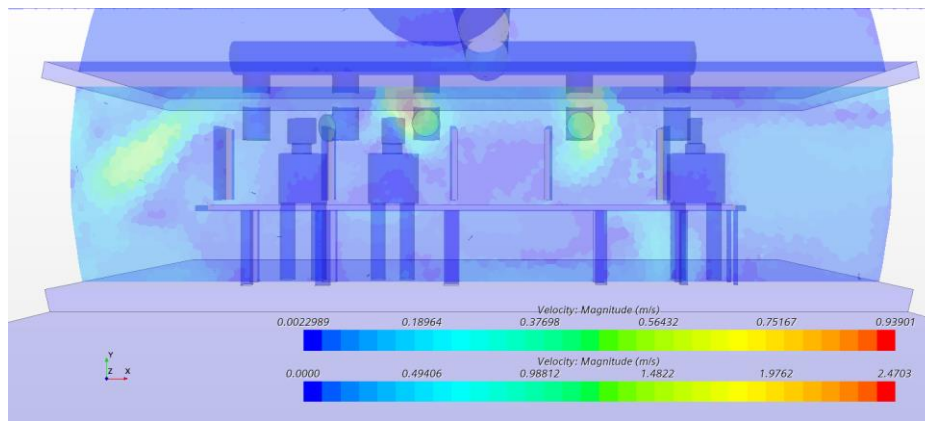
Camfil kom med en anbefaling for hva slags ventilasjonsteknisk løsning en skytebanehall burde ha. Det er tilluft bak skytter og avtrekken lengst mulig mot målskivene [35]. Dette samsvarer med ideen om stempel ventilasjon, som er den eneste kjente ideelle fortrengningsventilasjonsløsningen. Denne ideen er benyttet for å demonstrere forbedringspotensial.

4.3.1 Horten i dag

Det er seks tillufts- og avtrekkspunkter. Tilluften går bak skytteren, luften kommer ut av spirokanal bak skytteren. Vinkelen på disse er variabelt. Avtrekken er plassert ute på banen, hvorav tre er i drift og resterende er strupt. Standplassen og personer er tatt med for å få et realistisk scenario.

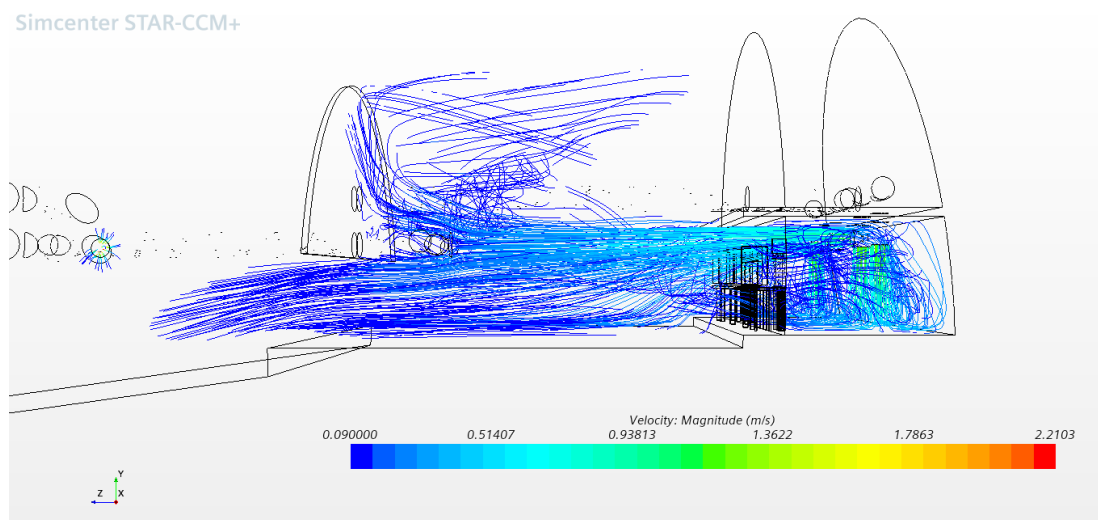


Figur 33: Modell av Horten skytebanehall i dag



Figur 34: Modell av Horten skytebanehall med transparent visning

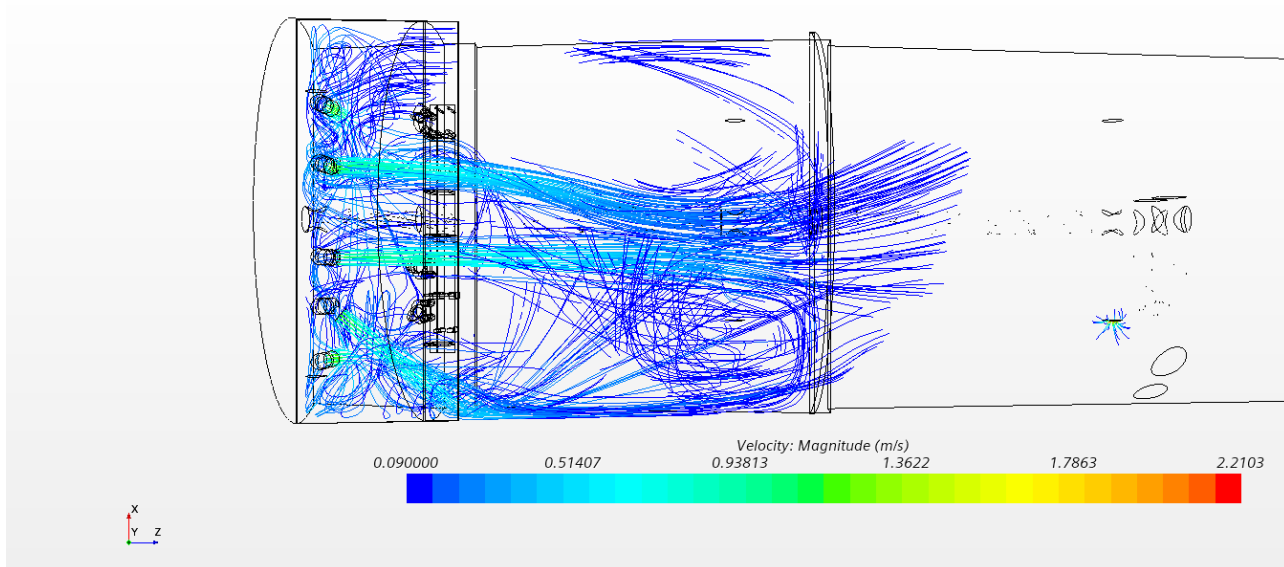
Simulering viser ujevn hastighetsfordeling for de forskjellige standplassene. Vedkommende i midten har høyere hastighet enn de to andre deltakere. Tilluften er ikke distribuert unisont. Den midterste standplassen bærer preg av å omtrentlig ingen lufthastighet over seg. Under bordene er det noe høyere lufthastighet.



Figur 35: Lufthastighetssimulering for Horten skytebanehall

Lufthastighetssimuleringen for skytebanehallenbanen vises i figur 35. Etter standplassen stabiliseres luftstrømningene og kolliderer mindre med hverandre. Ved å forsterke og filtrere løsningen viser visningen dette. Spirokanalene har ikke et etablert spredningsmønster. Dette medfører luftens retning er mot gulvet, konsekvens av dette blir hvor luften må stabilisere seg hvor potensialet for å ta med støv er til stedet.

Figur 36 viser luftretningen og spredningen ved de forskjellige vinklene. Det bærer preg av turbulens. Noe av luften ser ikke ut til å spre seg optimalt for skyttere. Det er kaotiske tilstander på standplassen. Luften virvles, og det er ingen forutsigbarhet for luftretningen. Virvling av støv fra bakken er plausibelt med dette oppsette.

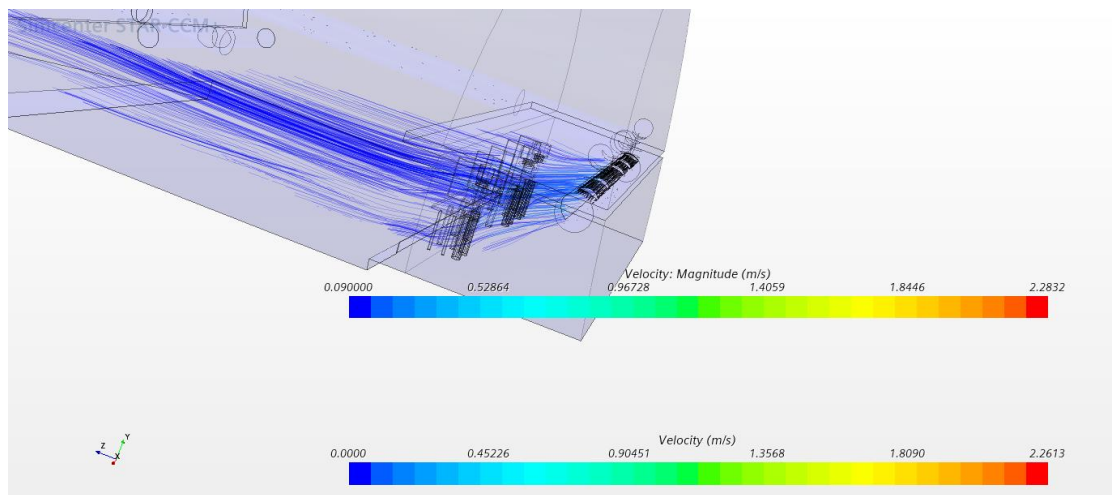


Figur 36: Lufthastighetssimulering for Horten skytebanehall, ovenfra

Figur 36 viser at noen skyttere blir oversett som følge av spirokanalens luftretning. Spredningsmønsteret på tilluften er ikke eksisterende og forklarer hvorfor nåværende luftretning er ugunstig. Spirokanalene med retning ut mot skivene er årsaken til at luftretningen har høy hastighet utover banen. Ellers ville standplassen sett kaotisk ut om ingen av spirokanalene var rettet mot skivene.

4.3.2 Horten med fremtidig endring

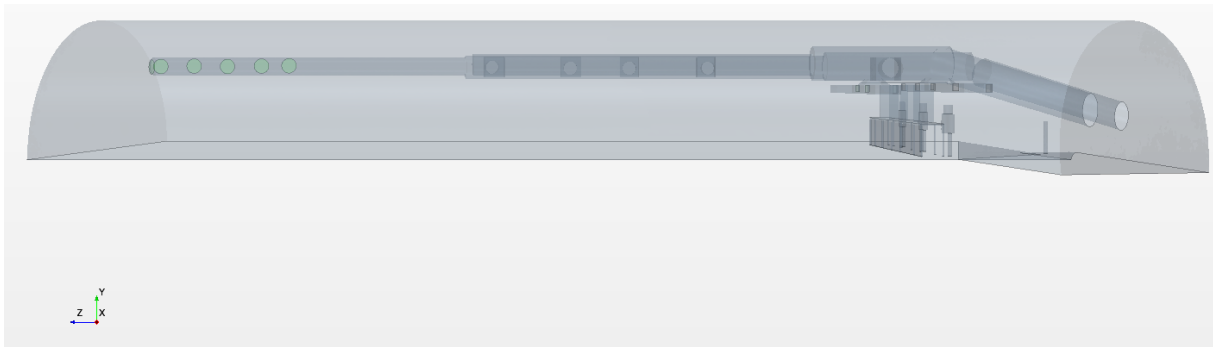
Den fremtidige løsningen for Horten inkluderer en industripose for tilluft og tildekking under standplassbenkene. Ifølge simuleringen vist i figur 38, vil ventilasjonstiltakene gi en positiv effekt for skytebanehallen. Tiltakene gir høyre lufthastigheter og mer lineære luftstrømmer.



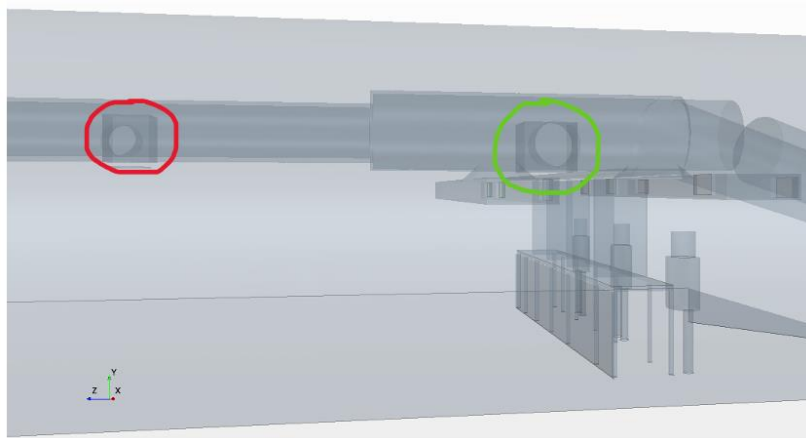
Figur 37: Modell av Horten skytebanehall med forbedringer

4.3.3 Tønsberg i dag

Banen skiller seg fra disse tre banene. Tilluften er for det meste strupt slik at luften avgis både foran og bak standplassen. Avtrekken er plassert rett ved standplassen og ute på banen. Den eneste skytebanen med luftrensere, hvor det er to på hver sin side. Disse er ikke tegnet inn. Observering indikerer ingen smidig kanalføring. Det er årsaken til hvorfor et apparat leverer omtrentlig 400-500 m³/h, fremfor 2 000 m³/h som avtert.

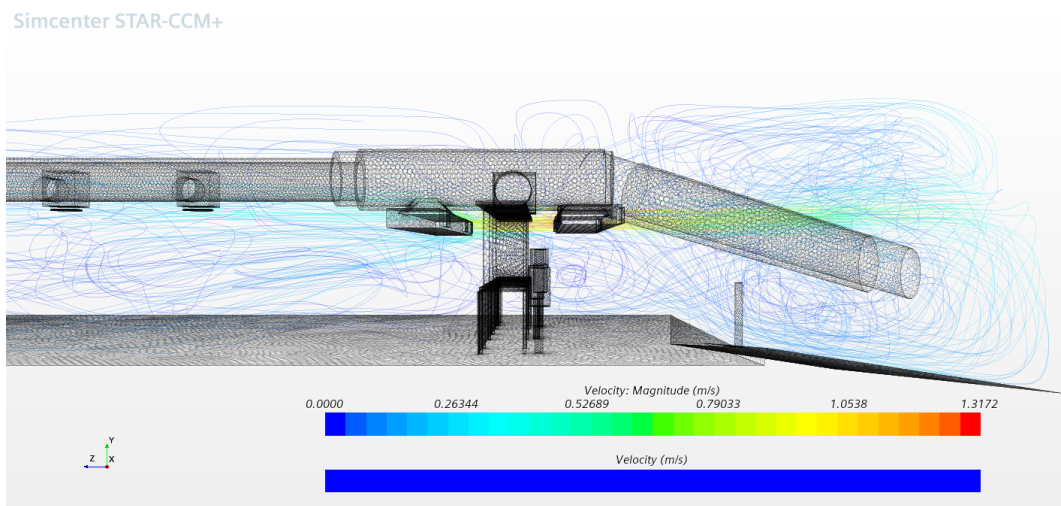


Figur 38: Modell av Tønsberg skytebanehall i dag, fra siden



Figur 39: Modell av Tønsberg skytebanehall med tilluft og avtrekk plassering

Grønn markering er avtrekk og tilluft med rød markering.

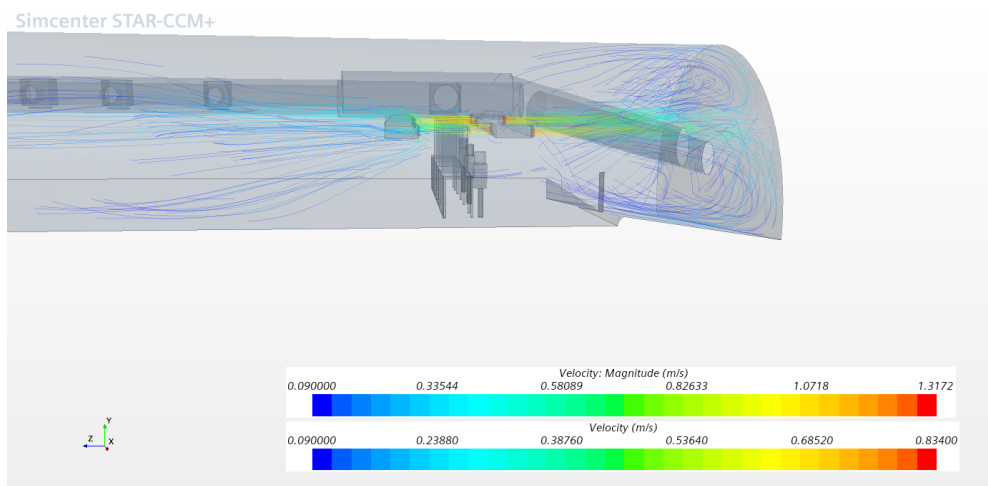


Figur 40: Lufthastighetssimulering for Tønsberg skytebanehall

Simuleringen viser en del av tilluft hvor retningen er fra standplassen. Det er spor av turbulens bak skytter. En del av tilluften beveger seg over hode på skyttere og rett inn i avtrekken i umiddelbarnærhet. Noe av tilluften klarer å unngå å bli fanget.

Visningen indikerer fraværende lufthastighet over standplassen. Det er kun tilluften som går rett over skytterne. Ventilenes plassering er årsaken for hvorfor en del av luften ikke får nyttiggjort seg bak skytteren. Derfor går det meste over hode på skyttere. Andre «luftlommer med høyere

hastighet» er mulig å se, men ikke tilfredsstillende for å forflytte forurensningen vekk fra skytter. Ved filtrering oppnås det følgende resultat. Det er vindstille over de fleste standplassene.

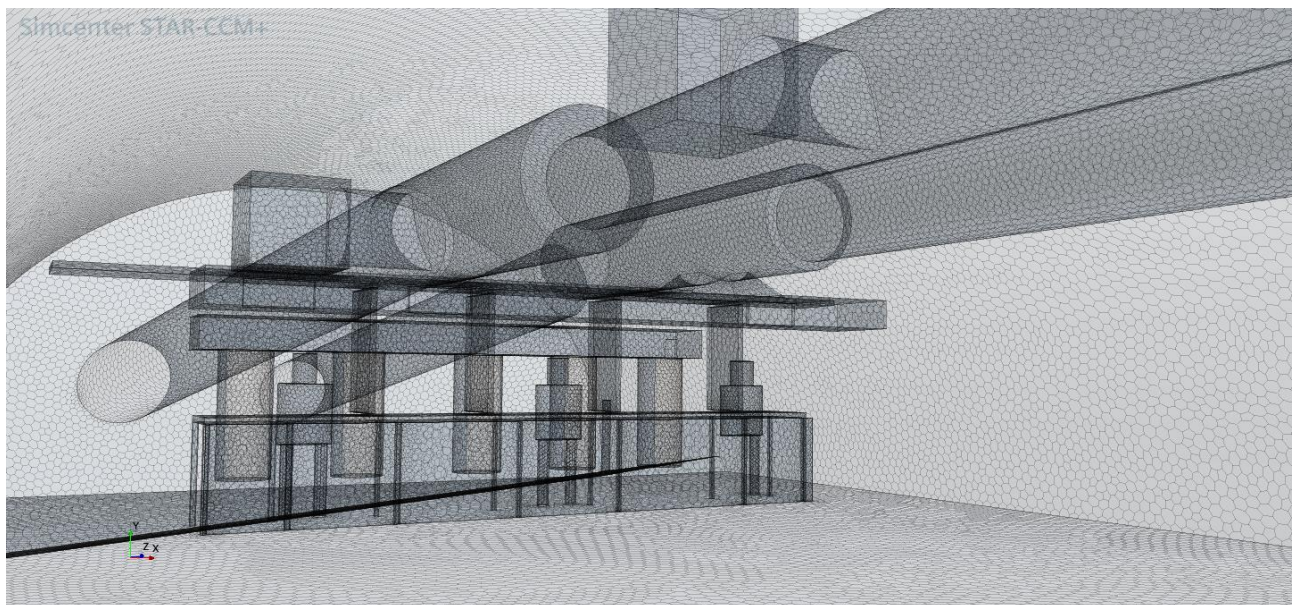


Figur 41 : Lufthastighetssimulering for Tønsberg skytebanehall

Figur 41 er fra siden og med zoom inn. Det indikerer at på denne skytebanen er det en eksisterende punktering og ingen luftbevegelser ved skytter. Dette er svakheter som kun kan utbedres ved å endre på tilluften og gjøre endringer på avtrekken. Systemet viser med beregningene at den bruker 40% av kapasiteten for hva systemet egentlig burde oppnå.

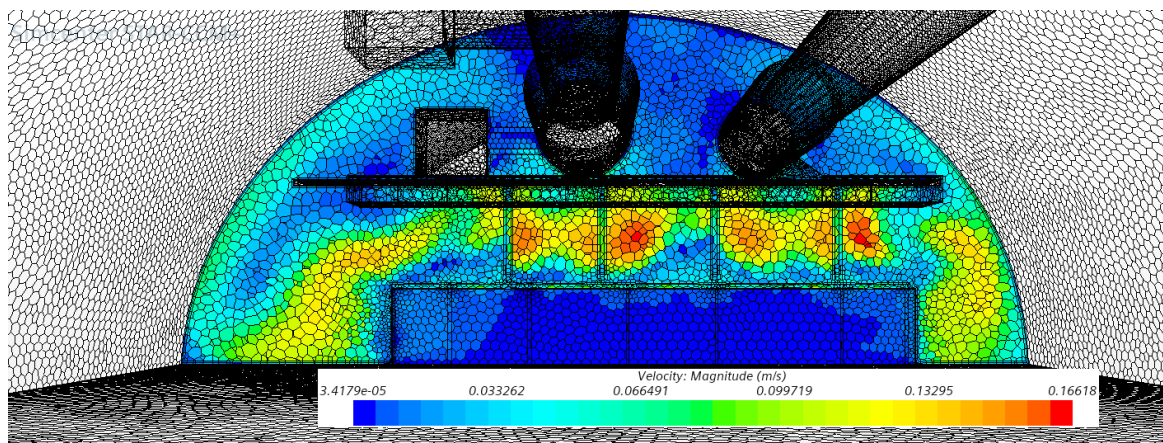
4.3.4 Tønsberg med foreslått forbedring

Formålet med forbedringen er å få til en stempeloperasjon som symboliserer ideelt fortrengningssystem.

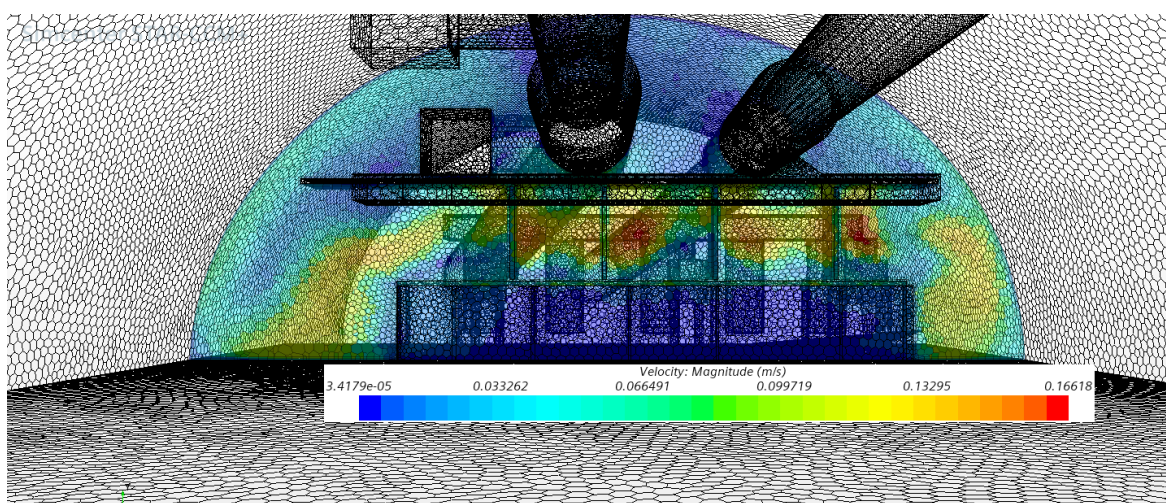


Figur 42: Modell av Tønsberg skytebanehall med forbedringer

Følgende endringer har blitt utført på banen. Avtrekken nær standplass har blitt strupt slik at det er pynteventiler. Tilluften har blitt endret til halvsirkulære tillufter, for eksempel siv-inn eller rister, som dekker hver skytter. Hensikt er å dirigere tilluftsretningen mot avtrekken i enden og ikke bak skytter.



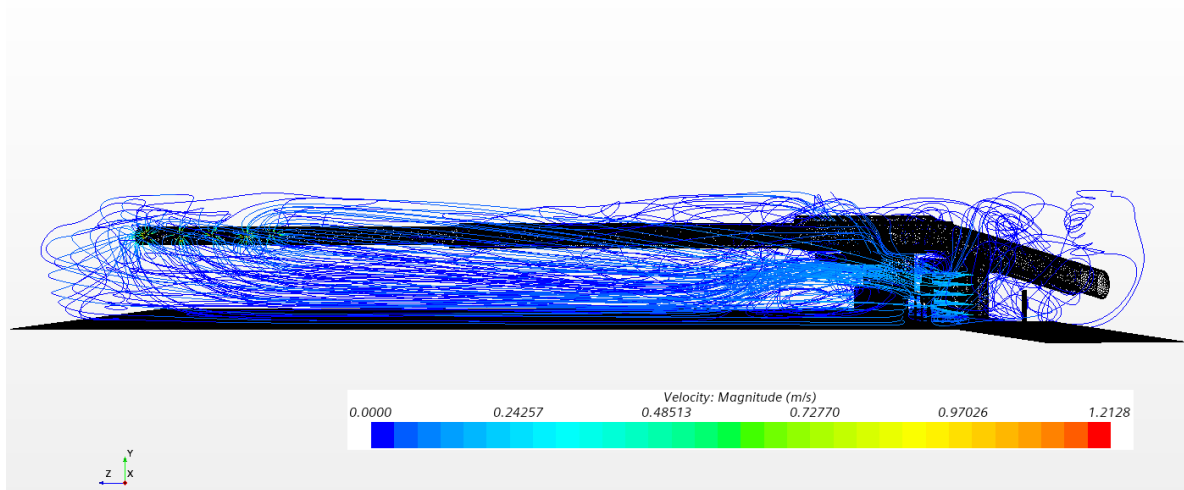
Figur 43: Simulering av lufthastighet, Tønsberg skytebanehall med forbedringer



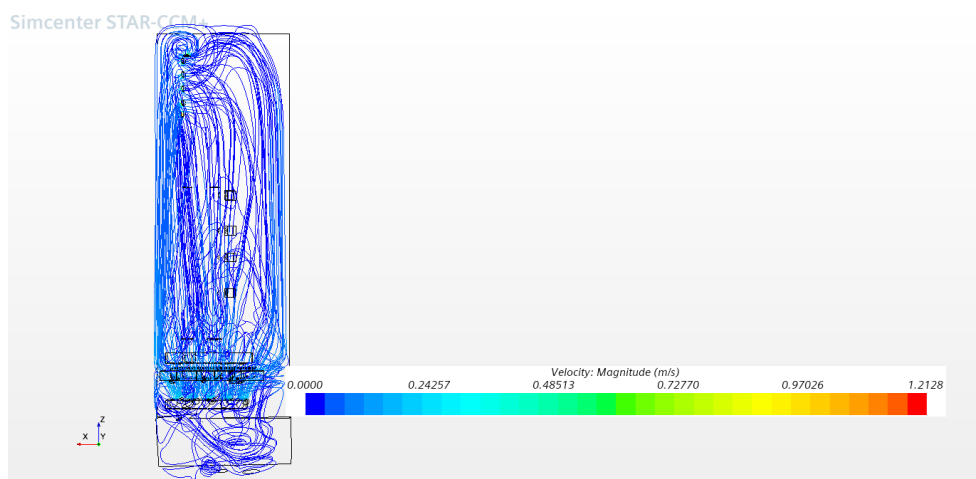
Figur 44: Simulering av lufthastighet, Tønsberg skytebanehall med forbedringer

Hastigheten har økt over skyttere. Det nye systemets luftbevegelser på skytebanen er vist i figur 45 og 46.

Simcenter STAR-CCM+

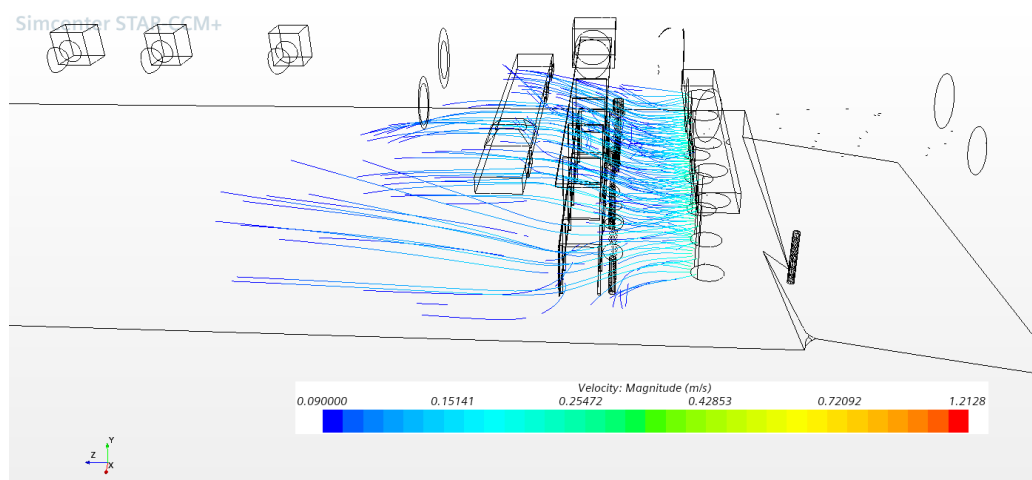


Figur 45: Luftbevegelser på Tønsberg skytebanehall med forbedringer



Figur 46: Luftbevegelser på Tønsberg skytebanehall med forbedringer

Systemet stabiliserer seg i større grad, mange blå streker som indikerer en tilnærmet stillstand på systemet. Siden simulering også tar med hvor det er en stillstand, så vil dette kategoriseres som overskuddsmateriale. Filtrering av hastighet demonstrer situasjonsbildet mer oversiktlig, vist i figur 47.



Figur 47: Luftbevegelser på Tønsberg skytebanehall med forbedringer

Visningen demonstrerer hastigheter over 0,09 m/s på skytebanen. Løsningen gir en indikasjon på at partikler vil bli dratt vekk fra skytter. Trekk distansen er omtrentlig fire-fem meter fra skytter. Den nye løsningen motvirker sirkulasjon av luft bak skytteren. Hastighet over standplassen er i området 0,15-0,25 m/s.

4.3.5 Sammenligning av Horten og Tønsberg skytebanehaller

Star CMM+ simuleringene viser at begge banene har potensialet til å bli bedre. Horten er under renovasjon og mangler et par avgjørende tiltak. Det første tiltaket er industriventilen for tilluften bak skytteren. Det andre er å dekke standplassbenken under slik at tverrsnitts arealet luften strømmer gjennom blir mindre. Simuleringen viser at gjennomsnittshastigheten over standplassen vil øke og dette vil forbedre banen betydelig. Tiltakene vil redusere turbulens i luften og oppvirvling av støv som ligger på bakken. Lineære luftbevegelser vil bære forurensningen bedre og virke til fordel for skytteren.

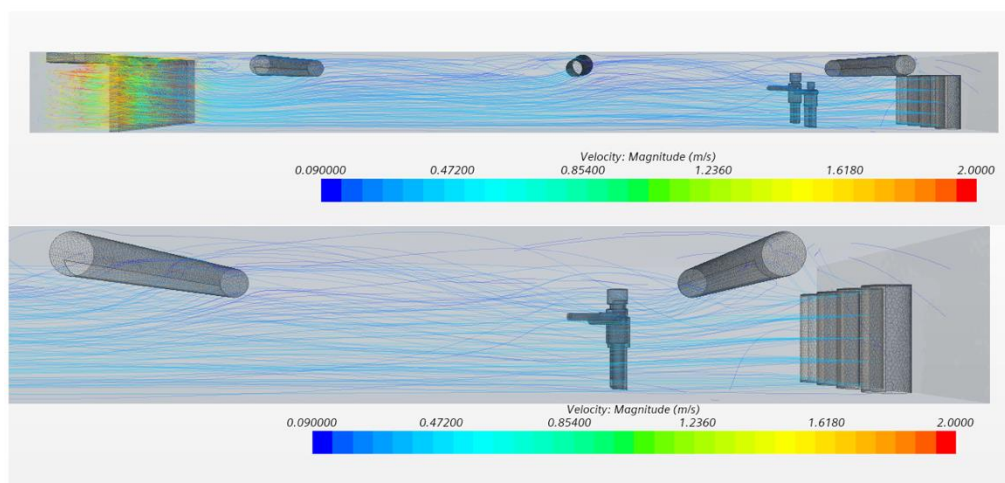
Tønsberg derimot er har lite luftbevegelser over standplassen. En avtrekksventil rett foran standplass kortslutter luftbevegelses kretsen og suger ren luft inn. For å effektivt fjerne kontaminert

luft og skape luftbevegelser mot målskivene bør ventilen strupes. Simuleringene viser at dette er en aktuell løsning for å beskytte skytteren.

Simuleringsmessig oppnådde ingen av banene krav for luftbevegelser. Camfil foreslår en lineær luftstrøm gjennom hele banen med gjennomsnittlig hastighet på 0.4 m/s over standplassen. Tønsberg når ikke kravene for hastighet, mens Horten har turbulente luftstrømmer. Tiltakene på Horten vil føre til at inneklimate situasjonen blir noe bedre på Horten enn det den er på Tønsberg. Simuleringene av Tønsberg inkluderer ikke luftrensere. For å mer effektivt foreslå tiltak for Tønsberg er en mer detaljert modell nødvendig.

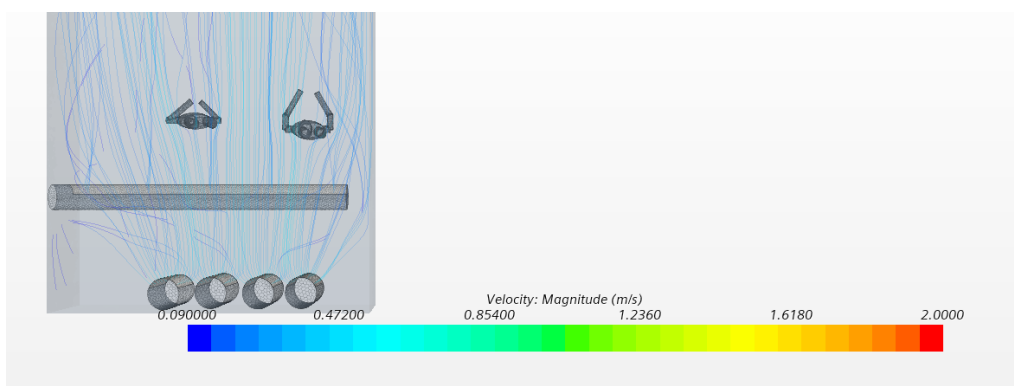
4.3.6 Kripos i dag

Kripos følger annet regelverk enn kravene for rekreasjonsskyttere. De besitter en moderne skytebanehall i Oslo. Dessverre tillot ikke mulighetene for å utføre fysiske målinger av partikler. Kripos har flere tilluftsventiler og to avtrekksventiler innerst på banen bak kulefangeren. Industriventilene lot seg ikke måle, trolig var det strekk bak veggen. Ventilene ved standplassen ble målt. Luftmengder på Kripos er høyere enn andre skytebanehaller. Anleggene er også dimensjonert etter andre kriterier.



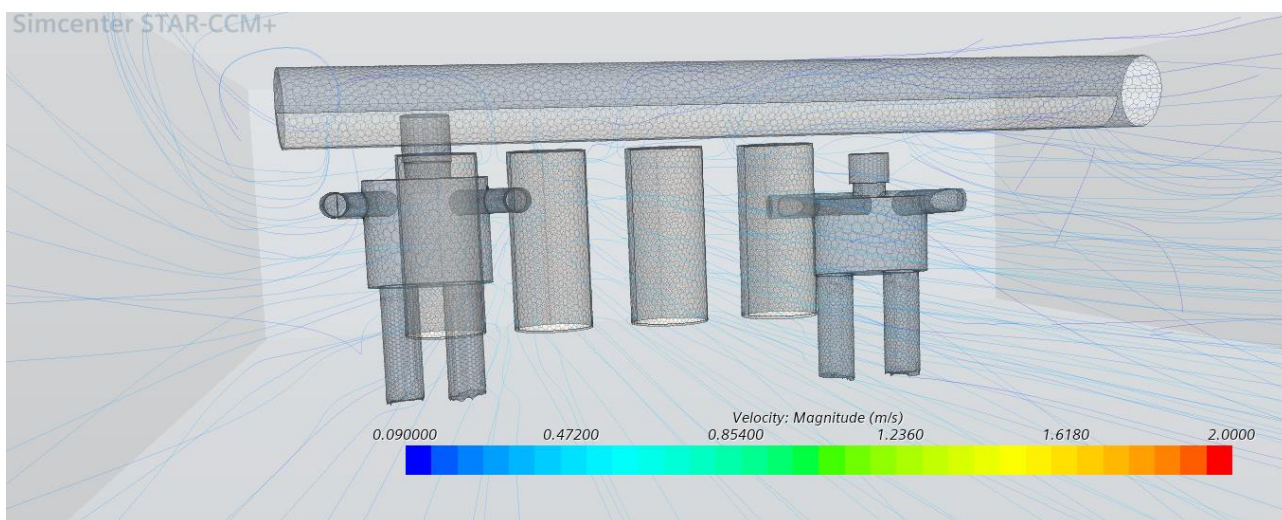
Figur 48: Simulering av lufthastigheter av Kripos skytebanehall i dag

Simulering i figur 48 illustrerer jevne og stabile luftbevegelser. Industriventilene er enten hjelpeløse eller hindrer luftbevegelsen. Langs bakke til albue nivået er strømmingen omtrentlig laminær. Ved modellskytteren øker lufthastigheten i nakke-hode regionen. Posene er plassert ved 30m, 20m og 10m avstand fra skivene.



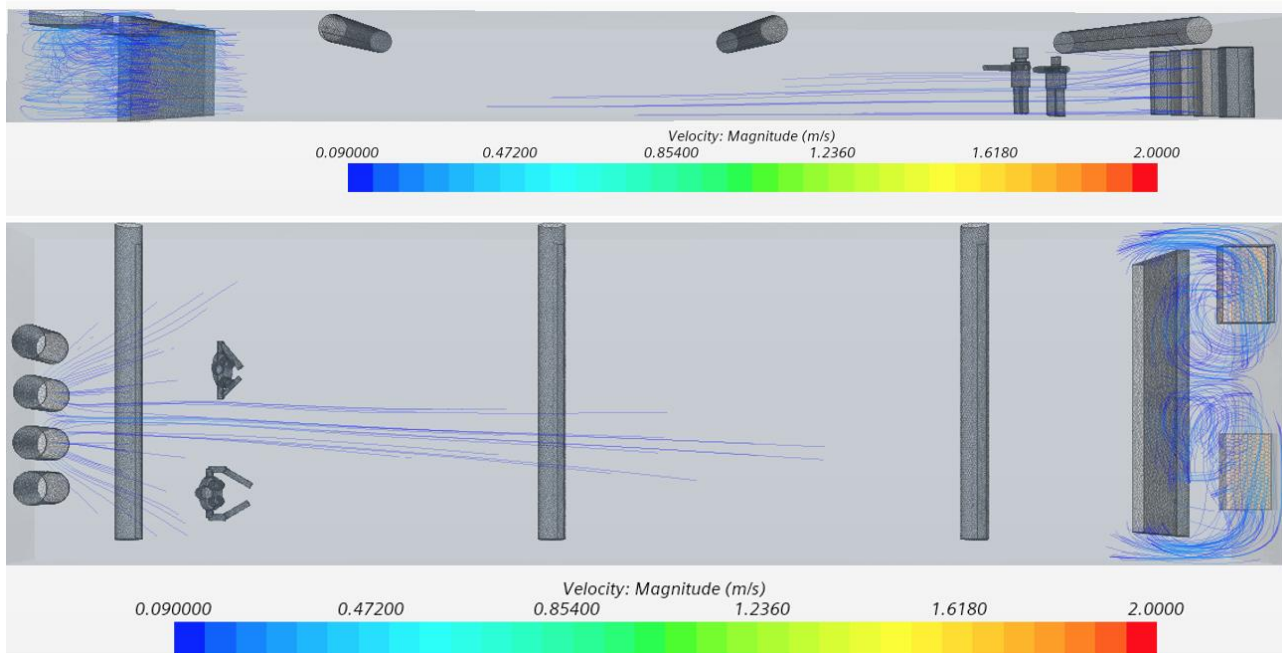
Figur 49: Simulering av lufthastigheter av Kripos skytebanehall i dag, sett ovenfra

Figur 49 viser hvordan luften omtrentlig aerodynamisk går forbi modellskytterne.



Figur 50: Simulering av KRIPOS skytebanehall med luftmengde 14 000 m³/h

Innstilte luftmengder på 14 000 m³/h eliminerer eksponeringen til skytterne. Luften beveger seg jevnt over tverrsnittene til banen. Luftmengde innstilt på 2 350 m³/h vises i figur 51.

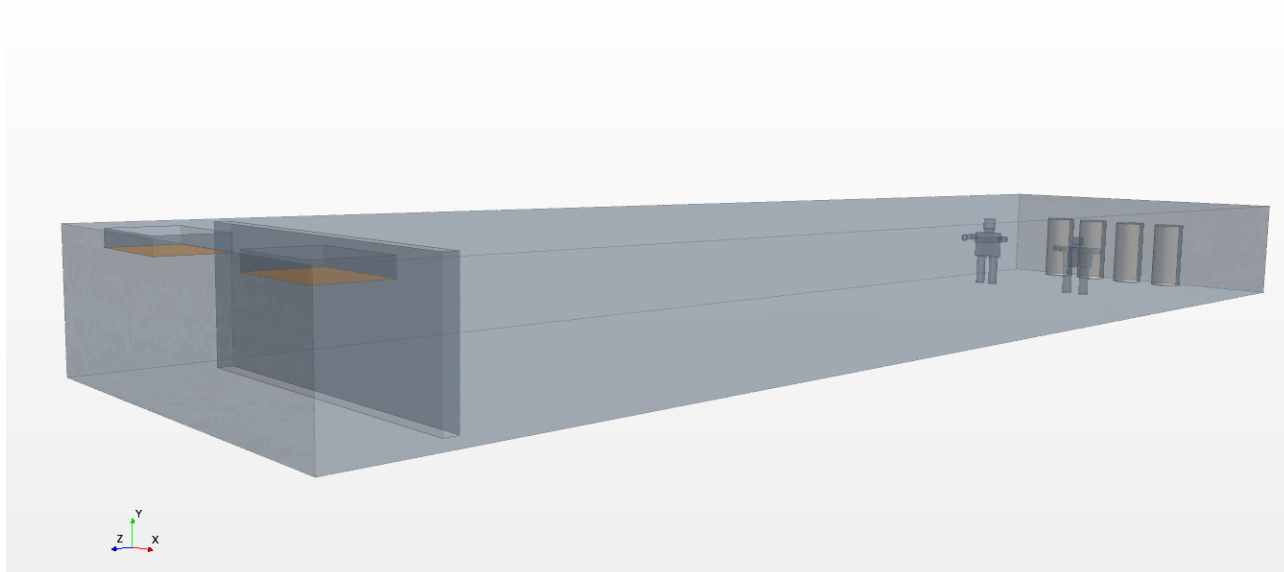


Figur 51: Simulering av KRIPOS skytebanehall med luftmengde 2350 m³/h

Fordelene ved skytebanehallen forsvinner med luftmengde innstilt på 2 350 m³/h. To av tilluftsdonene er påslått. Luften omgår skyttere og gir ingen beskyttelseeffekt. Luftbevegelsene ved kulefanger er tydeligst.

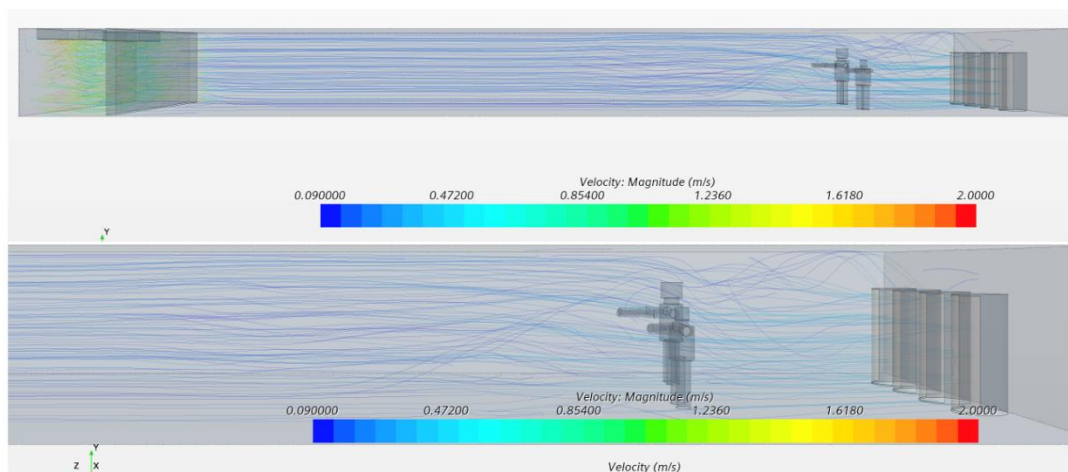
4.3.7 Kripos uten industri ventilasjon

Simcenter STAR-CCM+



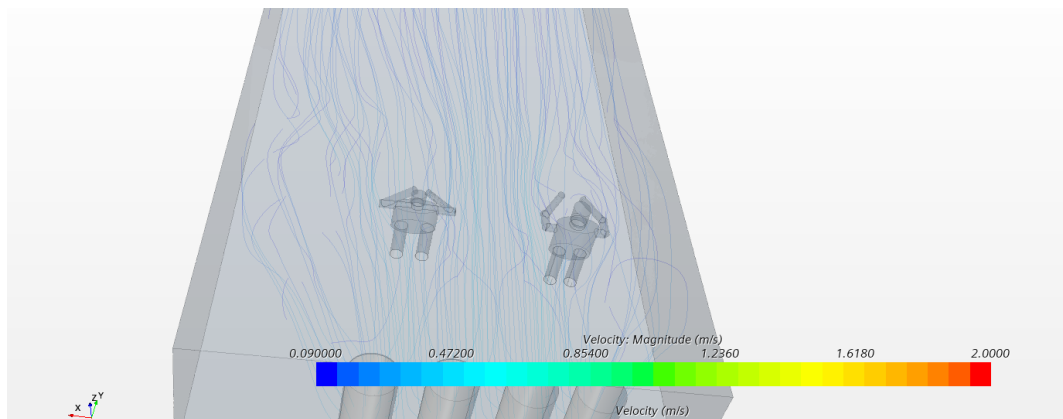
Figur 52: Modell av KRIPOS skytebanehall uten industriventilasjon

I figur 52 er industriventilasjonen fjernet. Spørsmålet er om fjerning av posene vil utgjøre forskjell på luftbevegelsene.



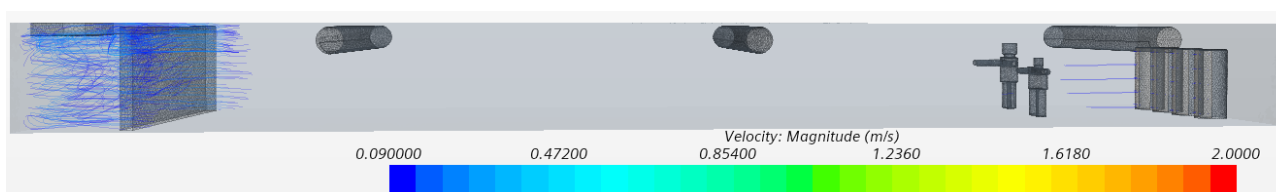
Figur 53: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten industriventilasjon

Turbulens oppstår ved starten av banen og litt etter skytterne. Luftbevegelsene opptrer lineært etter disse punktene. Partiklene blir skjøvet i riktig retning og minimerer eksponering for skytterne.



Figur 54: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten industriventilasjon, sett ovenfra

I figur 54 er turbulensen mer synlig. Resultatene demonstrer når systemet går på fullt pådrag. Figur 55 viser med luftmengden som ble målt på de tidligere banene.

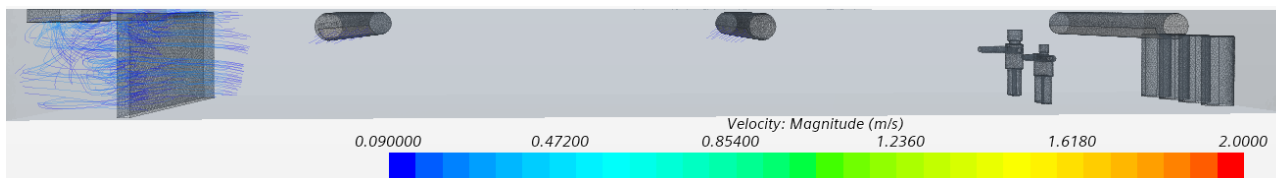


Figur 55: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten industriventilasjon, 2 350 m³/h

Luftmengden er innstilt på 2 350 m³/h. Simuleringen demonstrer manglende luftbevegelser. Årsaken er overdimensjonert fire ø400 tilluftsdoner ved denne luftmengden.

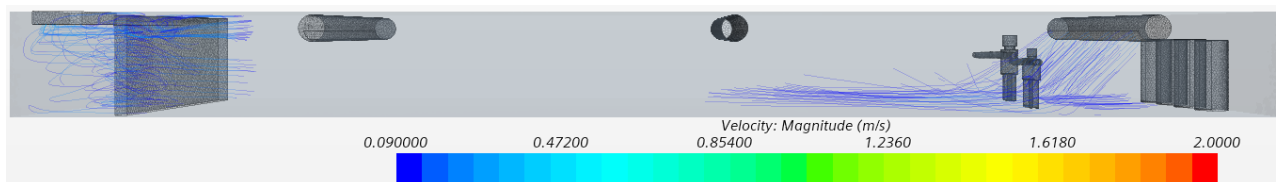
4.3.8 Kripos uten tilluftsdoner

Første simuleringen tar for seg de tre industripesene samtidig og lik luftmengde.



Figur 56: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten tilluftsdoner

Resultatet vist i figur 56 demonstrer store soner hvor hastigheten over banen er tilnærmet null. Det er kun ved kulefanger at hastighet blir registrert. Mangel på luftbevegelser indikerer at luften står i stillstand uten muligheter for å eliminere forurensningen. Neste simulering tar hensyn på å tilføre all tilluft fra én industripose (figur 57).



Figur 57: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten tilluftsdoner, luft fra én industripose

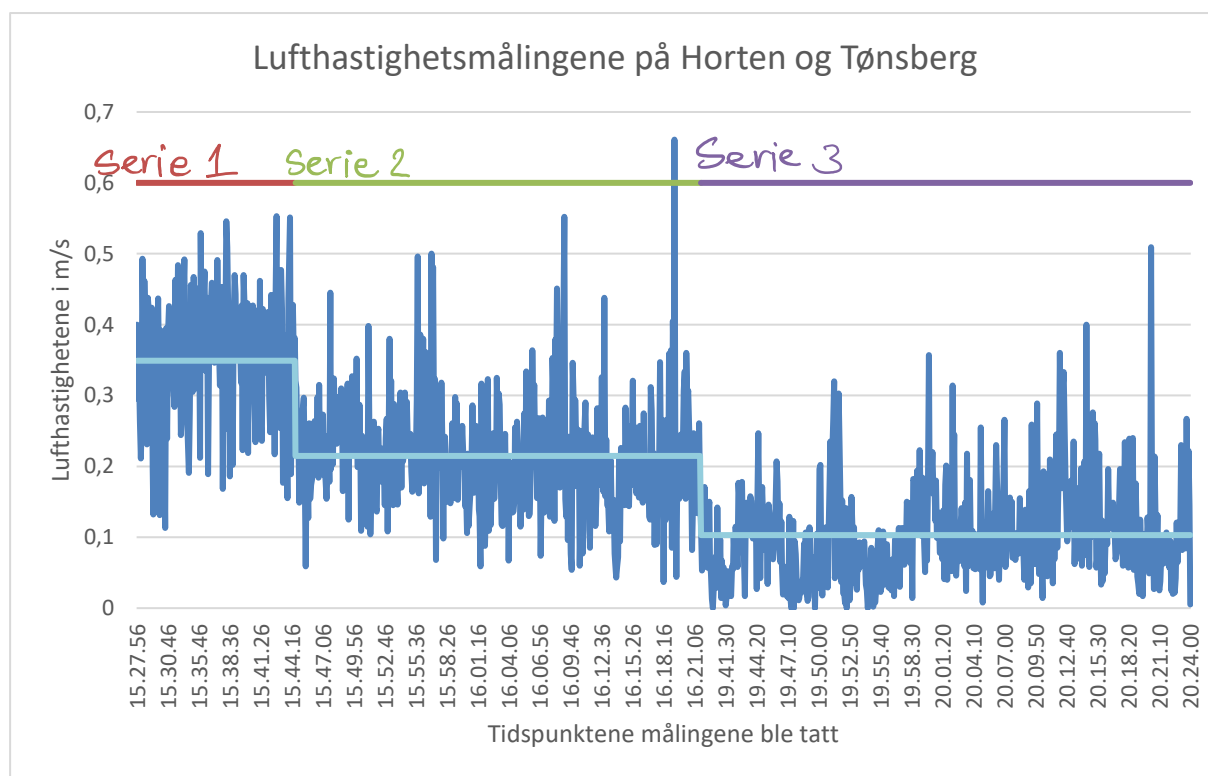
Ved å tilføre all luft på en av industripesene, så blir luftbevegelsene noe mer synlige. Luftbevegelsene går skrått-ned. Det innebærer at skyttere må kunne plassere seg gunstig i forhold til luftretningen for å få utbytte av ventilasjonen. Partikler som er gjenglemt på gulvet kan bli virvlet opp og øke konsentrasjon av kjemi- og metallrester i rommet.

4.4 Lufthastighet

Figur 58 viser resultatene fra luftmålingene på de to banene. Grafen under viser at gjennomsnittlig lufthastighet varierer fra 0,35 og 0,22 og 0,1. Serie 1 er den første loggingen og den ble gjort på Horten skytebanehall fra klokken 15:27 til klokka 15:47. Serie 1 er logging tatt mens ventilasjonen sto på innstillingen «Spesial» som har en tilluft på 2350 m³/h, dette er den serien målt med den høyeste luftmengden. Det kan også ses fra den gjennomsnittlige lufthastigheten da den er høyest her (0,35 m/s). Serie 2 er også en logging tatt på Horten skytebanehall, men den er tatt mens ventilasjonen sto på innstillingen Comfort2, som vil si en tilluft på 1200 m³/h. Den lavere gjennomsnittlige lufthastigheten gjenspeiler den lavere luftmengden som kommer fra ventilasjonen.

Serie 3 er tatt på Tønsberg. På Tønsberg var det ikke tilgang til ventilasjonen, men målingene ble tatt ved hjelp av Swema 3000 termisk anemometer, og tilluften ble målt her til å være 2300 m³/h. Den lavt målte lufthastigheten her har nok en sammenheng med hvordan luften fordelte seg i rommet og plasseringen av tilluft- og avtrekksventilene.

Retningen på luften ble ikke målt her, men det ble gjennomført røyktester som mer eller mindre illustrerer luftretningen. Det ble ikke observert noe forskjell på lufthastighet når luftrenser var på sammenlignet med når den var av.



Figur 58: Graf av lufthastighetsmålinger fra Horten og Tønsberg skytebanehaller

Hypotesen H₂ foreslo at ventilasjonen på innstillingen «Special» gir høyere lufthastighet enn «Comfort2». resultatene fra lufthastighets målinger støtter hypotesen, men spesifiserer ikke hvilken retning lufthastigheten ivaretar. Røyktesten beskriver at bevegelses retningen er gunstig hvis pennen holdes innenfor pleksiglassene. Hvis pennen er utenfor pleksiglassene, vil lufthastigheten være kontra effektiv for fjerning av kontaminert luft. Hypotesen stemmer bare hvis posisjonering av skytteren og våpenet er riktig.

Hypotesen H_4 foreslo at «lufthastigheten øker når luftrenserne står på». Tønsberg skytebanehall viste ingen forandring i lufthastighet med sine to ventilasjonsinnstillinger. Hypotesen stemmer ikke med resultatene.

4.5 Røyktest

4.5.1 Tønsberg

Resultatene er fremstilt i figurene 59, 60 og 61. Innenfor plexiglassene bevegde røyken seg med luftstrømmen, mot målskivene, som er ønskelig. Da pennene ble holdt bak glasset derimot, bevegde røyken seg oppover og en anelse i motsatt retning av strømmen. Dette kan tyde på at tilluftsventilen er plassert slik at plasseringen til skytteren er avgjørende for optimal virkning. Dersom skytteren står litt for langt bak, vil ikke luftstrømmen klare å få med seg de forurensende partiklene, men i stedet vil partiklene forbli rundt standplassen.



Figur 59: Bilde av røyken som føres i retning av luftstrømmen (innenfor plexiglass)



Figur 60: Bilde av røyken viser tendenser til annerledes bevegelse



Figur 61: Bilde av Røyken beveges i motsatt retning av luftstrømmen (bak plexiglasset)

4.5.2 Horten

Resultatene er vist i bilder nedenfor. Røyken bevegde seg her også i retningen av luftstrømmen, mot målskivene, men i motsetning til i Tønsberg hvor røyken bevegde seg i en stråle, kan man her observere at røyken stiger. Dette kan tyde på at tilluftsventilene er plassert slik at luftstrømmen ikke føres lenger enn standplassen. Det er ikke nok data til å anslå om luftstrømmen er optimal og fungerende eller ikke.



Figur 62: Bilde av røyken som beveges med luftstrømmen



Figur 63: Bilde av røyken som stiger utenfor standplass

Resultatene av røyktesten og lufthastighetene viser en anelse bedre trend på Horten skytebanehall. Sammenlignet med kravene har Horten med ventilasjonsmodusen nok lufthastighet, men røyktesten sier at luftstrømmen kan sirkulere hvis posisjoneringen av skytteren er feil. Ved dette tilfelle vil skytteren oppleve verst eksponering selv om luftgjennomstrømningen er størst. Samtidig er ikke standplass benkene dekket under. Dette betyr at tverrsnittsarealet av standplassen er stor og gjennomsnittlig hastighet blir da liten.

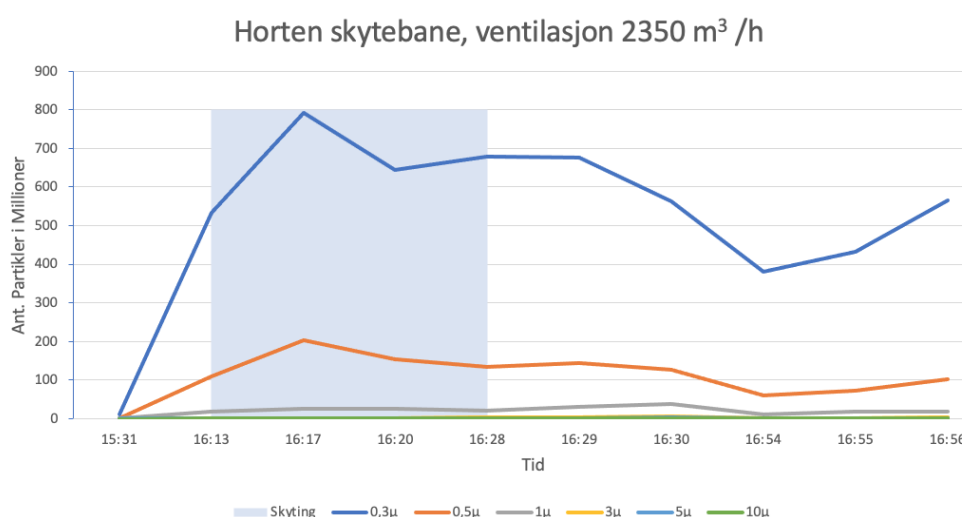
Tønsberg derimot når ikke kravene ved noen ventilasjonsmodus. Verken lufthastighetsresultatene eller røyktesten viser tegne til luftbevegelse. Lufthastigheten er generelt så lav at skytterens posisjon ikke påvirker den. Her kommer Tønsbergs tiltak om å stenge under standplassen inn. Dette fører til at tverrsnitts arealet av standplassen blir mindre, noe som igjen fører til luftbevegelse innen pleksiglassene.

4.6 Partikkel telling

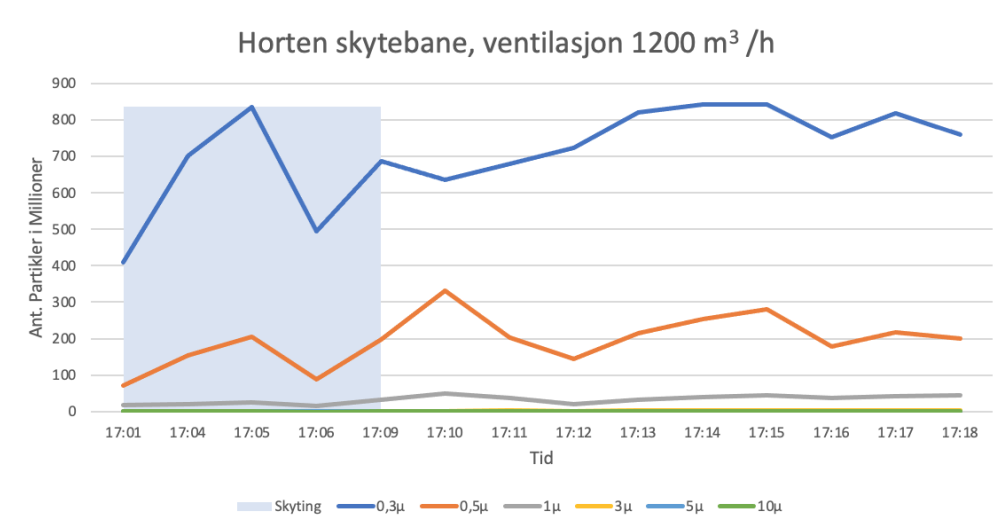
Målingene ble utført 19. april 2021. Værforhold var som en vanlig vår dag med sol, 16.1 C i Horten og 14.9 C i Tønsberg. Målingene ble først utført på Horten skytebanehall fra 14.00-17.30. Deretter ble det utført målinger på Tønsberg nedre skytebanehall fra 18.00-21.30. Som beskrevet i metode delen er resultatene fra partikkeltellingen framstilt med hensyn på tid og antall partikler. Det bør også bli nevnt at grafene ikke vurderer forskjell i plassering av målepunkt. Herav er forkortelsene ASP og AFP brukt for henholdsvis antall større partikler og antall finere partikler.

4.6.1 Effekten av ulike ventilasjonsinnstillinger

Resultatene fra Horten er framstilt helhetlig med de to forskjellige ventilasjonsmodusene i grafene 64 og 65. Den generelle sammenligningen viser en typisk trend. Det er stor variasjon ved starten av skyteøkter. Forurensningen stabiliserer seg raskt i hvile periodene.



Figur 64: Graf av antall partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Spesial)



Figur 65: Graf av antall partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Comfort2)

Ved første økt er ventilasjonsinnstillingen «Special» iverksatt. Special kjører med undertrykk og har tilluft på 2350 m³/h og avtrekk på 2425 m³/h. Figur 64 viser en betydelig økning på nærmere 5080% for AFP rett etter skytestart. For ASP viser figur 65 en økning på 540% ved første økt. I hvile prosessen som varer fra 16:28-17:01 ser man en helhetlig nedgang av partikler i alle størrelser. Den plutselige økningen av størrelsene 3.0 um og 5.0 um som framkommer kl. 16:30 (se figur 67) er forårsaket av en endring i det fysiske målepunktet. Den fysiske plasseringen av målepunktet er punkt 3, altså nær målskivene.

En av hypotesene var at det vil være større mengder partikler på midten og enden av banen enn det som er ved stand plassen. Denne hypotesen stemmer til en viss grad. For partikkel størrelsene 0.5 um, 1.0 um, 3.0 um og 5.0 um ser man en økning i antall partikler (se tabell 11). Standplassen har minst antall partikler, mens det er litt flere partikler midt på banen og flest partikler nær målskivene.

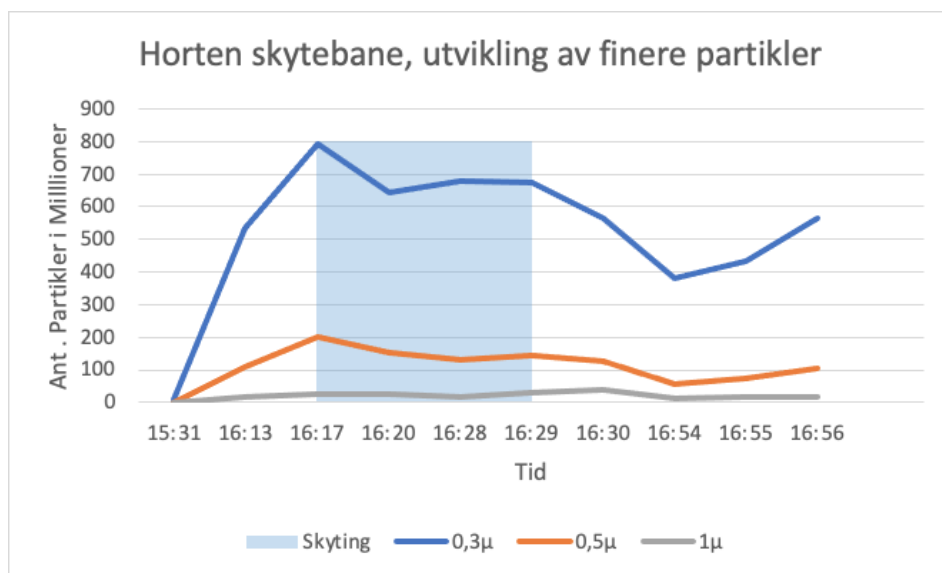
Skyte økt 1 (Horten Special)		Antall partikler					
Tidspunkt	Plassering	0.3um	0.5um	1.0um	3.0um	5.0um	10.0um
16:28	Standplass (S.P.) etter skyting	677.913.500	133.003.500	19.427.560	1.997.350	742.050	1.152.724
16:29	Midt på banen etter skyting	675.259.700	143.768.100	29.597.170	3.587.014	1.469.523	201.413
16:29	Ved målskivene etter skyting	657.641.900	158.778.600	52.690.220	7.293.286	2.846.879	405.183

Tabell 8: Antall partikler av ulike størrelse med sted og tid ved måling (Spesial ventilasjon)

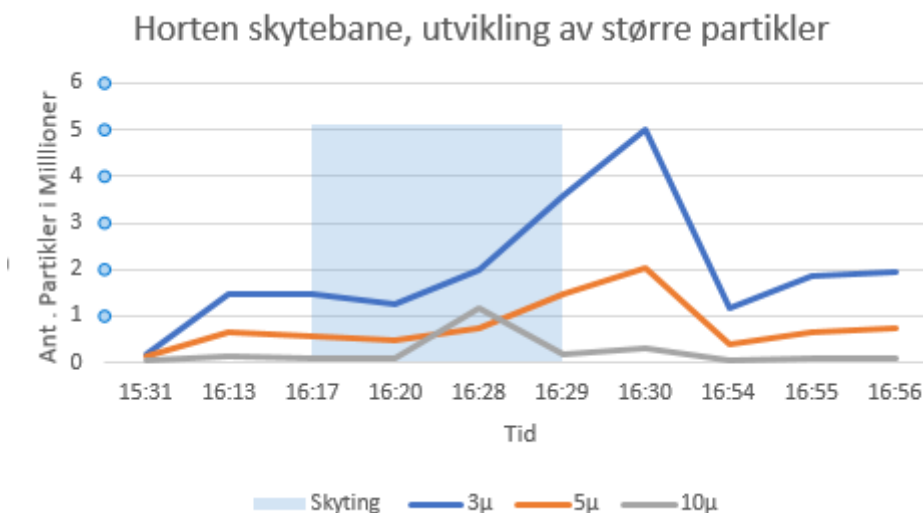
Partikkelstørrelsene 0.3 um og 10.0 um viser ikke samme trend, noe som kan være forårsaket av flere grunner. Hoved grunnen er at partikler som har falt på bakken blir virvlet opp av nåværende ventilasjon. Det er kjent at et objekt med høyere tetthet vil falle raskere enn et uten (Galileo). Dette foreslår at partiklene som blir virvlet opp er partikler av større størrelse. Det er ukjent om dette er

partiklene fra skyteøkt 1 eller om dette er partikler som har ligget der fra før. Hvis dette er partikler fra tidligere økter, kan det forekomme en større variasjon i partikkelstørrelsene.

Resultatene fra utført undersøkelse (se kapittel 4.1) sier at det er lite til ingen fokus på rensing av gulv. 1 av 6 svart at fuktig klut brukes, mens resten svarte at gulvet enten renses med gulvmopp (tørr) eller ikke i det heletatt. Bane ansvarlige derimot forslår at de har både spylar og våtmopp tilgjengelig. Helhetlig tyder dette på at partiklene virvlet opp er en sammensetning av større partikler fra både tidligere skyting og skyting som foregår nå. Undersøkelsen stemmer inntil banen er renoverert ferdig. Før renovering var tiltakene for vask av gulv ineffektive. Renovasjonen vil tillate spyling, noe som er anbefalt vaskemetode.



Figur 66: Graf, Antall finere partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Spesial)



Figur 67: Graf, antall større partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Spesial)

Før starten av økt 2 er det en endring i ventilasjon. Ventilasjonsmodus går fra «special» til «comfort2». Comfort2 kjører også med undertrykk og har tilluft på nærmere 1200 m³/h og avtrekk på 1450 m³/h. AFP har samme ustabilitet som under økt 1 og de er grunnet samme årsak. I forhold til start verdiene hadde AFP økt med 3810%, mens ASP økte med 480%. Tabell 4.6.2 viser at ved strømming av lavere luftmengder er det midten av banen som er mest utsatt for forurensning. Sammenligner man forurensningen basert på plassering har standplassen økt AFP og redusert ASP med ventilasjonsmodusen Comfort2, kontra Special. Midten av banen viser lignende trend for

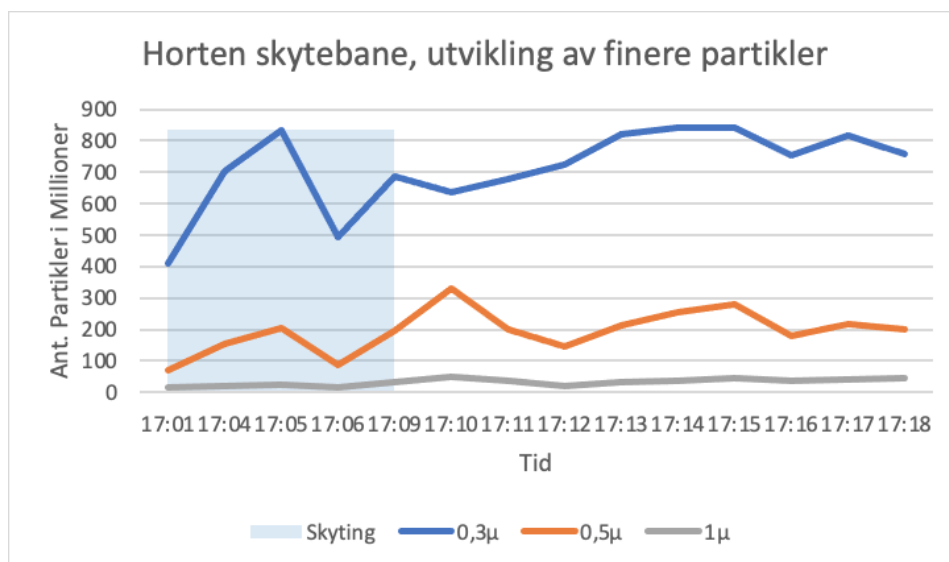
overgangen fra special til Comfort2; det er økning av partikler for partikkelstørrelsene 0.3 μm og 0.5 μm , mens det er en reduksjon for partikkelstørrelsene 1.0 μm og andre større partikler.

Ved lav gjennomstrømning av luft er både ASP og AFP gjennomsnittlig redusert sammenlignet med Special under skyting. Høyere luftmengder skal gi generelt bedre resultater, men dette er ikke tilfelle. Grunnen er turbulent luftstrøm. Modellene i kapittel 4.3 viser nåværende situasjon av banen, fordi tilluftsørene ikke har en montert ventil er luften turbulent. Røyktesten og lufthastigheten bekrefter dette. Samtidig viser røyktesten også at noe av røyken kommer tilbake mot standplassen. Resultatene indikerer at desto høyere hastighet som blir kjørt i nåværende situasjon desto mer forurensning vil sirkulere tilbake på skytteren under skyting.

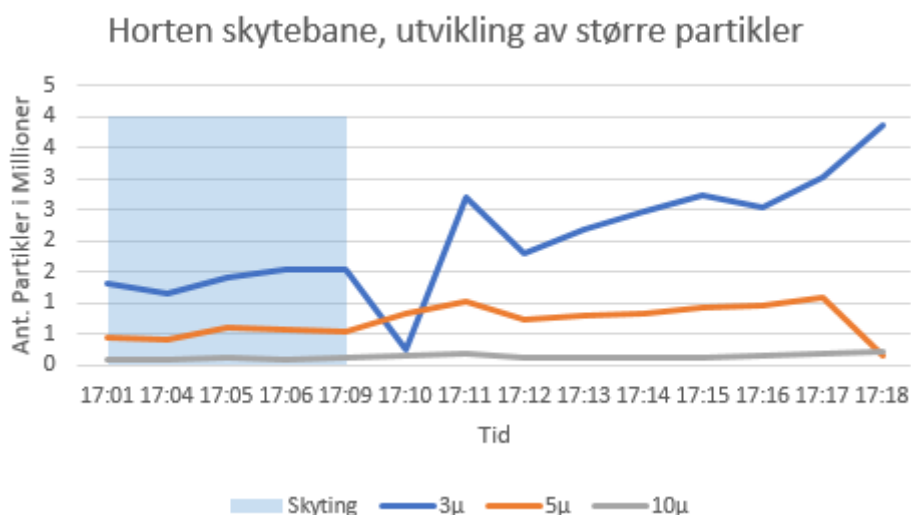
Forurensningen reagerer forskjellig etter at øktene er ferdige. Ved høy luftstrøm gjennom banen blir likevel mer av forurensningen fjernet enn ved lav luftstrøm. Dette er påvirket av at det ikke opphold av personer i hvile pausene. Med Comfort2 holder forurensningen generelt et høyt nivå på lik linje med nivåene som framkom under skyting. Med Special derimot synker verdiene stabilt og i løpet av 15 minutter er forurensningen halvert.

Skyte økt 2 (Horten Comfort2)		Antall partikler					
Tidspunkt	Plassering	0.3 μm	0.5 μm	1.0 μm	3.0 μm	5.0 μm	10.0 μm
17:04	Standplass (S.P.) etter skyting	701.469.500	154.983.600	21.177.790	1.136.396	396.769	85.411
17:05	Midt på banen etter skyting	834.048.700	205.808.500	25.537.100	1.420.495	595.760	122.968
17:06	Ved målskivene etter skyting	494.161.000	87.970.160	14.526.110	1.548.488	581.076	76.168

Tabell 9: Antall partikler av ulike størrelse med sted og tid ved måling (Comfort2)



Figur 68: Graf, antall finere partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Comfort2)



Figur 69: Graf, antall større partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Comfort2)

Hypotesen H_1 foreslo at «ventilasjonen på innstillingen «Special» gir lavere andel partikler enn «Comfort2». Dette stemmer til en viss grad. Hovedsakelig er det høyere andel partikler ved skyting under «Special». Utenom skyting er Special mer effektiv til å fjerne forurensning. Denne oppgaven vurderer forurensning mens skyting pågår, noe som betyr at hypotese H_1 ikke stemmer over ens med resultatene fra partikkel tellingen.

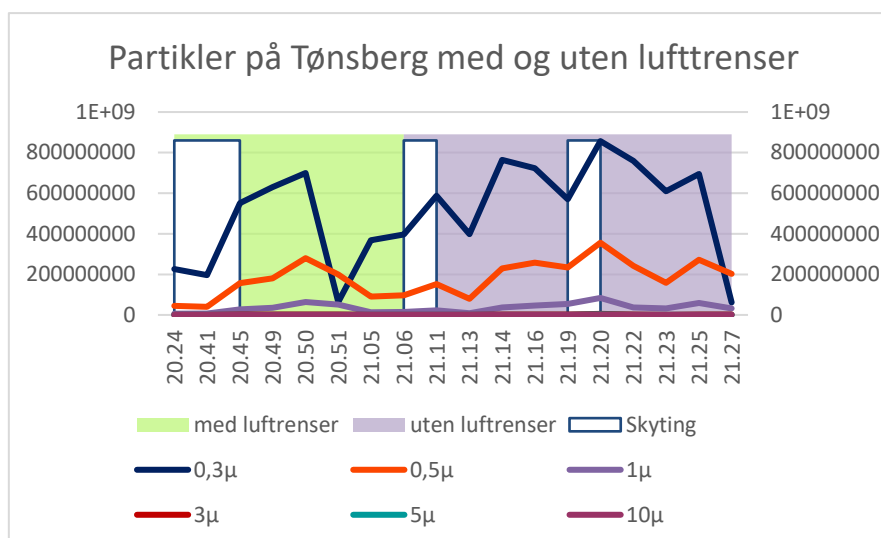
Hypotesen H_5 foreslo at «Det er større konsentrasjon av forurensning på midten og i enden av banen enn ved standplassen». Denne hypotesen stemmer til en viss grad. For partikkel størrelsene 0.5 μm , 1.0 μm , 3.0 μm og 5.0 μm ser man en økning i antall partikler (se tabell 4.6.1). Standplassen har minst antall partikler, mens det er litt flere partikler midt på banen og flest partikler nær målskivene.

Partikkelstørrelsene 0.3 μm og 10.0 μm viser ikke samme trend, noe som kan være forårsaket av flere grunner. Hoved grunnen er at partikler som har falt på bakken blir virvlet opp av nåværende ventilasjon. Det er kjent at et objekt med høyere tetthet vil falle raskere enn et uten (Galileo). Dette foreslår at partiklene som blir virvlet opp er partikler av større størrelse. Det er ukjent om dette er partiklene fra skyteøkt 1 eller om dette er partikler som har ligget der fra før. Hvis dette er partikler fra tidligere økter, kan det forekomme en større variasjon i partikkelstørrelsene.

Resultatene fra utført undersøkelse (se kapittel 4.1) sier at det er lite til ingen fokus på rensing av gulv. 1 av 6 svart at fuktig klut brukes, mens resten svarte at gulvet enten renses med gulvmopp (tørr) eller ikke i det heletatt. Bane ansvarlige derimot forslår at de har både spyler og våtmopp tilgjengelig. Helhetlig tyder dette på at partiklene virvlet opp er en sammensetning av større partikler fra både tidligere skyting og skyting som foregår nå. Undersøkelsen stemmer inntil banen er renovert ferdig. Før renovering var tiltakene for vask av gulv ineffektive. Renovasjonen vil tillate spyling, noe som er anbefalt vaskemetode av Camfil [37].

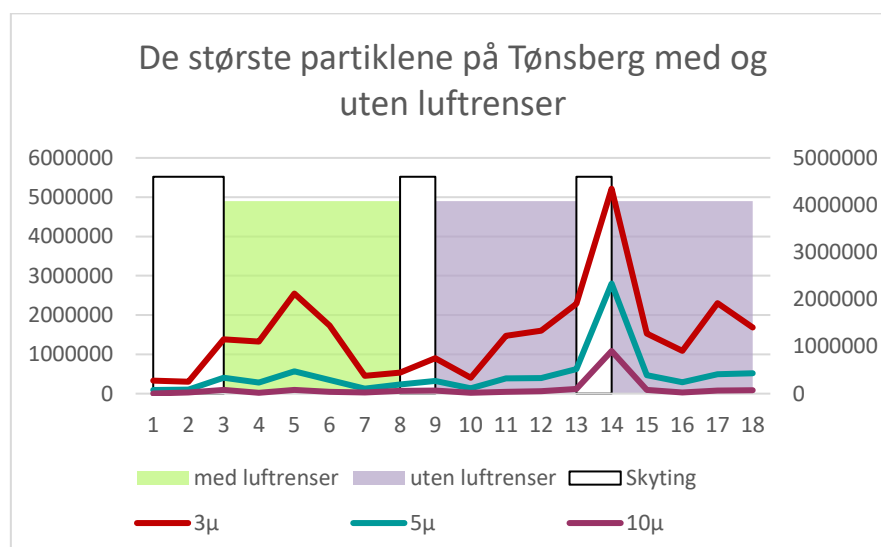
4.6.2 Effekten av luftrensere

Resultatene fra partikkeltellingen på Tønsberg med og uten luftrenser vises i grafene under. Skyting med luftrenser er markert med grønn bakgrunn, mens skyting uten luftrenser er markert med oransje bakgrunn. På den øverste grafen er partikkelstørrelsene 0,3 μm , 0,5 μm , 1 μm , 3 μm , 5 μm og 10 μm illustrert. Den mørkeblålinja representerer de aller minste partiklene som ble målt altså 0,3 μm og det er denne forekomsten var høyest av. Man ser fra arealet under den mørkeblålinja at konsentrasjonen var høyere når luftrenserne sto av, så det ser ut til at de kan ha hatt en effekt her. Det ser ut til å være noe liknende for 0,5 0,5 μm , så får disse målingene ser det ut som at luftrenserne fungerte og hadde en positiv effekt på inneluftkvaliteten.



Figur 70: Graf, antall partikler målt i millioner, med klokkeslett, Tønsberg skytebanehall (uten luftrenser)

På grafen under er de tre største partikkelstørrelsene 3μm, 5 μm og 10 μm fremstilt. Det kommer tydelig av grafen at under 3. og siste skyteøkt økte alle de tre største partikkel størrelse i takt og godt merkbart. Den siste skyteøkt en var den uten luftrenser, så også her ser det ut til at luftrenseren har hatt en merkbar positiv innvirkning, da den første skyteøkten der de sto på hadde betydelig mindre sprang i konsentrasjonen av de tre partikkelstørrelsene.



Figur 71: Graf, antall større partikler målt i millioner, med klokkeslett, Tønsberg skytebanehall (uten luftrenser)

Hypotese H₃ foreslo at «det er mindre mengder partikler i luften etter skyting med luftrenseren på enn med luftrenseren av». Grafene over viser klare tegn til den positive effekten luftrensere har. Hypotesen stemmer over ens med resultatene fra partikkel tellingen.

4.6.3 Sammenligning av Horten og Tønsberg skytebanehaller

Som beskrevet i metode delen er resultatene fra partikkeltellingen framstilt med hensyn på tid og antall partikler. Det bør også bli nevnt at grafene ikke vurderer forskjell i plassering av målepunkt. Tabellene 13 og 14 presenterer derfor de faktiske partikkeltallene med hensyn på tid, sted, størrelse og målepunkt plassering. Størrelsene deles inn i to deler antall store partikler (ASP) og antall

finere/nano partikler (AFP). Noen av verdiene vil være markert grønn for å klar gjøre hvilken av banene som har best verdi for den spesifikke størrelsen og det spesifikke målepunktet.

Resultatene for partikkel tellingen kan ses i figurene 72, 73, 74 og 75. For å putte tallene i perspektiv er det laget en forenklet sammenligning av begge banene. Sammenligningen viser at ASP og AFP for Horten skytebanehaller større enn for Tønsberg skytebanehall under første skyteøkt. Ventilasjon modusen for Horten er Special, mens ventilasjons innstilling for Tønsberg er normal med luftrensere. Tabell 13 viser en detaljert sammenlign av resultatene rett etter første skyteøkt.

-For ASP ved standplass er Tønsberg gjennomsnittlig mye bedre enn Horten. Det er en liten variasjon i AFP, men gjennomsnittlig sett er Horten litt bedre.

-Midt på banen er Tønsberg bedre i AFP, mens Horten er bedre i ASP.

-Ved målskivene er Horten klart bedre enn Tønsberg i ASP. For PS 0.3 um og 1.0 um er Horten noe bedre enn Tønsberg. Forskjellene i AFP er så små at gjennomsnittlig sett så er Tønsberg bedre.

skytteøkt 1		Antall partikler					
Målepunkt	Tidspunkt Sted	0.3um	0.5um	1.0um	3.0um	5.0um	10.0um
Standplass (S.P.) etter skyting	16:28 Horten	677.913.500	133.003.500	19.427.560	1.997.350	742.050	1.152.724
	20:49 Tønsberg	630.335.700	180.315.700	34.693.760	1.323.910	281.508	25.913
Midt på banen etter skyting	16:29 Horten	675.259.700	143.768.100	29.597.170	3.587.014	1.469.523	201.413
	20:50 Tønsberg	699.280.606	280.422.600	63.183.040	2.544.170	566.078	93.286
Ved målskivene etter skyting	16:29 Horten	657.641.900	158.778.600	52.690.220	7.293.286	2.846.879	405.183
	20:51 Tønsberg	631.512.000	199.395.100	51.383.760	1.731.247	350.732	44.826

Tabell 10: Partikkeltall med hensyn på tid, sted, størrelse og målepunkt plassering (skyteøkt 1)

Maksimal forurensning ved standplass i den angitte perioden av første økt forekommer ved forskjellige tider for hver av banene. Horten har separate topper for AFP og ASP. For AFP kommer toppen like etter at det siste av 50 x 3 skuddet er avfyrt klokken 16:23. Da er AFP på litt over 1.4 milliarder. ASP toppen derimot kommer 16:26, nærmere 3 minutter etter skyting. ASP verdien er da på 7,4 millioner.

For Tønsberg skytebanehall kommer både AFP og ASP toppene på samme tidspunkt, 20:49 rett etter skyting. AFP og ASP ligger da henholdsvis på 850 millioner og 1.6 millioner. Med basis i resultatene fra første skyteøkt har Tønsberg helhetlig litt mer forurensning enn Horten. Horten kan likevel regnes som mer forurenset fordi både ASP og AFP toppene og den forenklete sammenlikningen støtter dette.

Den forenklete sammenligningen viser en overgang mellom skytebanehallene som forekommer sirka 73 minutter etter start for AFP og 82 minutter etter start for ASP. Ventilasjons endringer for begge banene skjer på tilnærmelig samme tid og kan regnes som fullført ved 70 minutter. Under

andre økt kjøres ventilasjons innstillingene Comfort2 for Horten og normal for Tønsberg. Tabell 14 viser en detaljert sammenlign av resultatene rett etter andre skyteøkt.

-For ASP ved standplass for begge banene veldig like. De små forskjellene ligger i Hortens fordel. Trenden for variasjon i AFP fortsetter, men ved andre økt er Tønsberg gjennomsnittlig bedre.

-Midt på banen er Horten vestlig bedre enn Tønsberg både i AFP og i ASP.

-Ved målskivene er Tønsberg klart bedre enn Horten både i AFP og i ASP.

Skyte økt 2

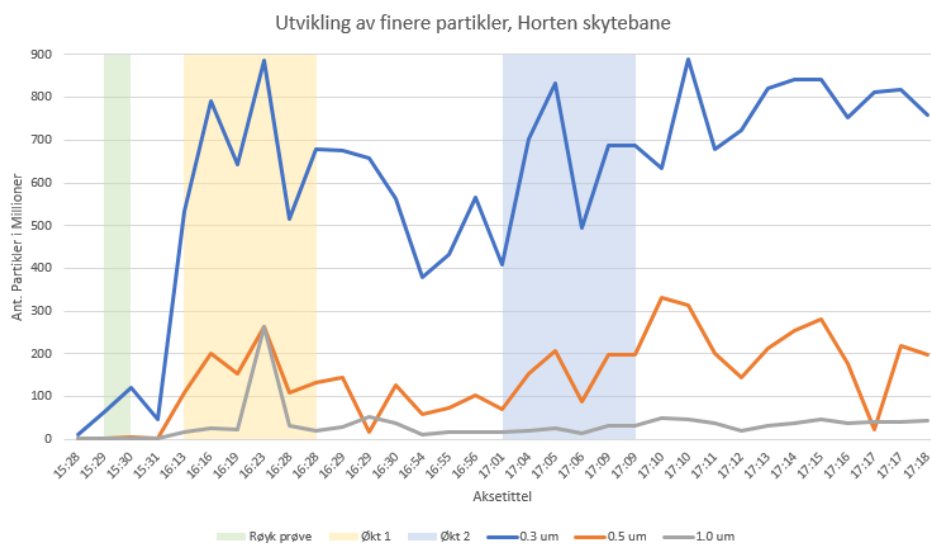
Antall partikler

Målepunkt	Tidspunkt Sted	0.3um	0.5um	1.0um	3.0um	5.0um	10.0um
Standplass (S.P.) etter skyting	17:04 Horten	701.469.500	154.983.600	21.177.790	1.136.396	396.769	85.411
	21:23 Tønsberg	614.827.000	202.944.200	32.453.300	1.684.430	521.382	83.508
Midt på banen etter skyting	17:05 Horten	834.048.700	205.808.500	25.537.100	1.420.495	595.760	122.968
	21:25 Tønsberg	609.099.300	157.925.500	32.509.480	1.090.909	292.965	32.766
Ved målskivene etter skyting	17:06 Horten	494.161.000	87.970.160	14.526.110	1.548.488	581.076	76.168
	21:27 Tønsberg	694.985.000	271.316.300	58.187.260	2.302.280	490.523	79.987

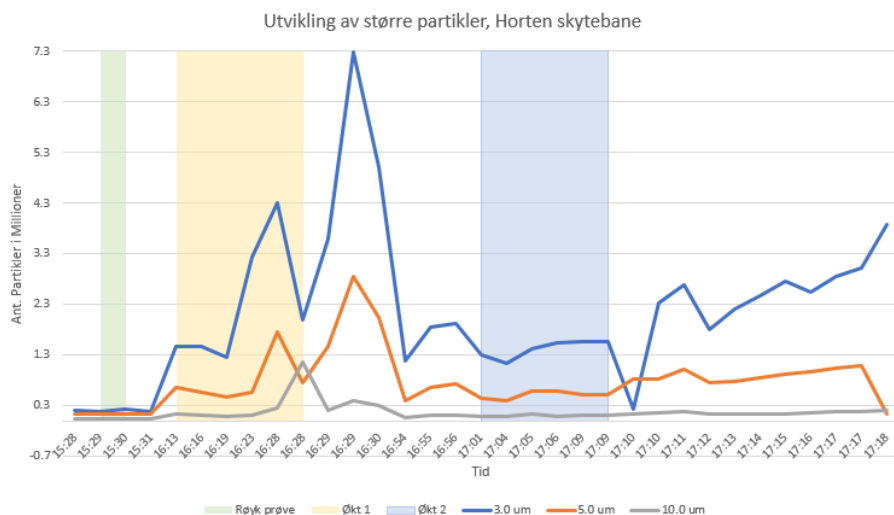
Tabell 11: Partikkeltall med hensyn på tid, sted, størrelse og målepunkt plassering (skyteøkt2)

Maksimal forurensning ved standplass i den angitte perioden av andre økt forekommer ved samme hendelse, men forskjellige tider for begge banene. Hendelsen er akkurat fullførte 50 x 3 skudd. ASP og AFP toppene kommer samtidig, men på forskjellig tid for hver av banene. Horten har sine topper klokken 17:15. AFP og ASP ligger da henholdsvis på 1.2 milliarder og 3.8 millioner. For Tønsberg ligger AFP og ASP på henholdsvis 1.3 milliarder og 9.1 millioner.

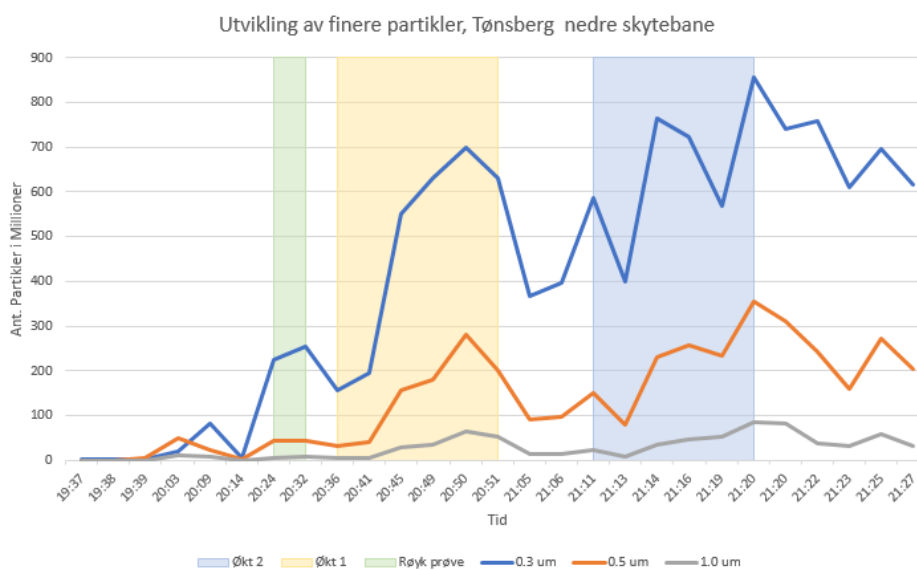
Resultatene fra andre skyteøkt viser at Tønsberg med ventilasjonsmodusen normal uten luftrenser har betydelig mye mer forurensning enn Horten med ventilasjons innstillingen Comfort2. Sammenligner man alle ventilasjonsmodusene er Horten med Special en helhetlig bedre alternativ. Resultatene fra standplassen og midt på banene er spredt, men ved målskivene er Tønsberg uten luftrensere et klart bedre alternativ. Ser man på forurensningstoppene så er Tønsberg med luftrenser et vesentlig bedre alternativ.



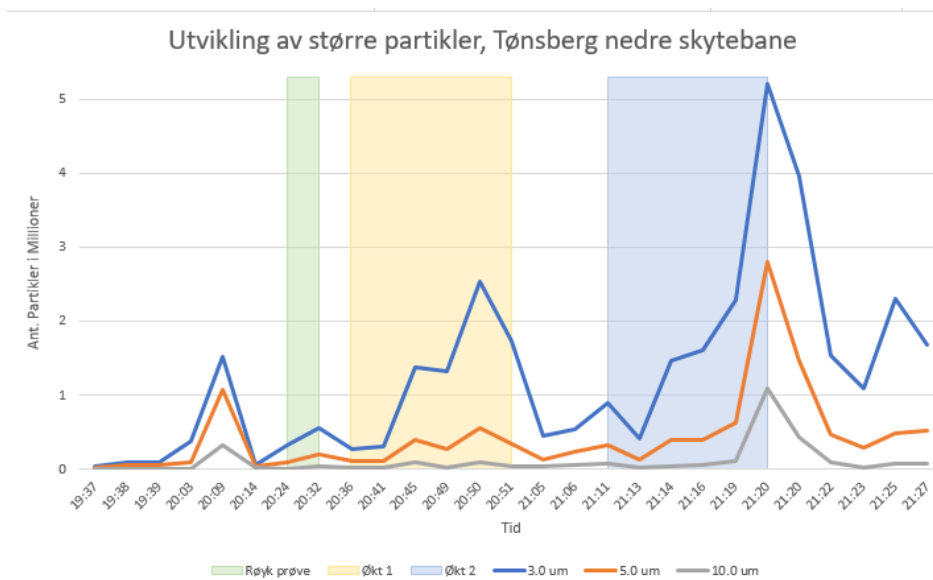
Figur 72: Graf, Utvikling av finere partikler (Horten)



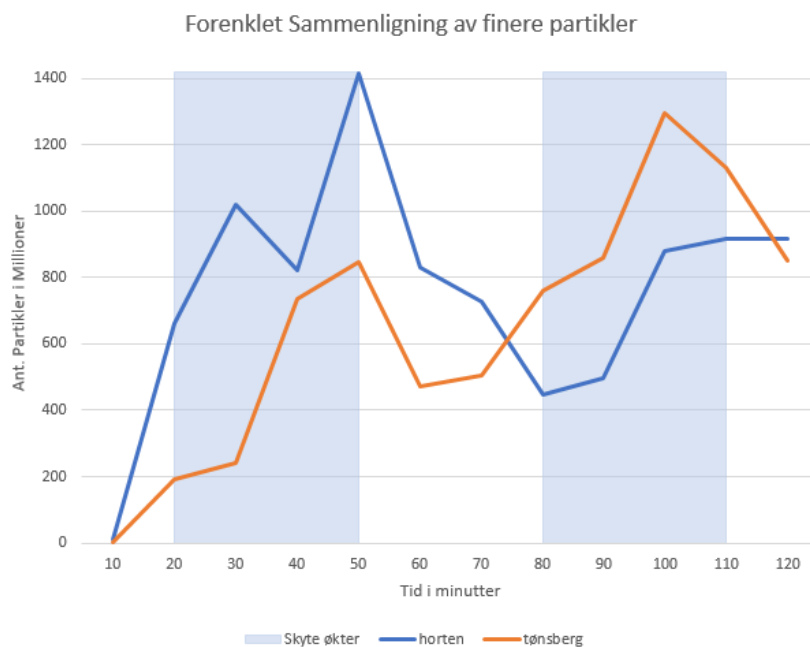
Figur 73: Graf, Utvikling av større partikler (Horten)



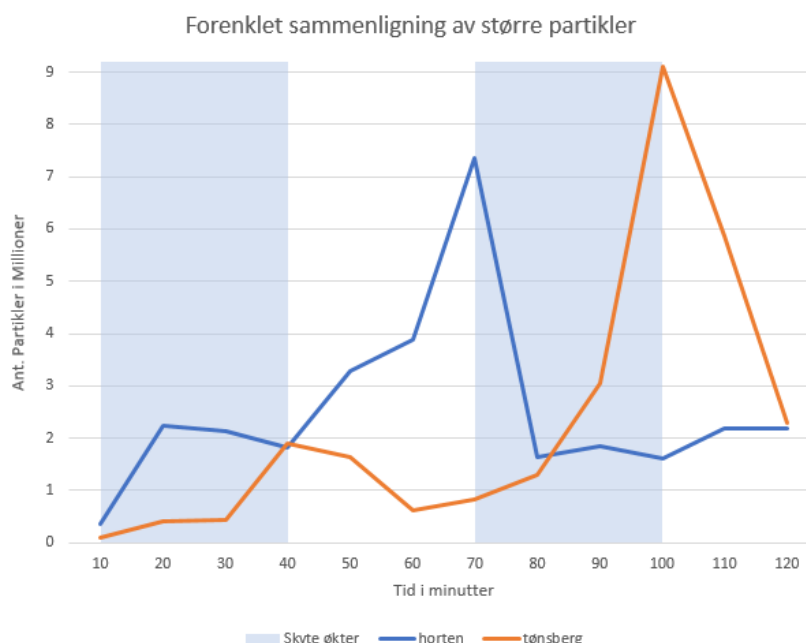
Figur 74: Graf, Utvikling av finere partikler (Tønsberg nedre skytebane)



Figur 75: Graf, Utvikling av større partikler (Tønsberg nedre skytebane)



Figur 76: Graf, forenklet sammenlikning av finere partikler for Horen og Tønsberg skytebanehaller



Figur 77: Graf, forenklet sammenlikning av større partikler for Horen og Tønsberg skytebanehaller

Hypotesen H₆ forslo at «høyere lufthastighet og mer luftgjennomstrømning gir lavere konsentrasjon av forbrenningspartikler». Horten hadde høyere lufthastighet på Special enn Comfort2. På grunn av turbulens ble partikler virvlet opp fra bakken. Luftretningen var feil og ga høyere konsentrasjon av forbrenningspartikler. Resultatene fra viser at hypotesen ikke stemmer for noen av banene.

Hypotesen H₇ forslo at «antall partikler målt er lavere på Tønsberg enn på Horten». Resultatene viser store variasjoner. For Horten er både Special og Comfort2 aktuelle ventilasjonsinnstillinger med hensyn på trafikk. Tønsberg har ikke valg om å kjøre uten luftrensere. Sammenligningen i kapittelet viser at Horten med Special er helhetlig den beste av de tre løsningene. Likevel har Tønsberg med luftrensere bedre resultater på stresstesten. En absolutt vurdering krever flere målinger, derfor er ikke Hypotesen h₇ besvart.

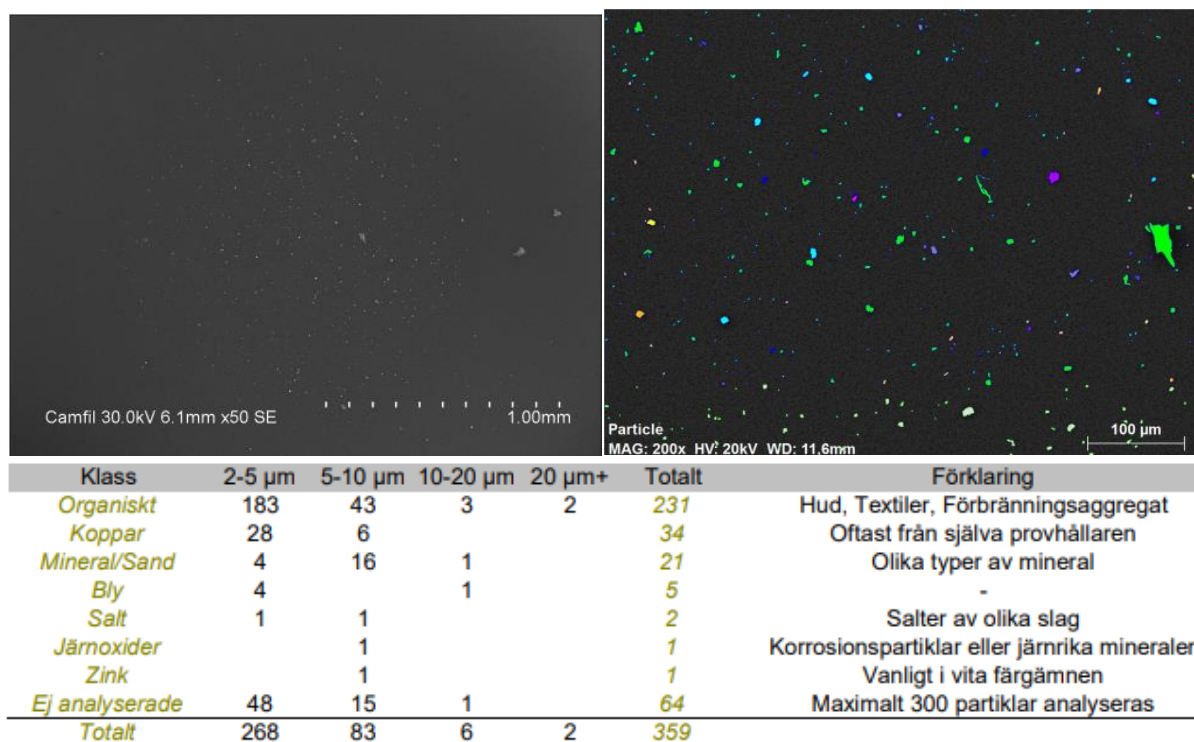
4.7 Resultater: Partikkel analyse

Partikkel analyse resultater

Camfils analyse resultater er vurdert gjennom 3 separate rapporter, hvorav en er for generell informasjon om analyse prosessen og gjenværende 2 rapporter gjelder for hver sin skytebanehallene. Illustrasjonene under viser et bilde av romlufta ved 50x forstørrelse (venstre), et bilde av røntgenanalyse av den samme luftsamplen (høyre) og en tabell med detaljert resultater av analysen.

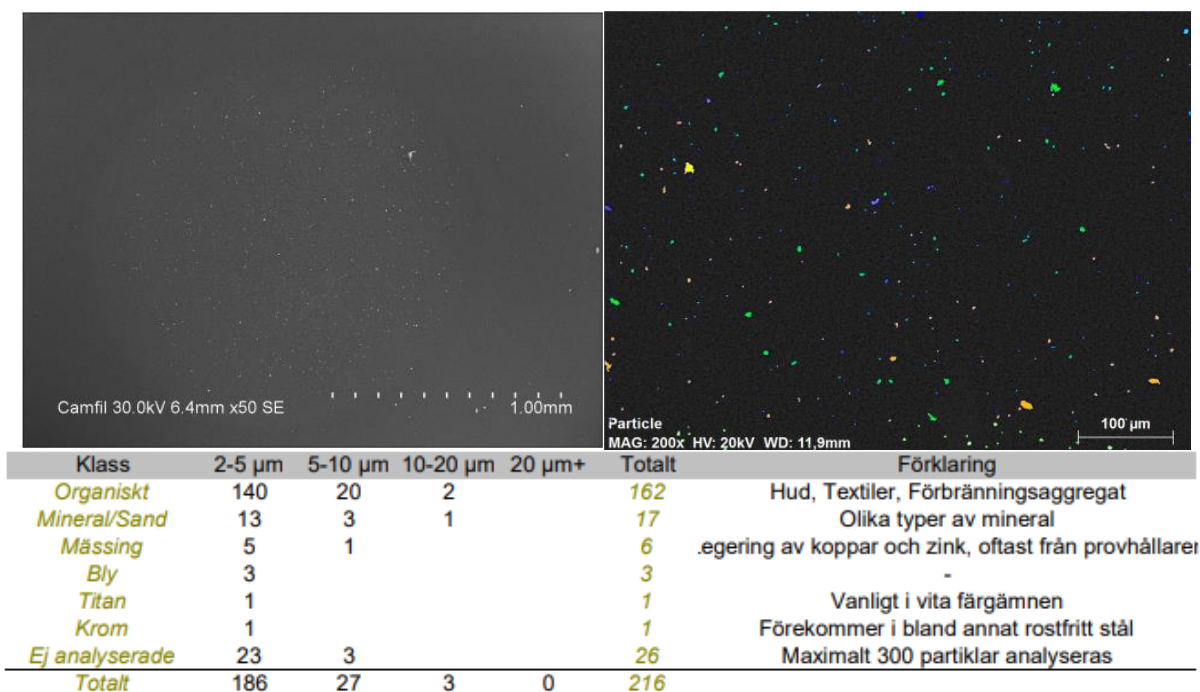
4.7.1 Tønsberg

En generell, men helhetlig vurdering i starten av rapporten sier at partikkelkonsentrasjonen ikke er avvikende før skyting.



Figur 78: Illustrasjonen viser resultatene av partikkel analysen for Tønsberg skytebanehall med ventilasjonsmodusen Normal, ved standplassen og ingen skyting.

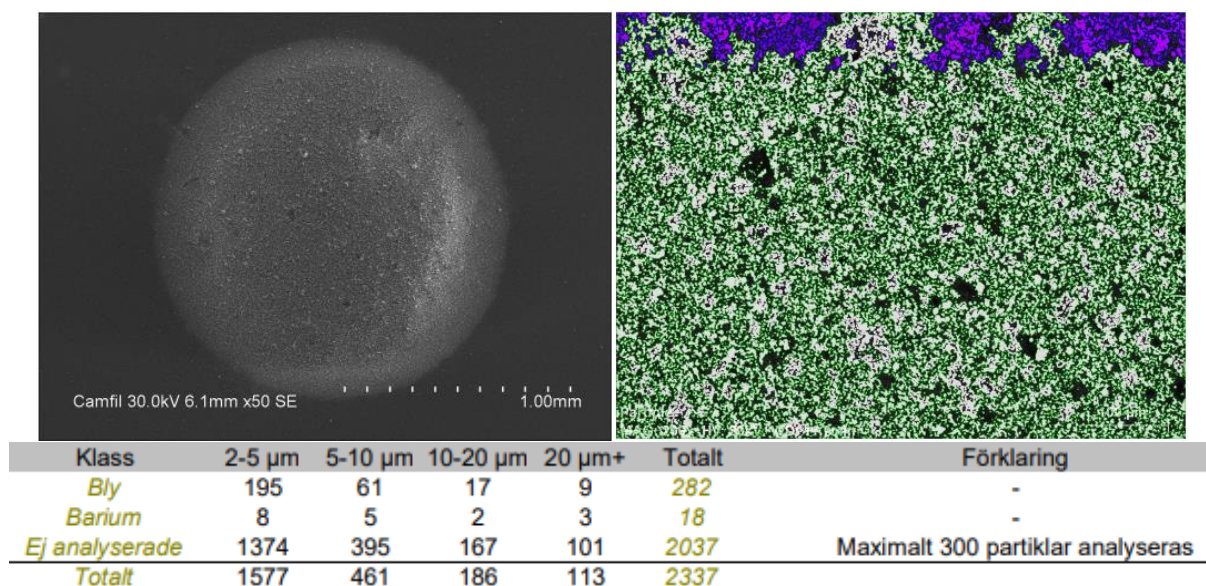
I figur 78 viser bildet til venstre viser romluft ved 50x forstørrelse, bildet til høyre viser resultatene fra røntgen analyser og tabellen viser forekomst av type partikler, deres størrelse og en forklaring på kilden deres.



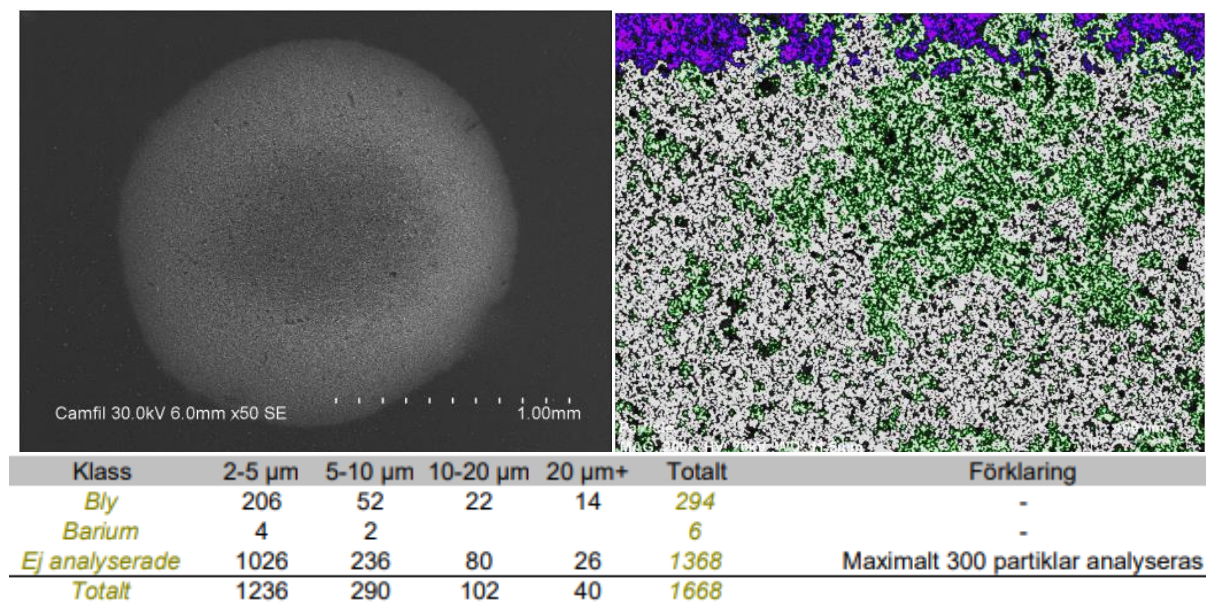
Figur 79: illustrasjonen viser resultatene av partikkel analysen for Tønsberg skytebanehall med ventilasjonsmodusen Normal, midt på banen og ingen skyting.

Under standby modus har Tønsberg skytebanehall partiklene klassene vist i figur 79. Resultatene viser moderate konsentrasjoner av mindre partikler og lave konsentrasjoner av større partikler. Det

er også oppdaget bakgrunns konsentrasjoner av bly forbindelser. Dette påpeker at forurensning ikke blir videreført og fjernet fra standplassen.

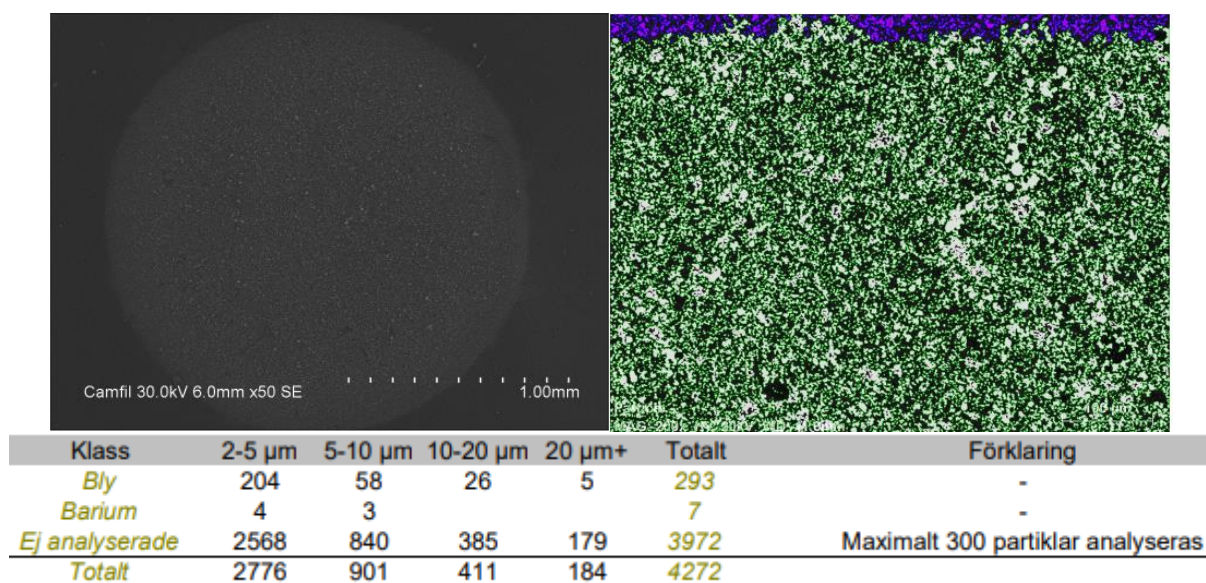


Figur 80: Illustrasjon resultater, Tønsberg skytebanehall med luftrenser SP

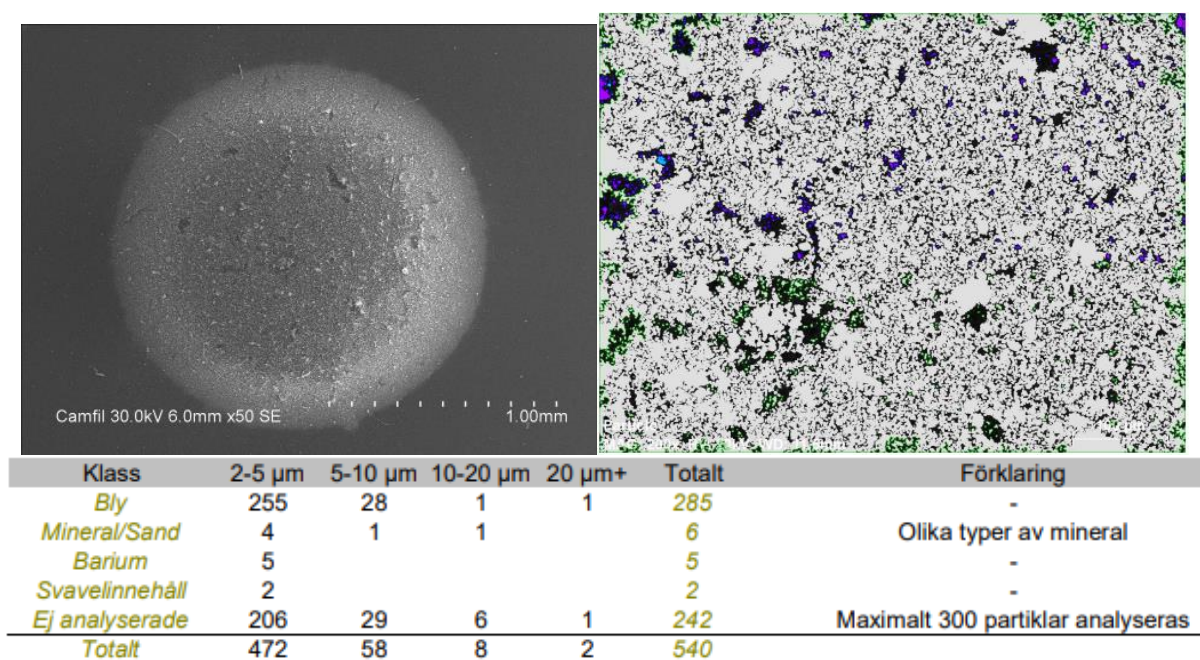


Figur 81: Illustrasjon resultater, Tønsberg skytebanehall med luftrenser MpB

Første skyteøkt (med luftrensere) viser en dominasjon av bly forbindelser, men også barium forbindelser. Med bakgrunn i at bare 300 partikler er analysert ville den faktiske konsentrasjonen vært høyere. Det kan også observeres at det er totalt mange flere partikler samlet ved standplassen sammenlignet med midt på banen.



Figur 82: Illustrasjon resultater, Tønsberg skytebanehall uten luftrensere SP

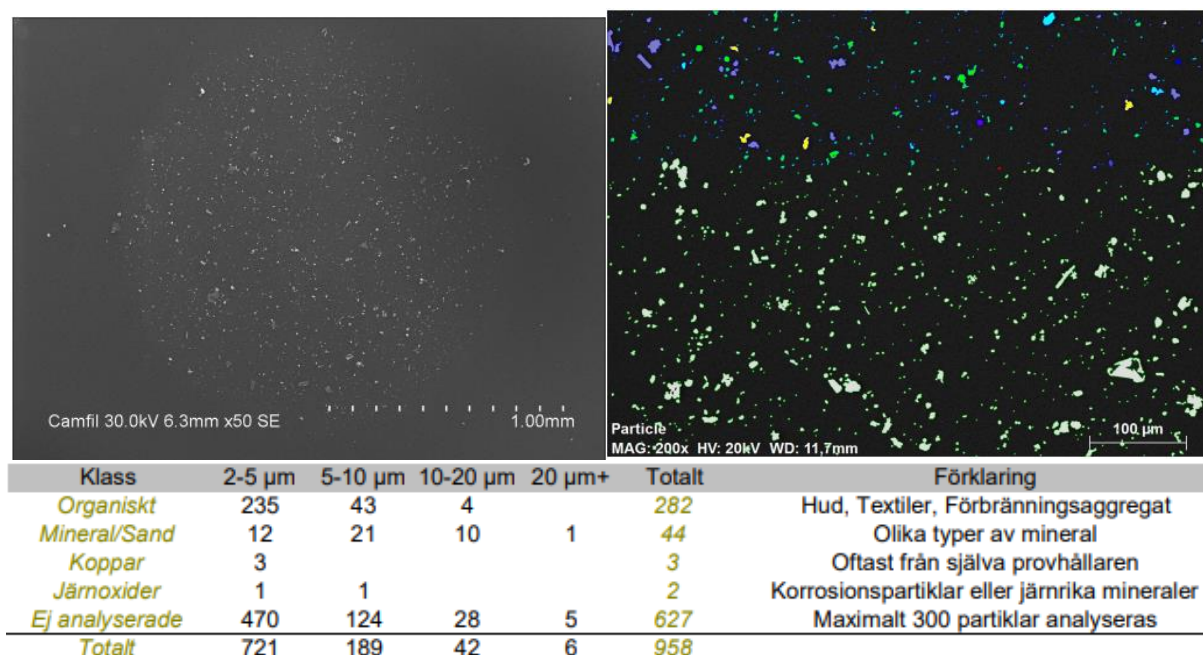


Figur 83: Illustrasjon resultater, Tønsberg skytebanehall uten luftrensere MpB

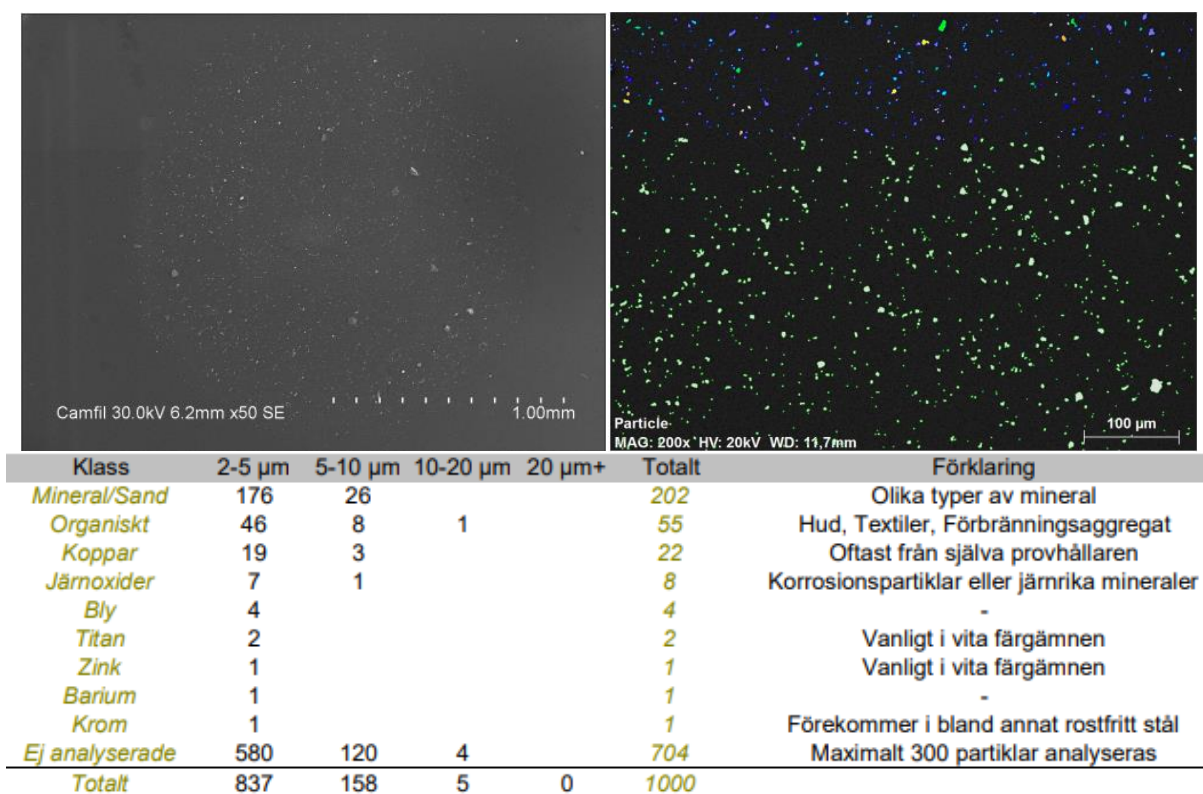
Andre skyteøkt (uten luftrensere) viser en fortsettelse av den høye bly forurensingen. Midt på banen dukker også svovelholdig forbindelser. Totalt sett er det nærmere 8 ganger mere partikler ved standplassen. Det høye tallet for standplassen tyder på at luftrenseren har en betydelig og positiv påvirkning. Sammenlignes begivenheten av luftrensere påpeker at med luftrensere er det bedre resultater. Forurensningen som er fraktet til midten av banen med luftrensere blir igjen ved standplassen når luftrenserne ikke er i bruk.

4.7.2 Horten

En generell, men helhetlig vurdering i starten av rapporten sier at romluftkvaliteten ikke er avvikende før skyting, men at den er høy når skyting forekommer.

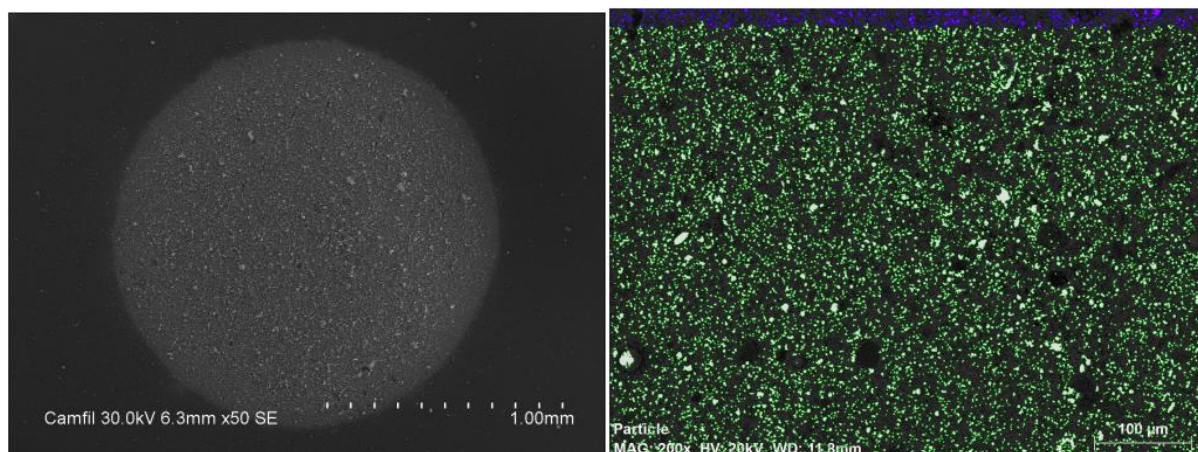


Figur 84: Illustrasjon av Horten skytebanehall uten skyting, ved standplass



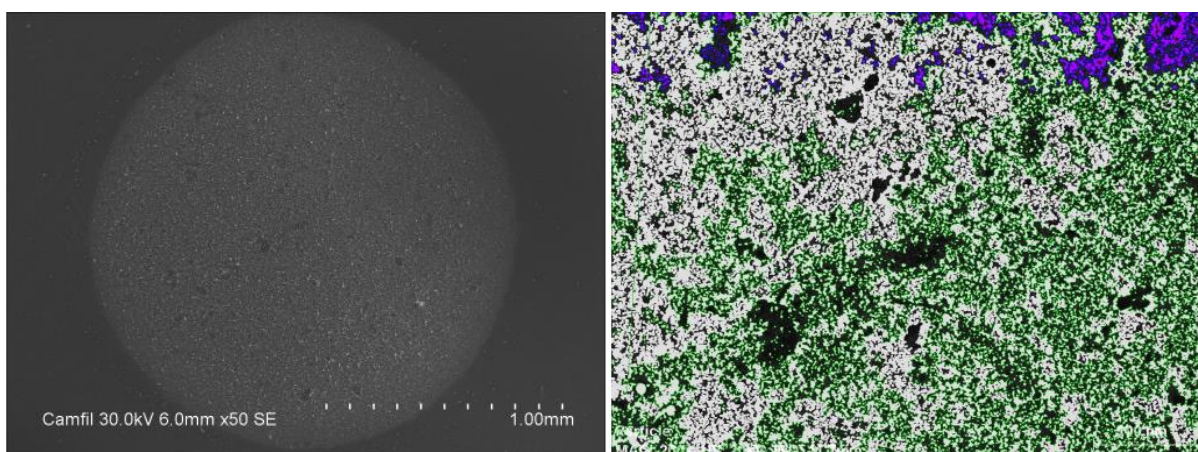
Figur 85: Illustrasjon av Horten skytebanehall uten skyting, midt på banen

Under standby modus har Horten skytebanehall partikler av klassene vist i figur 84 og 85. Resultatene viser moderate konsentrasjoner av store partikler og lave konsentrasjoner av små partikler. Det er også oppdaget bakgrunns konsentrasjoner av bly og barium forbindelser midt på banen. Dette påpeker at forurensningen blir videreført og fjernet fra standplassen, men ikke fra midt på banen.



Klass	2-5 µm	5-10 µm	10-20 µm	20 µm+	Totalt	Förklaring
Bly	247	17	1		265	-
Barium	25	10			35	-
Ej analyserade	5524	763	54	1	6342	Maximalt 300 partiklar analyseras
Totalt	5796	790	55	1	6642	

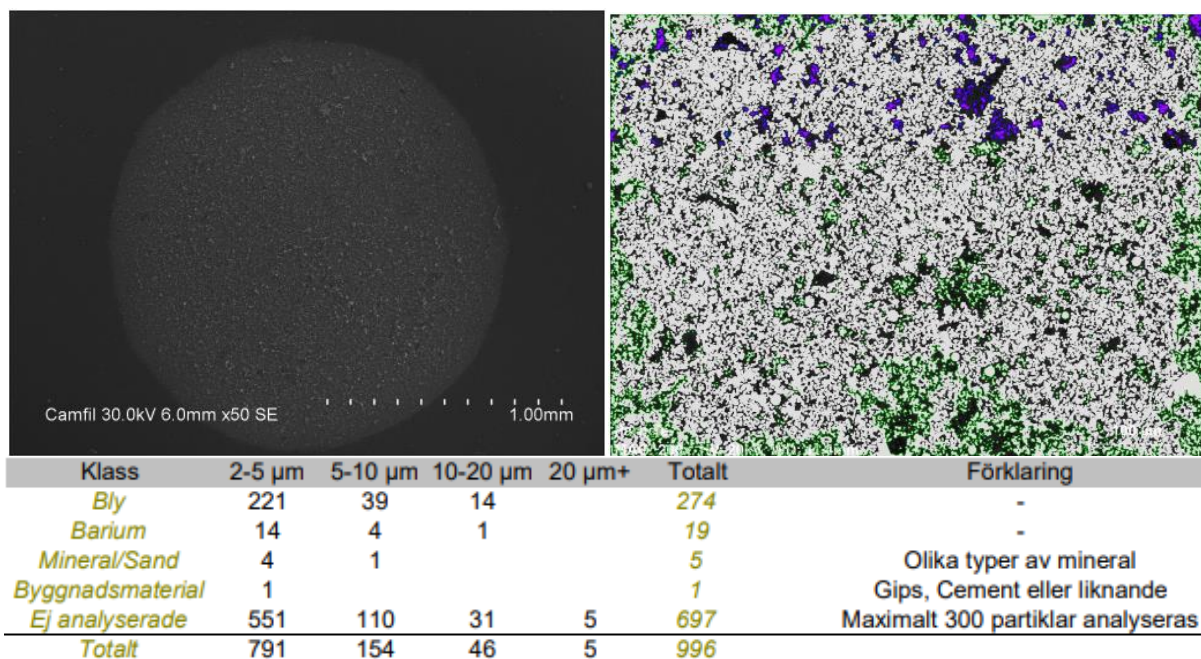
Figur 86: Illustrasjonen av Horten skytebanehall med ventilasjonsmodusen Special, standplassen.



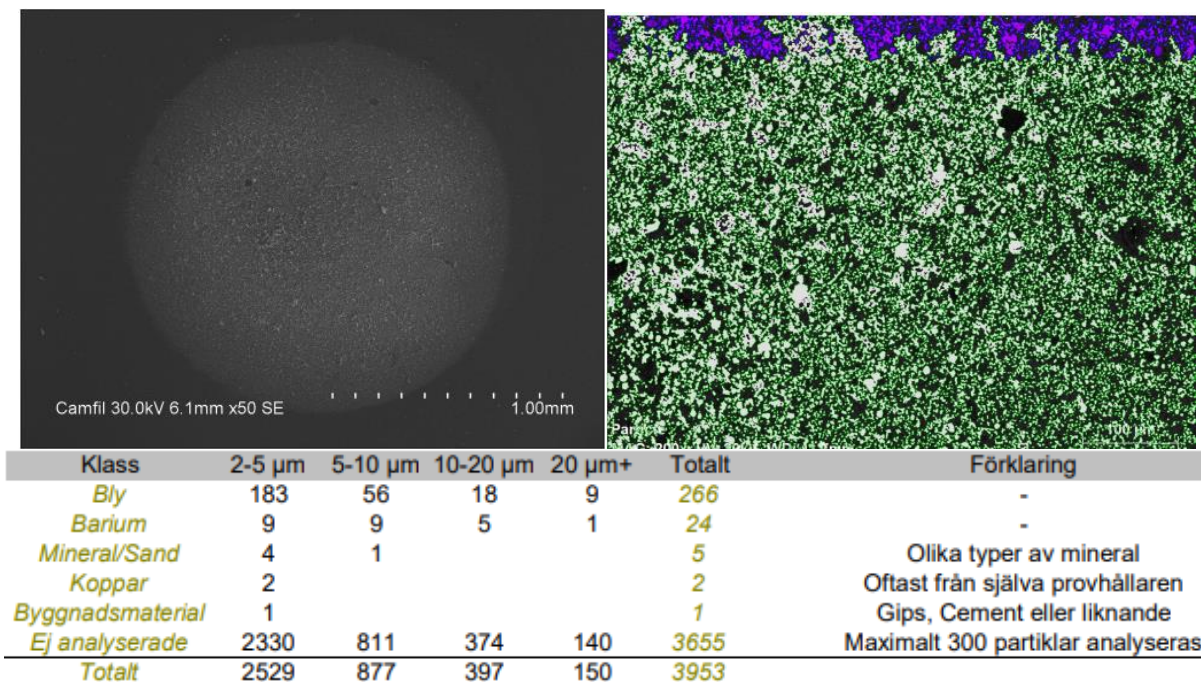
Klass	2-5 µm	5-10 µm	10-20 µm	20 µm+	Totalt	Förklaring
Bly	224	29	15	9	277	-
Barium	13	7			20	-
Mineral/Sand	2				2	Olika typer av mineral
Järnoxider	1				1	Korrosionspartiklar eller järnrika mineraler
Ej analyserade	1254	347	112	60	1773	Maximalt 300 partiklar analyseras
Totalt	1494	383	127	69	2073	

Figur 87: Illustrasjonen av Horten skytebanehall med ventilasjonsmodusen Special, midt på banen

Første skyteøkt (Special) viser en dominasjon av bly forbindelser, men også barium forbindelser forekommer. Med bakgrunn i at bare 300 partikler er analysert ville den faktiske konsentrasjonen av alle stoffer vært høyere. Det kan også observeres at det er totalt mange flere partikler samlet ved standplassen sammenlignet med midt på banen. Dette betyr at en del av forurensningen bare sirkulerer rundt standplassen og blir ikke fraktet videre.



Figur 88: Illustrasjonen av Horten skytebanehall med ventilasjonsmodusen Comfort2, standplassen.



Figur 89: Illustrasjonen av Horten skytebanehall med ventilasjonsmodusen Comfort2, midt på banen

Under andre skyteøkt (Comfort2) holder både bly og barium forbindelser høye konsentrasjoner. Totalt sett er 4 ganger så mange partikler som er fraktet med videre til midten av banen fra standplassen. Det høye tallet for midten av banen tyder på at Comfort2 fjerner mer forurensning fra standplassen.

Romluftkvaliteten av begge banene før avfyring er tilnærmet lik. Begge banene har moderate mengder av store partikler ($>1.0 \mu\text{m}$) og lave mengder av nano/finere partikler ($\pm 1.0 \mu\text{m}$). Funn av partikler nær standplassen viser en blanding av forskjellige forbrenningspartikler i både små og store størrelser. Av de større partiklene er organiske stoffer (karbon holdige) klynget sammen med forbrenningspartikler. De små størrelsene er renere former av forbrenningspartikler. Ser man midten av banene før skyting fremkommer en større variasjon av partikler. Bakgrunns forurensning av forbrenningspartikler er like gyldig som ved standplassen. I motsetning til

standplassen er større partikler på begge banene en kombinasjon av mineraler/sand, organiske partikler, kobber/messing, jernoksider, bly, titan/ sink, barium og krom.

Ved skyting er det helhetlig store mengder av store av store partikler ($>1.0 \text{ }\mu\text{m}$) og høye nivåer av nano/finere partikler ($\pm 1.0 \text{ }\mu\text{m}$). Dette gjelder uansett hvilken ventilasjons modus som er aktiv. Det oppdages lite variasjon i fremkomsten av partikler. Hoved fremkomsten er av forbrenningspartikler og nanopartikler av tungmetaller som bly og barium, som forventet. Nivået forbrenningspartikler er så høy at det overskygger alle andre stoffer, uansett størrelse. Likevel er det oppdaget en blanding av mineraler/sand på begge skytebanehallene. Jernoksid er et tilleggsstoff som kommer frem ved første skyteøkt, men overskygges av byggematerialepartikler ved andre. De organiske stoffene fortsetter å binde seg til forbrenningspartiklene, men på grunn av de store forskjellene i mengde forurensningspartikler og mengde organiske stoffer er ikke påvirkningen så betydningsfull lenger. Resultatene foreslår lite forskjell i type forurensning som er påvist på begge banen. Partikkelnivået er høyt for alle modusene. Sammenlignes alle 4 ventilasjons innstillingene er det Tønsberg med luftrensere som færrest nanopartikler ved standplassen.

Hypotesen H_8 foreslo at blyforbindelser, karbonmonoksid, bariumoksid, kaliumsulfat, kobber og zink kunne påvises. Resultatene fra partikkel analysen påviser forekomst av blant annet blyforbindelser, bariumforbindelser, svovelforbindelser, kobber og zink. Det er ukjent om forbindelsene er spesifikt de hypotesen foreslo eller om dette er andre forbindelser. Mest sannsynlig er det en blanding, men analysen spesifiserer ikke dette. Samtidig har analysen heller ikke tatt hensyn til karbonmonoksid. Dette er fordi stoppet er en gas og analysen vurderer ikke gasser. Likevel er kan det forventes spor av gassen på bakgrunn av at CO er et produkt av krutt forbrenning.

5 Konklusjoner

I dette kapittelet konkluderes de mest viktige funnene gjennom oppgaven. I første del av kapittelet vil de 2 punktene fra kapittel «1.2 problemstilling og formål» bli diskutert. Etterfulgt av en overordnet konklusjon av problemstillingen.

Skyting resulterer i uvedkomne stoffer. Stoffene kan påstå som farlige for mennesker over lengre tid. Hvilke stoffer er dette, og hvilke mengder forekommer de i? Hvilke parametere er luftforurensningen avhengig av?

Litteraturstudier konkluderte at bly var et av hoved stoffene som fremkom på en skytebane. Camfil har i sine retningslinjer definert en liste med andre stoffer som framkommer ved siden av bly [camfil rapport]. I kapitelet «2.3.2 Prioriterte stoffer og deres opphav» sies det at ikke alle av stoffene i liste var like aktuelle. Hypotesen H_8 foreslo at «ved siden av blyforbindelser vil også stoffene karbonmonoksid (CO), bariumoksid (BaO), kaliumsulfat (K_2SO_4), kobber (Cu) og zink (Zn) kunne påvises av partikkel analysen». Partikkel analysen påviste **forbindelser** av blant annet bly, barium, svovel, samt kobber og zink. Det var ikke spesifisert i rapporten fra Camfil om forbindelsene var de samme som i hypotesen eller andre. Rapporten sa at dette var forbrenningspartikler, noe som påpeker at dette kan være de samme stoffene som hypotesen presenterte. Et stoff som rapporten overså, var karbonmonoksid (CO). Partikkel analysen analyserte ikke gasser og det kan derfor ikke sies noe om stoffet. Likevel kan det forventes at det var noe CO på banen ettersom forbrenning av krutt alltid resultere i noe CO.

Gjennom partikkeltelling var det analysert lave til moderate mengder av store og små partikler før skyting. Ved start av skyting hadde begge banene ekstreme økninger i antall partikler. ASP økte gjennomsnittlig med 550%, mens AFP økte gjennomsnittlig med 5000%. Det var gjennomsnittlig flest partikler i midten og enden av banen enn det det var ved standplassen. Detaljert beskrivelse av verdiene kan ses i kapittel «4.6.3 Sammenligning av Horten og Tønsberg skytebanehaller».

Luftforurensningen er avhengig av lufthastighet og dens retning. Salgs ingeniør Kai Aaserud fra Camfil anbefalte størst mulig luftgjennomstrømning over hele tverrsnittet av banen. Tilluft bør plasseres bak skytteren og et avtrekk i den andre enden av banen vil skape en god luftbevegelse, gitt at alle leddene fungerer optimalt. Horten skytebanehall med Special har gjennomsnittlig høyest hastighet (0.35 m/s) av alle de fire ventilasjonsinnstillingene, men fordi det ikke er montert en tilluftsventil er luftstrømmene turbulente. Star CCM+ simuleringene viste at de turbulente luftstrømmene virvlet opp metallstøv fra bakken og utsatte skytteren for disse. Samtidig viste røyktesten at lufthastigheten ikke var stabil for alle standplasser, noe som utsatte noen standplasser for mer forurensning enn andre. Horten med Comfort2 derimot viste bedre partikkeltellings resultater selv om lufthastigheten (0.22 m/s) var mindre. Færre forurensende partikler i luften er grunnet mindre oppvirvling av metallstøv og generelt mindre turbulens. Dette tillater bedre forflytning av den kontaminerte lufta og bedre inneklima for skytteren.

En annen avgjørende parameter for eksponering av forurensset luft var skytterens posisjon. Står skytteren innen pleksiglassene vil ventilasjonen ha en helhetlig bedre effekt enn hvis skytteren står utenfor glassets rekkevidde.

Primære ventilasjonssystemer brukt i skytebanehaller i dag er de samme som de som ble brukt da hallene først ble bygget. Hensikten deres da var å oppredt holde en gruve eller en grotte som ble brukt som et lager for våpen eller et bomberom. Oppfyller disse systemene

dagens krav? Er tiltakene gjort for å forbedre inneklimate situasjonen effektive? Er den ene løsningen mer foretrukket enn den andre?

Visuell analyse av banene indikerte Horten som mer moderne og renslig, fremfor Tønsberg. Skytebanehallene har ulike ventilasjonsløsninger. Horten har en hybrid av omrøringer og fortrenkning, mens Tønsberg har omrøring ved siden av ett par luftrensere. Undersøkelsene viste at det var funnet motsigelser blant resultatene.

Justisdepartementets minste krav for luftutskiftninger i innendørs skytebaner er 3 luftutskiftninger per time eller 300 m³/h per våpen. Kalkuleringen av luftmengder ble utført ved å beregne for hver av kriteriene, hvorav den største luftmengden ble gjeldene. Grunnet det store volumet ble kravet for luftutskiftninger gjeldende for begge banene. Horten skytebanehall tilfredstilte dagens forskrift med en utskiftningsfaktor på mindre eller lik 3 h⁻¹. Tønsberg derimot hadde en utskiftningsfaktor på h⁻¹=1,7 og nådde ikke kravet. Det bør nevnes at Arbeidstilsynets grenseverdier ikke er gjeldende for rekreasjonsskyttere, men at det burde inkluderes i fremtidens forskrift.

Verken Tønsberg eller Horten nådde Camfils anbefaling om 0.4 m/s lufthastighet over hele banen. Dette tillot sirkulasjon av kontaminert luft rundt skytteren. Noe som igjen førte til mer eksponering og fare for skytteren. Samtidig foreslår også partikkeltellingen at det er ugunstige høye nivåer av helsefarlige partikler på standplassen. Det er ingen angitte krav om ASP og AFP, men Camfils analyserapporter foreslår at partikkelnivået er for høyt (vedlegg A og B). Ventilasjonssystemene klarer ikke å håndtere forurensningen i forhold til dagens krav. Luftrensere er mer effektive enn Special innstillingen på Horten i form av antall partikler. Likevel var begge erklært ineffektivt etablerte og hadde potensialet for forbedring. Horten var under renovasjon og skulle montere plater for å dekke luftgjennomstrøm under standplassenbenken, samt montere en industriventil over tilluftsrørene. Simuleringene av den renoverte banen viste forbedringer i lufthastighet og luftretning sammenlignet med nåværende bane. Det krever flere målinger for å anslå hvor godt tiltakene vil fungere.

Tønsberg på sin side er anbefalt å montere sine luftrensere i en mer effektiv posisjon. Visuell analyse viser at rørføringen er ødeleggende for lufthastigheten og transporten av ren luft. Dette fører til mindre hastighet ved tilluften og redusert virkningsgrad av luftrenseren.

Passive tiltak som håndvask, hørselsvern og vernebriller reduserte faren for innånding av farlige stoffer. Undersøkelsen viste at renhold av banene, spesielt Horten ikke var opp til kravene. I retningslinjene sine anbefalte Camfil å unngå bruk av tørr mopp og heller bruke en støvsuger med HEPA filter eller våtklut. Bedre renhold vil føre til lengre levetid for ventilasjonsanlegget, bedre økonomi for skytebanehallen og bedre inneklimate for skytterne.

Sammenligningsvis var Horten Special det beste helhetlige alternative fordi det håndterte luftbårne partikler bedre enn andre, gitt at forholdene var gunstige. Selv om Tønsberg håndterte stresstesten betydelig mye bedre med luftrenser enn både Special og Horten, var det gjennomsnittlige partikkeltallet likevel høyere. Begge banenes tilstand under målingene var under inneklimate standarden som forventes av NSF, Arbeidstilsynet og Justisdepartementet. De hadde for høye forurensningsverdier, hvorav bly var den primære trusselen. Camfil har i sine rapporter anbefalt en luftrenser for Horten og større luftmengder for Tønsberg.

5.1 Overordnet konklusjon

Undersøkelsen viser at Horten skytebanehall og Tønsberg skytebanehall har mye høy forurensning av luft ved skyting. Horten skytebane med ventilasjons innstillingen Special har helhetlig best resultat sammenlignet med Horten Comfort2 og Tønsberg med og uten luftrensere.

Resultatet i oppgaven viser at lufthastighet, luftretning og skytter posisjonering er essensielt for å kunne kartlegge effekten av hvilket som helst ventilasjonssystem på en innendørs skytebanehall. Er et av faktorene i en ikke gunstig tilstand vil den helhetlige inneklima situasjonen påvirkes betydelig. Tabellen (12) bekrefter at på grunn av variasjon i førnevnte faktorer kunne ikke hypotesen konkluderes som sanne.

Hypotese nr.	Forklaring	Resultat
H ₁	Ventilasjonen på innstillingen «Special» gir lavere andel partikler enn «Comfort 2»	Galt
H ₂	Ventilasjonen på innstillingen «Special» gir høyere lufthastighet enn «Comfort 2»	Stemmer
H ₃	Det er mindre mengder partikler i luften etter skyting med luftrenseren på enn med luftrenseren av	Stemmer
H ₄	Lufthastigheten øker når luftrensene står på	Galt
H ₅	Det er større konsentrasjon av forurensning på midten og i enden av banen enn ved standplassen	Stemmer delvis
H ₆	Høyere lufthastighet og mer luftgjennomstrømning gir lavere konsentrasjon av forbrenningspartikler	Stemmer delvis
H ₇	Antall partikler målt er lavere på Tønsberg enn på Horten	Stemmer delvis
H ₈	Ved siden av blyforbindelser vil også stoffene karbonmonoksid (CO), bariumoksid (BaO), kaliumsulfat (K ₂ SO ₄), kobber (Cu) og zink (Zn) kunne påvises av partikkel analysen.	Stemmer

Tabell (12): Konklusjonen av hypotesene fra kapitlet «1.3 Hypoteser»

For å minimere sjansene for innånding av metall støv bør renholds rutiner iverksettes, samt at det settes krav for bruk av maske, vernebriller og de-lead håndsåpe. Skytterne bør også informeres om at riktig stilling og posisjon er essensielt for best resultater.

Forfatterne av denne oppgaven vil konkludere med at ingen av banene når Arbeidstilsynets eller Justisdepartementets krav for et gått inneklima på skytebaner. Begge banene har positive og negative sider ved seg. En luftrenser antas å være like avgjørende for effektiv fjerning av kontaminertluft som stor luftgjennomstrømning, gitt at begge er riktig etablert. Både Tønsberg og Horten burde til rette legge ventilasjonssystemene sine og vurdere inneklima situasjonen på nytt. Til rette leggingen vil gi gode effekter. For å videre forbedre håndtering av forurenset luft kan banene følge de spesifiserte rådene fra Camfil (vedlegg B og C).

Fremtidige forsøk burde koordineres med medisinstudenter. Dette av flere grunner, energi og miljø innehar ikke kompetansen for å tolke blod- og vevsprøver. Determinering av grenseverdier og symptomer faller utenfor forfatternes ekspertisefelt. Faggruppen kan uttale seg om hva som kan hende og hvilke effekter luftstrømninger har å si for inneklimaet i rommet. Det vil anbefales til Horten å måle på nytt når renovasjonen av banen er fullført. Resultatene vil kunne sammenlignes med data og resultater i denne rapporten og effektene av poseventil og tildekning under standplass benk. Samtidig vil dette også klargjøre hvor virkelighetsnær simulasjonen av begge tilstandene var.

Referanser

Kilder:

[1] Byggforskserien. (2005). 552.331 *Filtrering av luft i ventilasjonsanlegg—Byggforskserien*.

https://www.byggforsk.no/dokument/536/filtrering_av_luft_i_ventilasjonsanlegg#i21

[2] Store Norske Leksikon. (2021). Trekk. I *Store norske leksikon*. <http://snl.no/trekk>

TSI Incorporated. (2021, mai 9). *AeroTrak Handheld Particle Counter 9306* | TSI.

<https://tsi.com/products/cleanroom-particle-counters/handheld-particle-counters/aerotrak-handheld-particle-counter-9306/>

[3] Levy, F. E. S. (2020). Blyforgiftning. I *Store medisinske leksikon*. <http://sml.snl.no/blyforgiftning>

[4] NHI. (2019, januar 8). *Blyforgiftning—NHI.no*.

<https://nhi.no/forstehjelp/akuttmedisin/forgiftninger/blyforgiftning/>

[5] Arbeids- og sosialdepartementet. (2013, januar 1). *Vedlegg 1: Liste ove*.

<https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier/8/1/>

[6] Levy, F. E. S. (2018). Metallfeber. I *Store medisinske leksikon*. <http://sml.snl.no/metallfeber>

[7] Folkehelseinstituttet. (2018, februar 13). *Metaller*. Folkehelseinstituttet.

<https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/metaller---luftkvalitetskriterier/>

[8] Helsebiblioteket. (2019, februar 19). *Karbonmonoksid—Behandlingsanbefaling ved forgiftning*.

[Helsebiblioteket.no; Helsebiblioteket.no. /forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/karbonmonoksid-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning](https://helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/karbonmonoksid-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning)

[9] Levy, F. E. S., & Andrew, E. (2020). Karbonmonoksid – medisin. I *Store medisinske leksikon*.

http://sml.snl.no/karbonmonoksid_-_medisin

[10] Folkehelseinstituttet. (2019, januar 31). *Karbonmonoksid*. Folkehelseinstituttet.

<https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/karbonmonoksid/>

1 teori forskrift[11] Lovdata. (2021). *Lover—Lovdata*. <https://lovdata.no/register/lover>

- [12] Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2008, juni 27). *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*—Lovdata.
<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>
- [13] Direktoratet for byggkvalitet. (2017, september 15). *Byggteknisk forskrift (TEK17)*—Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>
- [14] Standard Norge. (2021, juli 4). *Norsk Standard* | [standard.no](https://www.standard.no).
<https://www.standard.no/standardisering/norsk-standard/>
- [15] Byggforskserien. (2021, mai 2). *Hva er Byggforskserien*—Byggforskserien.
https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien
- [16] *Forskrifter-skytebane-innhold.pdf*. (u.å.). Hentet 2. juni 2021, fra <https://www.skyting.no/wp-content/uploads/2015/10/forskrifter-skytebane-innhold.pdf>
- [17] Standard Norge. (2017, september 1). *NS-EN 16798-7:2017*.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=934451>
- [18] Arbeidstilsynet. (2021, juni 2). *Om oss*. <https://www.arbeidstilsynet.no/om-oss/>
- [19] Standard Norge. (2019a, desember 1). *NS 3420-BM:2019*.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1104956>
- [20] Standard Norge. (2019b, desember 1). *NS 3420-V:2019*.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1104954>

- [21] Beredskapsdepartementet, J. (2018, april 27). *Ansvarsområder og oppgaver i JD*
[Redaksjonellartikkel]. Regjeringen.no; regjeringen.no.
<https://www.regjeringen.no/no/dep/jd/dep/id468/>
- [22] *192580-skytebaner-aug2019.pdf*. (u.å.). Hentet 2. juni 2021, fra
<https://www.regjeringen.no/contentassets/13d7e0015cc043a78abd8c6124cd00b2/192580-skytebaner-aug2019.pdf>
- [23] Det frivillige Skyttervesen. (2021, juni 2). *The Norwegian Civilian Marksmanship Association—Dfs.no*. <https://www.dfs.no/om-dfs/english-dfs/>
- [24] *Veiledning_15m.pdf*. (u.å.). Hentet 2. juni 2021, fra
https://www.dfs.no/globalassets/documents/skytterkontoret/avdelinger/anlegg/dokumenter/veiledning_15m.pdf
- [25] Institute of Heat, Gas and Water Technology of Riga Technical University, «*Study Findings Regarding Pollution Levels in Indoor Shooting Ranges and Ventilation System Design to Limit Them*», Riga, 2018.
- [26] Gębka, K., Beldowski, J., & Beldowska, M. (2016). The impact of military activities on the concentration of mercury in soils of military training grounds and marine sediments. *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(22), 23103–23113.
<https://doi.org/10.1007/s11356-016-7436-0>
- [28] PubChem. (u.å.). *Lead styphnate*. Hentet 2. juni 2021, fra
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/61789>
- [29] Øijord, T. W. (2020). Patron. I *Store norske leksikon*. <http://snl.no/patron>
- [30] Kristofersen, G. (2020). Kvikksølvfulminat. I *Store norske leksikon*.
<http://snl.no/kvikks%C3%B8lvfulminat>

[31] TSI Incorporated. (2021, mai 9). *AeroTrak Handheld Particle Counter 9306* | TSI.

<https://tsi.com/products/cleanroom-particle-counters/handheld-particle-counters/aerotrak-handheld-particle-counter-9306/>

[32] T. Ravn, Interviewee, Samtaler i person, over telefon og E-post.. [Intervju]. 05 2021.

[33] P. Tanberg, Interviewee, Samtaler i person, over telefon og E-post.. [Intervju]. 05 2021.

[34] P.N. Pedersen, Interviewee, Samtaler i person, over telefon og E-post.. [Intervju]. 05 2021.

[35] K. Aaserud, Interviewee, Samtaler i person, over telefon og E-post.. [Intervju]. 05 2021.

[36] Standard Norge. (2017, mars 1). *NS-EN ISO 16890-1:2016*.

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=881560>

[37] C. Seyffer, «Firing Ranges – Design, Ventilation & Filtration», Camfil Farr, AAF historical og NRA Manual, USA, 2003.

[38] Byggforskserien. (1996). *552.351 Fordeling av ventilasjonsluft i rom—Byggforskserien*.
https://www.byggforsk.no/dokument/539/fordeling_av_ventilasjonsluft_i_rom

[39] Byggforskserien. (2002). *552.340 Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg—Byggforskserien*.

https://www.byggforsk.no/dokument/537/varmegjenvinnere_i_ventilasjonsanlegg

[40] Swema. (2021, juni 2). *SwemaAir 5 Air Flow*.

<https://www.swema.com/Air%20Flow/SwemaAir%205>

[41] Miljødirektoratet, «Bly og blyforbindelser,» 2021 [Internett]. Available: [Bly og blyforbindelser \(miljodirektoratet.no\)](https://miljodirektoratet.no) [Funnet 9 02 2021]

[42] B. Pedersen, «klor», Store Norske Leksikon 2013 [Internett]. Available: <https://snl.no/klor> [Funnet 9 02 2021]

[43] Compound Interest, «The Chemistry of Gunpowder», CompoundChem 2014 [Internett]. Available: <https://www.compoundchem.com/2014/07/02/the-chemistry-of-gunpowder/> [Funnet 9 02 2021]

[44] N. Johnson, «Explosive,» Britannica 2007 [Internett]. Available: [Explosive | Britannica](#) [Funnet 9 02 2021]

Figurliste

Figur 1: Bilde av inngang og satellittkort utsnitt av Horten skytebane	12
Figur 2: Tegning med mål over Horten skytebanehall og bilde av skytebanen	12
Figur 3: Tønsberg skytebanehall med mål.....	13
Figur 4: Mål på Tønsberg skytebanehall.....	13
Figur 5: Stempelstrømning, 2D illustrasjon	16
Figur 6: Liste over mulige stoffer som kan finnes i skytebanehaller	20
Figur 7: Grafen viser utvikling i «Utslipp av bly» i Norge siden 1995. Den er hentet fra Miljødirektoratets side for bly og blyforbindelser (KILDE).	21
Figur 8: Bilde av to versjoner av ammunisjonstypen .22lr.	21
Figur 9: Bilde viser farer på ammunisjonspakning (er et utsnitt fra NCBIs artikkel "Lead styphnate"[28])...	22
Figur 10: Bilde av patron som avfyres	23
Figur 11: Et eksempel på resultater fra SEM-analyse. Bildet er av romluft ved 10,000x forstørrelse	25
Figur 12: Bilde av EDS analyse.	26
Figur 13 SwemaAir [40]	27
Figur 14: Bilde fra standplassen på Horten skytebanehall	29
Figur 15: Bilde av plassering av tilluft Horten skytebanehall	29
Figur 16: Modell sett ovenfra av Horten skytebanehall	30
Figur 17: Modell sett fra siden av Horten skytebanehall	30
Figur 18: Bilde av Tønsberg skytebanehall, fra bak standplass	31
Figur 19: Bilde av Tønsberg skytebanehall fra målskivene.....	31
Figur 20: Modell sett fra siden av Tønsberg skytebanehall.....	32
Figur 21: Modell sett ovenfra av Tønsberg skytebanehall	32
Figur 22: Modell av KRIPOS skytebanehall sett fra siden	32
Figur 23: Modell av KRIPOS skytebanehall sett ovenfra	33
Figur 24: Modell av Tønsberg nedre skytebanehall ^{45°}	34
Figur 25: Bilde av Tønsberg nedre skytebanehall med avtrekksventiler.....	34
Figur 26: Illustrasjon av Horten skytebanehall med et helningsforhold på 31:1.	35
Figur 27: Bilde av røykpenner som tennes på	36
Figur 28: Bilde av veken med flamme	36
Figur 29: Bilde av flammen slukket, røyk opptrer	37
Figur 30: Graf som viser mest brukte patroner	38
Figur 31: Graf viser sikkerhetstiltak med hensyn på hygiene.....	38
Figur 32: Graf av ordinære sikkerhetstiltak	39
Figur 33: Modell av Horten skytebanehall i dag.....	40
Figur 34: Modell av Horten skytebanehall med transparent visning	41
Figur 35: Lufthastighetssimulering for Horten skytebanehall	41
Figur 36: Lufthastighetssimulering for Horten skytebanehall, ovenfra	42
Figur 37: Modell av Horten skytebanehall med forbedringer	42
Figur 38: Modell av Tønsberg skytebanehall i dag, fra siden	43
Figur 39: Modell av Tønsberg skytebanehall med tilluft og avtrekk plassering	43
Figur 40: Lufthastighetssimulering for Tønsberg skytebanehall	43
Figur 41 : Lufthastighetssimulering for Tønsberg skytebanehall	44
Figur 42: Modell av Tønsberg skytebanehall med forbedringer	44
Figur 43: Simulering av lufthastighet, Tønsberg skytebanehall med forbedringer	45
Figur 44: Simulering av lufthastighet, Tønsberg skytebanehall med forbedringer	45
Figur 45: Luftbevegelser på Tønsberg skytebanehall med forbedringer	45
Figur 46: Luftbevegelser på Tønsberg skytebanehall med forbedringer	46
Figur 47: Luftbevegelser på Tønsberg skytebanehall med forbedringer	46
Figur 48: Simulering av lufthastigheter av Kripos skytebanehall i dag.....	47
Figur 49: Simulering av lufthastigheter av Kripos skytebanehall i dag, sett ovenfra	47
Figur 50: Simulering av KRIPOS skytebanehall med luftmengde 14 000 m ³ /h	48

Figur 51: Simulering av KRIPOS skytebanehall med luftmengde 2350 m ³ /h.....	48
Figur 52: Modell av KRIPOS skytebanehall uten industriventilasjon.....	49
Figur 53: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten industriventilasjon.....	49
Figur 54: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten industriventilasjon, sett ovenfra	50
Figur 55: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten industriventilasjon, 2 350 m ³ /h	50
Figur 56: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten tilluftsdoner	50
Figur 57: Simulering av KRIPOS skytebanehall uten tilluftsdoner, luft fra én industripose	50
Figur 58: Graf av lufthastighetsmålinger fra Horten og Tønsberg skytebanehaller.....	51
Figur 59: Bilde av røyken som føres i retning av luftstrømmen (innenfor plexiglass)	52
Figur 60: Bilde av røyken viser tendenser til annerledes bevegelse	52
Figur 61: Bilde av Røyken beveges i motsatt retning av luftstrømmen (bak plexiglasset)	53
Figur 62: Bilde av røyken som beveges med luftstrømmen.....	53
Figur 63: Bilde av røyken som stiger utenfor standplass	53
Figur 64: Graf av antall partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Spesial).....	54
Figur 65: Graf av antall partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Comfort2)	55
Figur 66: Graf, Antall finere partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Spesial)	56
Figur 67: Graf, antall større partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Spesial).....	56
Figur 68: Graf, antall finere partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Comfort2)...	57
Figur 69: Graf, antall større partikler målt i millioner, med klokkeslett, Horten skytebanehall (Comfort2) ..	58
Figur 70: Graf, antall partikler målt i millioner, med klokkeslett, Tønsberg skytebanehall (uten luftrenser) ..	59
Figur 71: Graf, antall større partikler målt i millioner, med klokkeslett, Tønsberg skytebanehall (uten luftrenser).....	59
Figur 72: Graf, Utvikling av finere partikler (Horten)	62
Figur 73: Graf, Utvikling av større partikler (Horten)	62
Figur 74: Graf, Utvikling av finere partikler (Tønsberg nedre skytebane).....	62
Figur 75: Graf, Utvikling av større partikler (Tønsberg nedre skytebane).....	63
Figur 76: Graf, forenklet sammenlikning av finere partikler for Horen og Tønsberg skytebanehaller	63
Figur 77: Graf, forenklet sammenlikning av større partikler for Horen og Tønsberg skytebanehaller	64
Figur 78: Illustrasjonen viser resultatene av partikkel analysen for Tønsberg skytebanehall med ventilasjonsmodusen Normal, ved standplassen og ingen skyting.	65
Figur 79: illustrasjonen viser resultatene av partikkel analysen for Tønsberg skytebanehall med ventilasjonsmodusen Normal, midt på banen og ingen skyting.	65
Figur 80: Illustrasjon resultater, Tønsberg skytebanehall med luftrenser SP	66
Figur 81: Illustrasjon resultater, Tønsberg skytebanehall med luftrenser MpB.....	66
Figur 82: Illustrasjon resultater, Tønsberg skytebanehall uten luftrenser SP	67
Figur 83: Illustrasjon resultater, Tønsberg skytebanehall uten luftrenser MpB	67
Figur 84: Illustrasjon av Horten skytebanehall uten skyting, ved standplass.....	68
Figur 85: Illustrasjon av Horten skytebanehall uten skyting, midt på banen	68
Figur 86: Illustrasjonen av Horten skytebanehall med ventilasjonsmodusen Special, standplassen.	69
Figur 87: Illustrasjonen av Horten skytebanehall med ventilasjonsmodusen Special, midt på banen	69
Figur 88: Illustrasjonen av Horten skytebanehall med ventilasjonsmodusen Comfort2, standplassen.	70
Figur 89: Illustrasjonen av Horten skytebanehall med ventilasjonsmodusen Comfort2l, midt på banen.....	70

Tabelliste

Tabell 1: Fordeler og ulemper ved ulike ventilasjonssystemer	14
Tabell 2: Planlagte skytebane banehaller.....	19
Tabell 3: Mest brukt ammunisjon (basert på påstander).....	19
Tabell 4 Egenskaper og begrensninger for termisk anemometer Swema Air5, hentet herifra Swema [40] ..	27
Tabell 5: Målepunkter i kanal	28
Tabell 6: Lufthastigheter i kanal Horten skytebanehall.....	39
Tabell 7: Lufthastigheter i kanaler Tønsberg skytebanehall.....	40
Tabell 8: Antall partikler av ulike størrelse med sted og tid ved måling (Spesial ventilasjon)	55
Tabell 9: Antall partikler av ulike størrelse med sted og tid ved måling (Comfort2)	57
Tabell 10: Partikkeltall med hensyn på tid, sted, størrelse og målepunkt plassering (skyteøkt 1).....	60
Tabell 11: Partikkeltall med hensyn på tid, sted, størrelse og målepunkt plassering (skytteøkt2).....	61

Formelliste

Formel 1: Lufthastighet	15
Formel 2: Luftmengdebehov	15
Formel 3: Luftsiftning.....	15
Formel 4: Luftmengdebehovet basert på luftsiftekravet	16
Formel 5: Reaksjonsligningen for teoretisk fullstendig forbrenning av krutt	22
Formel 6: Ufullstendig forbrenning av krutt.....	22
Formel 7: Utregning for plassering av det kritiske punktet.....	34



KOMMENTARER TILL BEDÖMNING OCH PARTIKELTYPER

§ 1. PROVTAGNING OCH ANALYSMETODER

1:1 Provtagning Provtagning sker med hjälp av så kallade mätstubbar kopplade till en vacuum pump. Luftburna partiklar samlas upp på ett membran med hål som är ca 0,4 µm i diameter. Proven analyseras sedan med hjälp av ett Svep Elektron Mikroskop (SEM) med tillhörande EDS-röntgenanalyssystem.

1:2 SEM-analys Samtliga stubbar beläggs med ett tunt lager guld, för att göra provet ledande. Stubbarna studeras sedan vid olika förstoringar i SEM för att bedöma antal, form och storlek av de luftburna partiklarna. Bilder, dels från ett representativt område på stubben och dels på särskilda partiklar som behöver dokumenteras och kommenteras ytterligare, biläggs rapporten.

1:3 EDAX-analys Med EDS-röntgenanalyssystem kan man göra en grundämnesanalys av enskilda partiklar, under förutsättning att de är tillräckligt stora (>1µm). EDS-analysen är bra för analys av oorganiskt material, såsom t.ex. saltkristaller eller minerala partiklar. Analysen kan exempelvis användas för att ge en ledtråd till var större partiklar som förekommer i tilluften härstammar från. Man kan även undersöka om eventuella fibrer som förekommer i tilluft eller rumsluft kan härledas till isolering i ventilationssystemet. Vid en sådan undersökning ser vi gärna att prov på isoleringen skickas med som referens.

EDS-analys lämpar sig ej för analys av organiskt material!

1:4 Partikelräkning En automatiserad rutin kan användas för att hitta partiklar i ett område (om de är stora nog, >2µm) och utföra en kort EDS-analys av dessa. Partiklarna i området klassas sedan automatiskt enligt vissa fördefinierade klasser. Denna analys ger en bra översikt över fördelningen av partikeltyper i ett prov och är mycket bra för att leta efter eventuella ovanliga grundämnen i ett prov. Normalt sett görs denna analys vid 200x förstoring varvid partiklar större än ungefär 2µm analyseras. 300st partiklar analyseras och utgör den underliggande statistiken.

§ 2. BEDÖMNING AV PROVEN

Vid utvärdering av proven bedöms partikelhalten vara låg, medel eller hög för varje prov. Bedömningen av partikelhalten är baserad på tidigare gjorda tester och relaterad till vilken typ av prov det är, t.ex. uteluft, tilluft eller rumsluft. Således kan samma mängd partiklar bedömas som låg i uteluft och medel i tilluft.

2:1 Uteluft (före filter)

Partikelhalten varierar med trafikintensitet, årstid, väderlek, vindriktning mm.

Som referens till övriga prov är det nödvändigt att komplettera med ett prov på uteluften, eftersom man ej kan göra en rättvisande bedömning av filtrens prestanda, läckage i ventilationskanaler o.s.v. om uteluftprov saknas. Mängden partiklar efter ett filter korrelerar med koncentrationen före filtret.

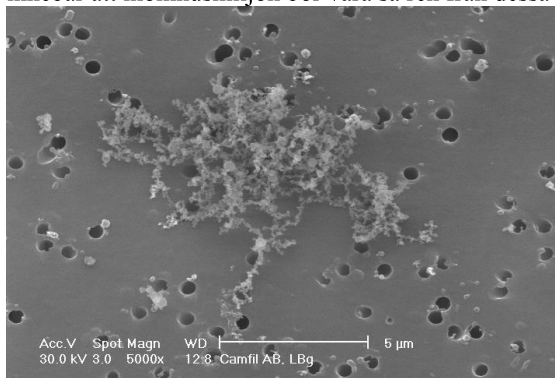
2:2 Tilluft (efter filter)

Partikelhalten i tilluften är framför allt beroende av den filtrering som sker av luften. Det kan dock förekomma att det genereras partiklar efter filter i en ventilationsanläggning eller att det sker läckage av ofiltrerad uteluft eller frånluft (se nedan).

3:3 Förbränningspartiklar <0,1 µm

Denna partikeltyp förekommer i samband med olika typer av förbränning. Den återfinns ofta i utomhusluft, och då främst i trafikerade miljöer, vilket innebär att den sätts i samband med t.ex. biltrafik. Man har även iakttagit aggregat av små partiklar i samband med cigarettökning samt eldning av stearinljus och oljelampor.

Trafikavgaser o.dyl. anses öka risken för astmatiska och allergiska reaktioner. Det kan därför vara viktigt att känsliga personer inte utsätts för exponering under större del av dygnet än nödvändigt. Det innebär att inomhusmiljön bör vara så ren från dessa partikeltyper som möjligt.



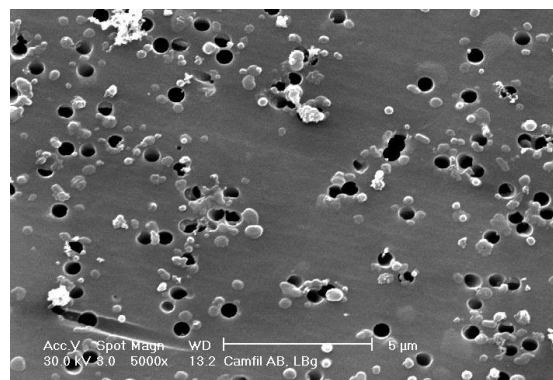
Aggregat av förbränningspartiklar <0,1 µm

3:4 Sfäriska partiklar <1 µm

”Fet” rök bildar från början en hinna på membranet som kan täcka både hål och andra partiklar som förekommer i luften. Efterhand bildas partiklar som till en början kan se ut som vattendroppar på en glasskiva och sedan övergår till sfäriska partiklar med varierande storlek. Så småningom bildas aggregat av partiklar <0,1 µm av den typ som nämns ovan. Liksom aggregaten förekommer denna partikeltyp i samband med olika typer av förbränning. Sfäriska partiklar förekommer således normalt tillsammans med aggregat av partiklar <0,1 µm (se ovan).

I enstaka fall kan det förekomma höga halter sfäriska partiklar i uteluft vilket sannolikt innebär att provet är taget i närheten av förbränningskällan. Då höga halter sfäriska partiklar förekommer i rumsluft beror det ofta på att cigarettökning skett i lokalen i samband

med eller strax före provtagningen. Även rökning i annat rum men i närheten av provtagningspunkten kan ge stort utslag på proven.



Sfäriska partiklar <0,1 µm

2:3 Rumsluft

I inomhusluften varierar storleken och antalet partiklar med verksamhet, aktivitet, ventilation och filtrering av tilluften (se nedan). En stor källa till partiklar inomhus är de människor som vistas där.

OBS! Samtliga prov bedöms utifrån vad man kan förvänta sig är normalt för respektive provtagningsplats. Det som bedöms som mycket partiklar på ett tilluftprov kan alltså bedömas som lite partiklar på ett rumsluftprov.

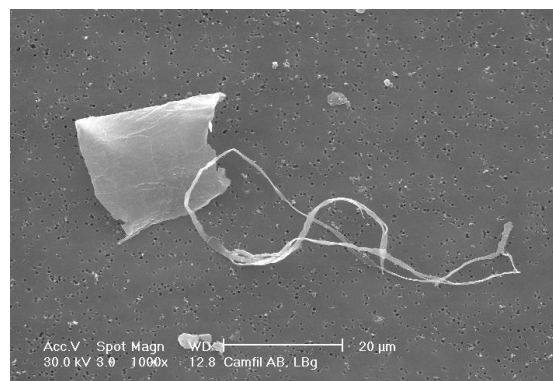
Efter slutförd analys sparas proven i 2 månader från det datum rapporten skickas från Camfil. Därefter kasseras membranet och ytterligare analys av samma prov kan således inte genomföras.

§ 3. SPECIELLA PARTIKELTYPER

3:1 Damm

Största delen av de stora partiklar som förekommer i rumsluft är damm, t.ex. textila fibrer, hudflagor och små gruskorn, och genereras framförallt av de människor som vistas i ett rum. Dammhalten i ett rum är alltså beroende av aktiviteten i rummet före och under provtagningen.

Höga dammhalter kan påverka slemhinnor i t.ex. ögon och hals med torrhetkänsla som följd. Personer kan alltså uppleva obehag och irritationer i ett rum även om partiklarna i sig inte är "farliga". Människors reaktioner på dammhalt i luft är individuell och responsen kan variera kraftigt från person till person.



Hudflaga och textilfiber funna på rumsluftprov.

3:2 Fibrer

Organiska fibrer är i de flesta fall detsamma som textila fibrer. De återfinns ofta i rumsluft och har samma uppkomstkälla som damm (se punkt 3:1). Det vill säga de genereras av de människor som vistas i rummet.

Oorganiska fibrer innefattar exempelvis isoleringsfibrer och glasfibrer. Förekomst av oorganiska fibrer på ett prov kan t.ex. indikera att det släpper fibrer från kanalisoleringen i ett ventilationssystem (se punkt 1:3).

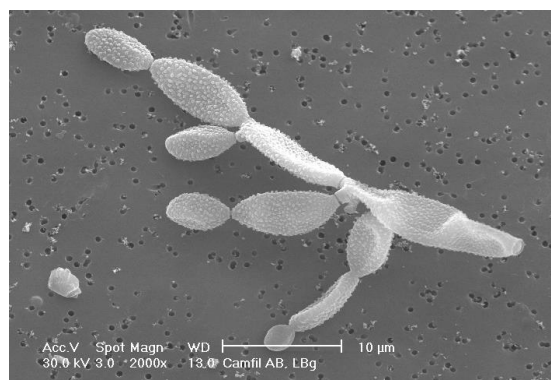
3:5 Mikrobiologiskt material. Här registreras tydligt definierbara mikrobiologiska partiklar. Nivån i uteluften varierar kraftigt med årstid (till exempel pollen under våren och svampsporer under hösten) och provtagningsplats. Mikrobiologiskt material förekommer normalt i vår omgivning men nivån i till- och rumsluft bör vara låg med väl fungerande ventilationssystem. I system med dåliga filter, utan ventilation eller bara frånluft är nivån mer beroende av halten i uteluften. Som referensprov används uteluft.

Förekomst av sporer och dylikt i tilluft och inomhus kan vara tecken på problem. Man kan dock inte dra slutsatsen att det förekommer mikrobiologisk tillväxt i en fastighet där man hittar enstaka sporer i luften eftersom det då kan röra sig om normalflora. Man kan ej heller med säkerhet bestämma vilken sorts spor det är enbart genom att studera utseendet i elektronmikroskop.

Mikrobiologisk tillväxt kan även förekomma i ett rum utan att sporer förekommer i luften. Dels kan den aktuella tillväxtplatsen vara belägen så att sporer ej kan frisättas till

luften, exempelvis under en matta. Dels frisätts inte alltid sporer till luften även om tillväxten sker på t.ex. en vägg. Man kan alltså se eller känna lukten av t.ex. mögel eller bakterier utan att hitta sporer på ett luftprov.

De individuella reaktionerna på förekomst av mikrobiologiskt material kan variera kraftigt. För att närmare utreda om det förekommer mikrobiologiska problem i en fastighet kan t.ex. odlingsanalys göras.



Sporer i ett uteluftprov.



CAMFIL TECHCENTER

WR6553 - HORTEN SKYTEBANE

BEDÖMNING AV LUFTKVALITETEN

Labbingenjör Filip Sandberg

7 maj 2021

Innehåll

1 SEM Analys, Luftkvalitetskontroll	3
2 Syfte	3
3 Information	4
4 Beställarens iakttagelser och kommentarer vid provtagningsplats	4
5 Beskrivning av SEM	5
6 Beskrivning av Metod	5
7 Resultat	6
7.1 Bilder av rumsluften - vid skjutplats innan skjutning	6
7.2 Partikelidentifiering av rumsluften - vid skjutplats innan skjutning	8
7.3 Bilder av rumsluften - mitten av banan innan skjutning	9
7.4 Partikelidentifiering av rumsluften - mitten av banan innan skjutning	11
7.5 Bilder av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(full)	12
7.6 Partikelidentifiering av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(full)	14
7.7 Bilder av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (full)	15
7.8 Partikelidentifiering av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (full)	17
7.9 Bilder av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(låg)	18
7.10 Partikelidentifiering av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(låg)	20
7.11 Bilder av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (låg)	21
7.12 Partikelidentifiering av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (låg)	23
8 Sammanfattning/kommentarer	24
9 Slutsats	24

1 SEM Analys, Luftkvalitetskontroll

Utförd av: Filip Sandberg
Beställd av: Kai Aaserud
7 maj 2021
Key Words: Luftprover, Norge, 30 min, OsloMet

Bedömning av partikelkoncentration			
Prov	Provtagningsplats	Partikelkoncentration	
1: Rumsluftsprov	Vid skjutplats, innan skjutning	Stora: Måttlig	Små: Låg
2: Rumsluftsprov	Mitten av skjutbanan, innan skjutning	Stora: Måttlig	Små: Låg
3: Rumsluftsprov	Vid skjutplats, vid skjutning (full)	Stora: Hög	Små: Hög
4: Rumsluftsprov	Mitten av skjutbanan, vid skjutning (full)	Stora: Hög	Små: Hög
5: Rumsluftsprov	Vid skjutplats, vid skjutning (låg)	Stora: Hög	Små: Hög
6: Rumsluftsprov	Mitten av skjutbanan, vid skjutning (låg)	Stora: Hög	Små: Hög

Bedömning av rumsluftskvalitet, innan skjutning: Ej avvikande - måttliga partikelnivåer
Bedömning av rumsluftskvalitet, under skjutning: Avvikande - höga partikelnivåer

Läs slutsats i slutet av rapporten.

2 Syfte

Syftet med den här analysen var att undersöka luftkvaliteten i kundens lokal för att se vilka typer av partiklar som finns samt dess storlek.

3 Information

Allmänt

Anläggningsnamn: Horten Skytebane

Adress: -

Typ av byggnad: Skjutbana

Byggår: -

Utfört av: OsloMet/Kai Aaserud

Företag: Camfil Norge AS

4 Beställarens iakttagelser och kommentarer vid provtagningsplats

Luftkvalitet innan/efter skjutning.

5 Beskrivning av SEM

Svepelektronmikroskop(SEM) är ett mikroskop som använder sig av koncentrerade elektroner för att generera en bild. Med SEM kan mycket hög förstoring uppnås, betydligt större än vad som är möjligt att erhållas med ljusmikroskopi. Upplösningen i SEM teknologin gör det möjligt att förstora objekt till 300,000x förstoring. Ett exempel på hur smått detta är; för att få en yta på 1x1 cm vid 42,000 gångers förstoring så skulle det krävas ca 15 miljoner bilder. I SEM så utsätts proven som ska studeras för olika elektroner med hög energi vilket leder till olika fysikaliska fenomen. Vissa elektroner reflekteras och kan då detekteras och skapa en bild av ytan. När detta sker så påverkas atomerna i provet genom att elektroner i de inre skalerna exciteras, det vill säga hoppar till ett yttre elektronskal. När dessa senare faller tillbaka sänds en röntgen strålning ut från provet som kan detekteras med en EDS(Energy-dispersive spectroscopy)-detektor. Strålningen som kommer ifrån denna reaktion är specifik för varje grundämne som provet innehåller, och det gör det därför möjligt att få ut kemisk information från provets olika partiklar vilket leder till att man kan avgöra vilka typer av grundämnena som finns i proven. Dessa egenskaper utnyttjas vid luftprovsanalyser där ett automatiserat program skannar partiklarna på ytan och klassificerar partiklarna utifrån definierade parametrar som t.ex. dess grundämnesuppbyggnad, form och storlek.

6 Beskrivning av Metod

Metoden som används för SEM är baserat på ett projekt tillsammans Stockholms Universitet under 1992. En följd av detta projekt ledde till utvecklingen av ett provtagningssystem för luftanalyser. De metoder som används är beroende på vilken typ av analys som blir utförd. De olika analyserna delas in i tre olika metoder där samtliga icke-ledande prover beläggs med guld (sputter coating) för att öka provens ledningskapacitet och möjliggöra prövning av icke-ledande prover.

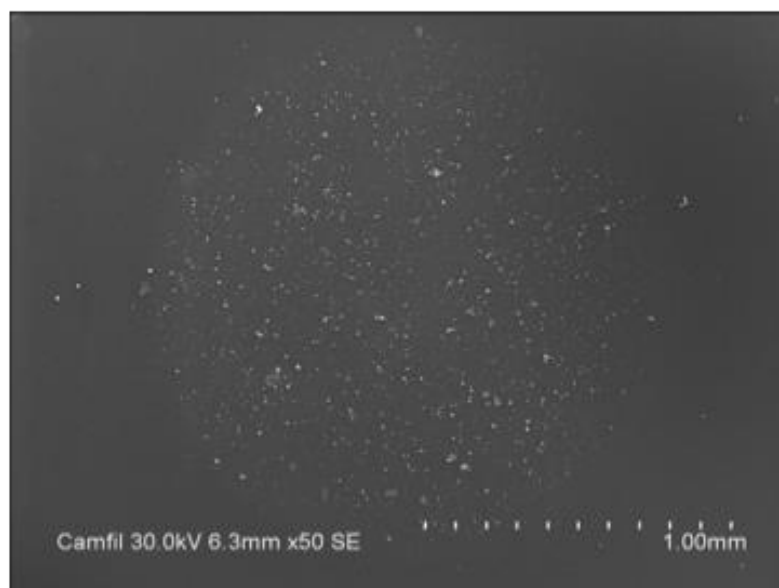
1. Luftanalyser; vid luftanalyser så används en vakuumpump som suger luften genom ett membranfilter som fästs på en provhållare för att på så sätt fånga partiklarna. Luftkvaliteten bedöms sedan efter massvis av referensprover som tagits fram genom mångårig erfarenhet inom luftanalys. Bedömning görs med avseende på partiklarnas mängd samt dess identifierade partikelklass.

2. Filtermedia-analyser; vid analysen så tas en del av filtermediat som fästs på en lämplig provhållare. Därefter analyseras ytan med hjälp av EDS-detektorn som använder sig av form, storlek samt ämnesuppbyggnad för att generera en bild som visar de olika ämnena som finns i provet samt vart i provet de förekommer.

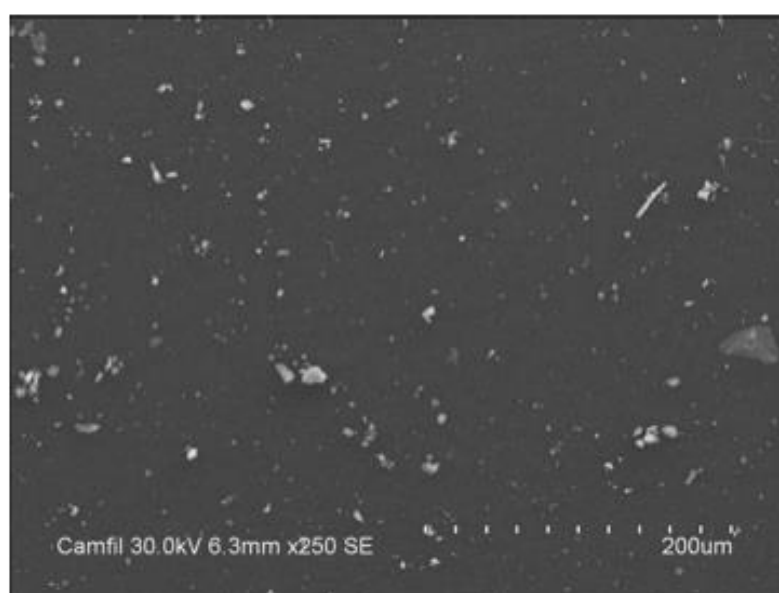
3. Stoft/material-analyser; vid analysen fästs provet på en lämplig provhållare. Därefter analyseras ytan med hjälp av EDS-detektorn som utvärderar partiklarnas form, storlek och ämnesuppbyggnad. Detta gör det möjligt att generera en bild som visar de olika ämnena som finns i provet samt vart i provet de förekommer. Det är oftast även möjligt att göra en partikelanalys för att bedöma antalet partiklar samt avgöra dessa klass för att på så vis ta reda på vad det är för typ av stoft/material.

7 Resultat

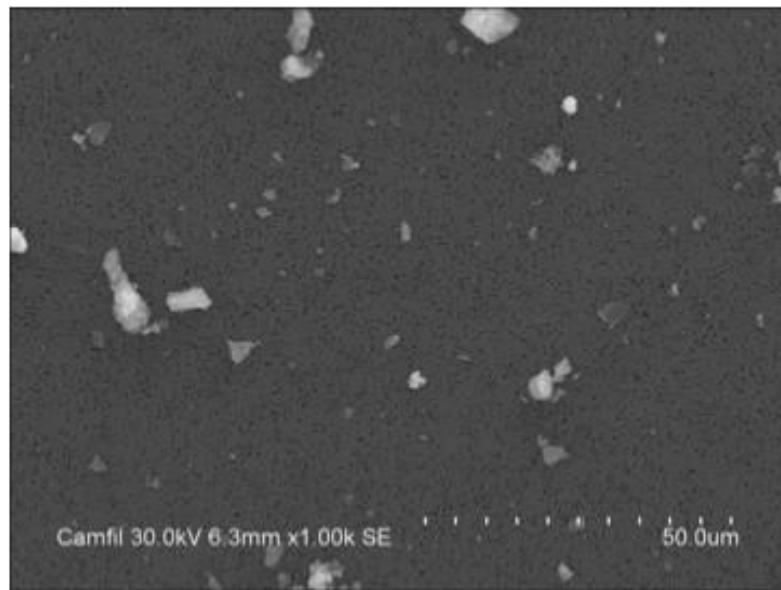
7.1 Bilder av rumsluften - vid skjutplats innan skjutning



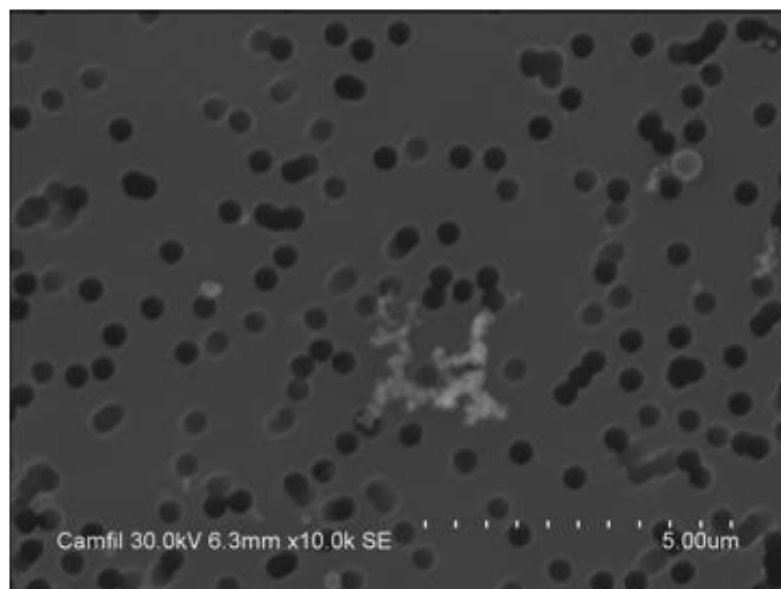
Figur 1: Rumsluft 50x



Figur 2: Rumsluft 250x



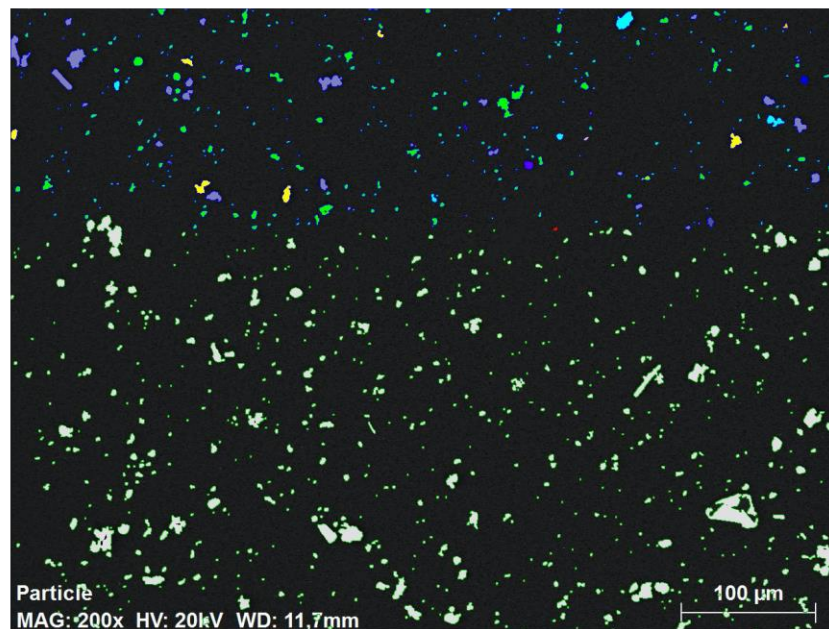
Figur 3: Rumsluft 1000x



Figur 4: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.2 Partikelidentifiering av rumsluften - vid skjutplats innan skjutning

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

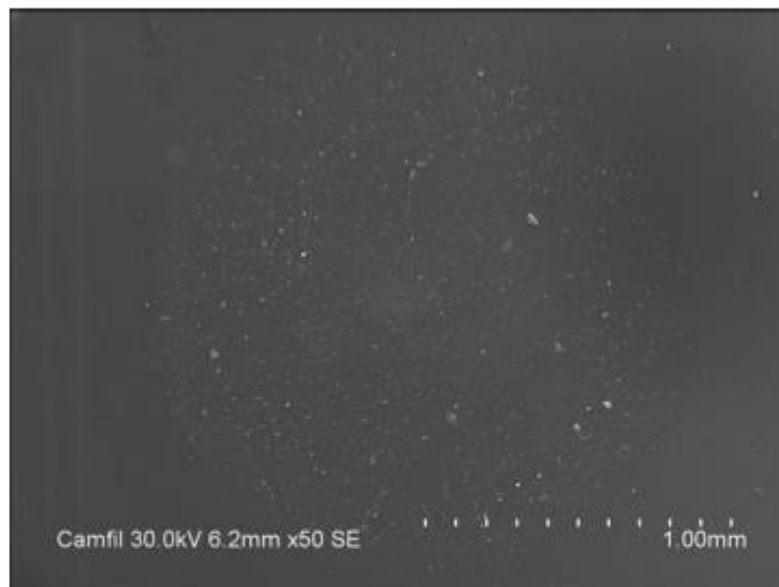


Figur 5: Rumsluft

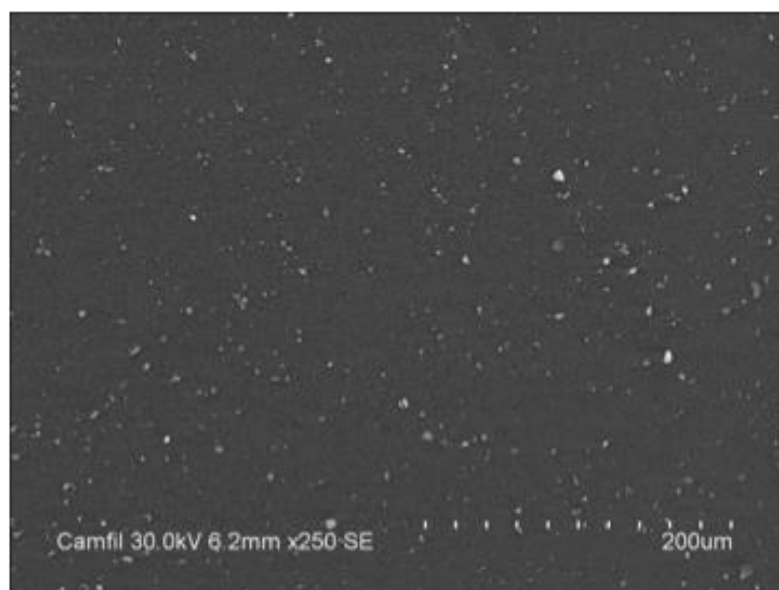
Klass	2-5 µm	5-10 µm	10-20 µm	20 µm+	Totalt	Förklaring
<i>Organiskt</i>	235	43	4		282	Hud, Textiler, Förbränningsaggregat
<i>Mineral/Sand</i>	12	21	10	1	44	Olika typer av mineral
<i>Koppar</i>	3				3	Oftast från själva provhållaren
<i>Järnoxider</i>	1	1			2	Korrosionspartiklar eller järnrika mineraler
<i>Ej analyserade</i>	470	124	28	5	627	Maximalt 300 partiklar analyseras
Totalt	721	189	42	6	958	

Figur 6: Partiklar Rumsluft

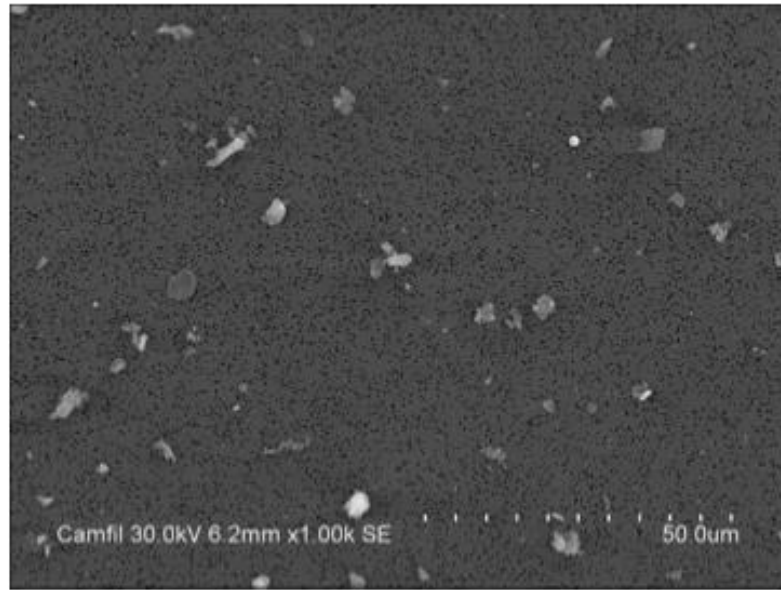
7.3 Bilder av rumsluften - mitten av banan innan skjutning



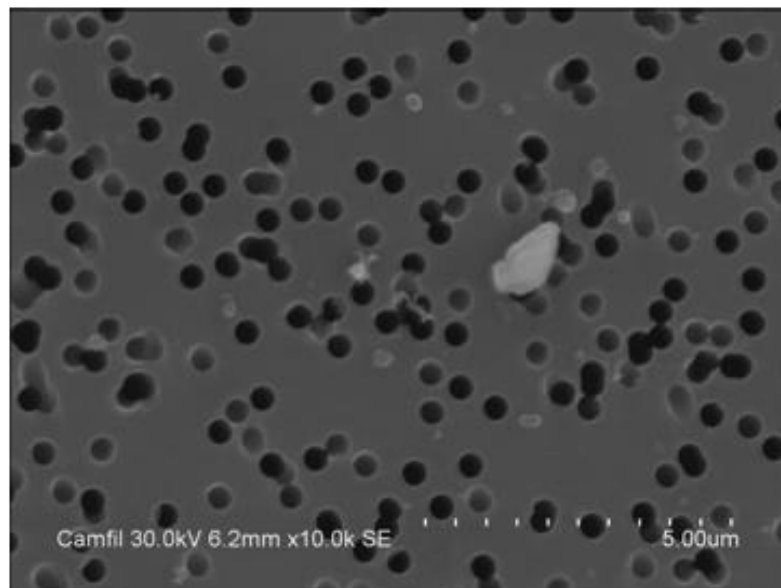
Figur 7: Rumsluft 50x



Figur 8: Rumsluft 250x



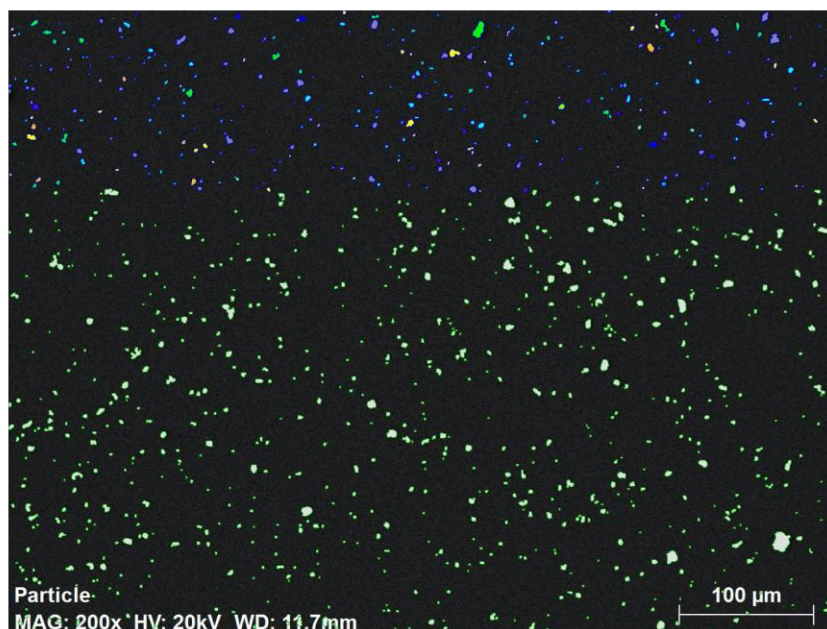
Figur 9: Rumsluft 1000x



Figur 10: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.4 Partikelidentifiering av rumsluften - mitten av banan innan skjutning

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

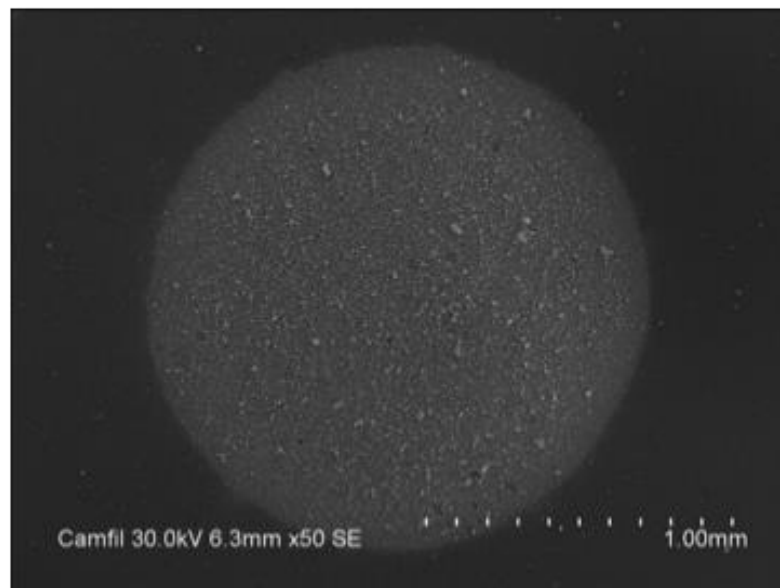


Figur 11: Rumsluft

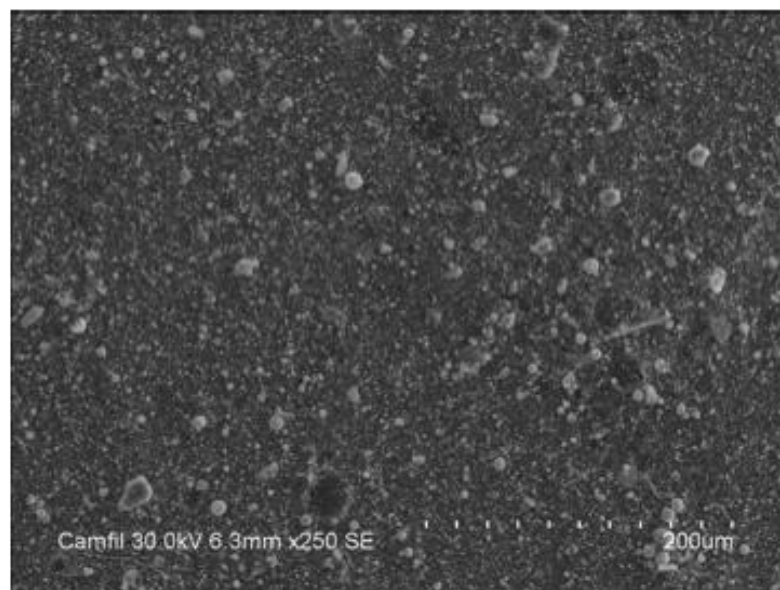
Klass	2-5 µm	5-10 µm	10-20 µm	20 µm+	Totalt	Förklaring
<i>Mineral/Sand</i>	176	26			202	Olika typer av mineral
<i>Organiskt</i>	46	8	1		55	Hud, Textiler, Förbränningsaggregat
<i>Koppar</i>	19	3			22	Oftast från själva provhållaren
<i>Järnoxider</i>	7	1			8	Korrosionspartiklar eller jämraka mineraler
<i>Bly</i>	4				4	-
<i>Titan</i>	2				2	Vanligt i vita färgämnen
<i>Zink</i>	1				1	Vanligt i vita färgämnen
<i>Barium</i>	1				1	-
<i>Krom</i>	1				1	Förekommer i bland annat rostfritt stål
<i>Ej analyserade</i>	580	120	4		704	Maximalt 300 partiklar analyseras
<i>Totalt</i>	837	158	5	0	1000	

Figur 12: Partiklar Rumsluft

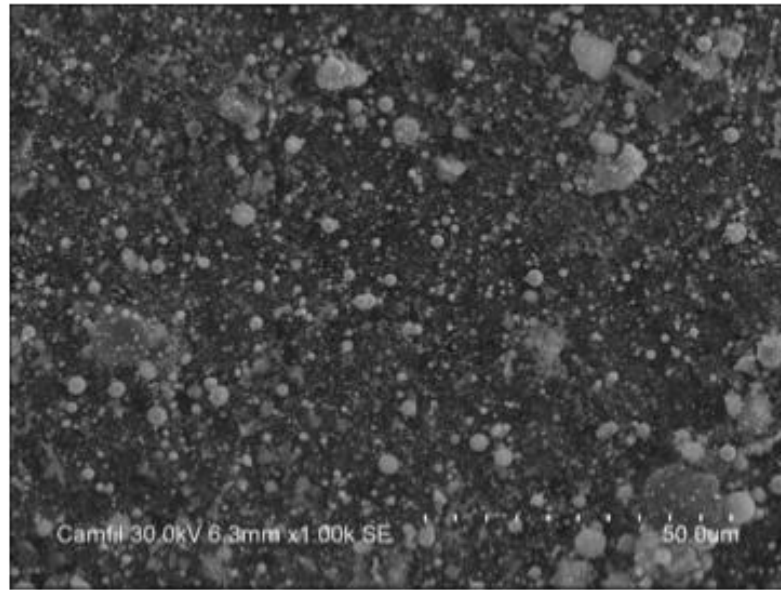
7.5 Bilder av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(full)



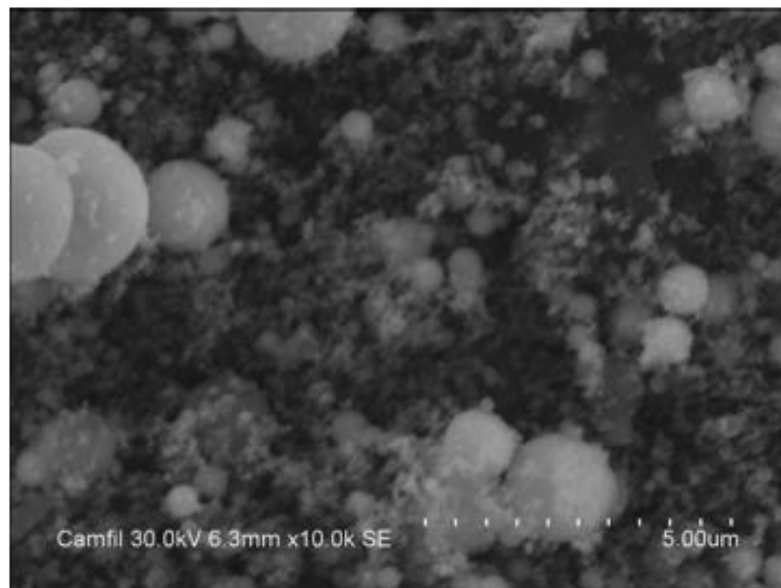
Figur 13: Rumsluft 50x



Figur 14: Rumsluft 250x



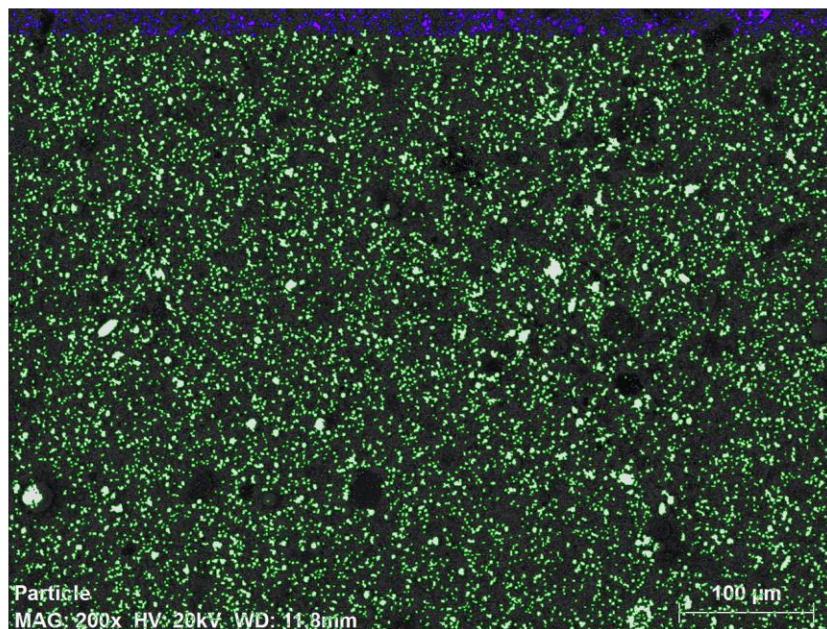
Figur 15: Rumsluft 1000x



Figur 16: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.6 Partikelidentifiering av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(full)

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

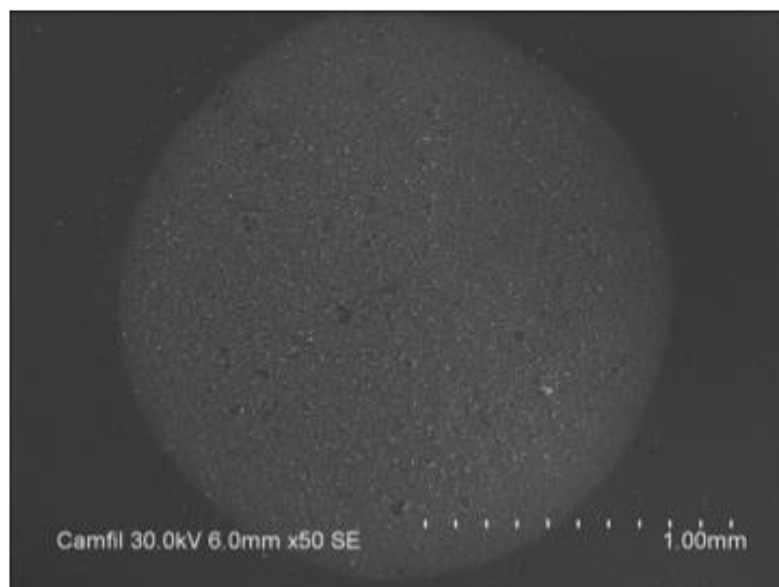


Figur 17: Rumsluft

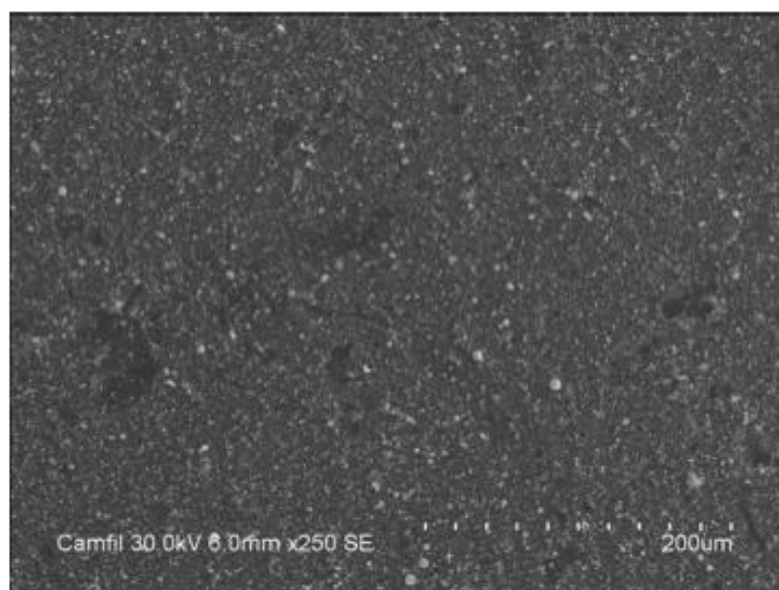
Klass	2-5 μm	5-10 μm	10-20 μm	20 μm+	Totalt	Förklaring
<i>Bly</i>	247	17	1		265	-
<i>Barium</i>	25	10			35	-
<i>Ej analyserade</i>	5524	763	54	1	6342	Maximalt 300 partiklar analyseras
<i>Totalt</i>	5796	790	55	1	6642	

Figur 18: Partiklar Rumsluft

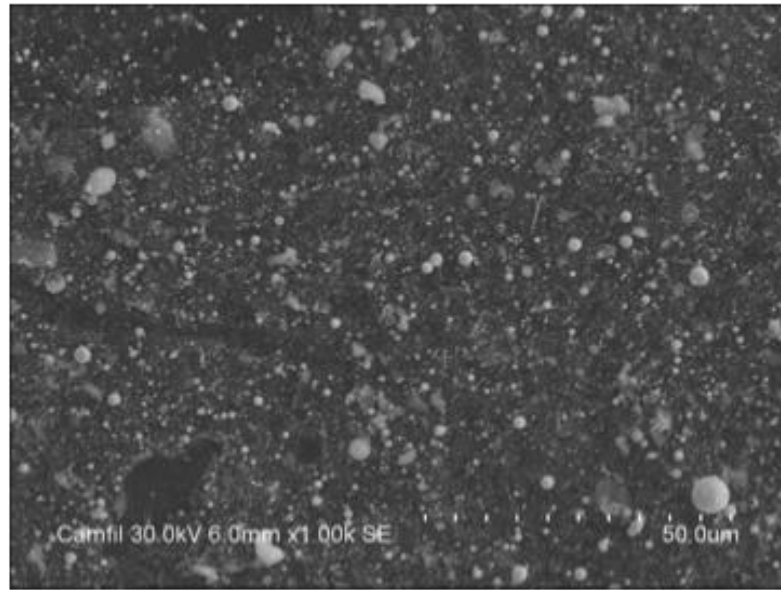
7.7 Bilder av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (full)



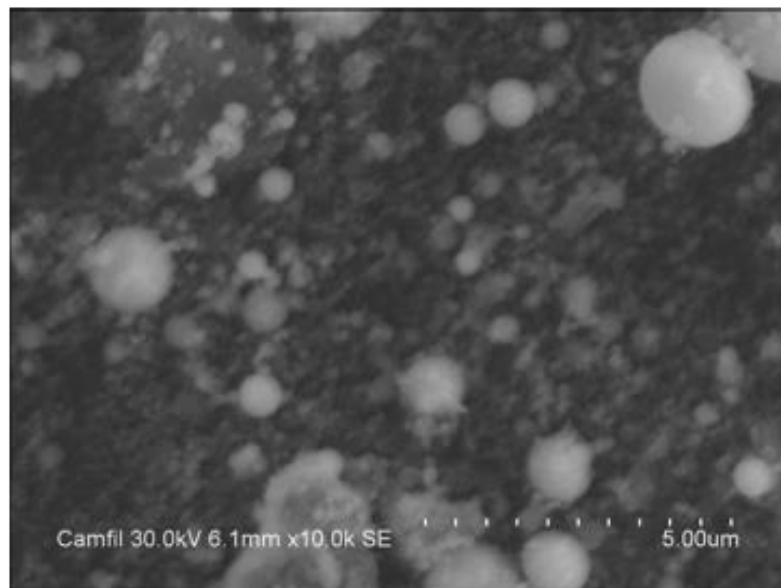
Figur 19: Rumsluft 50x



Figur 20: Rumsluft 250x



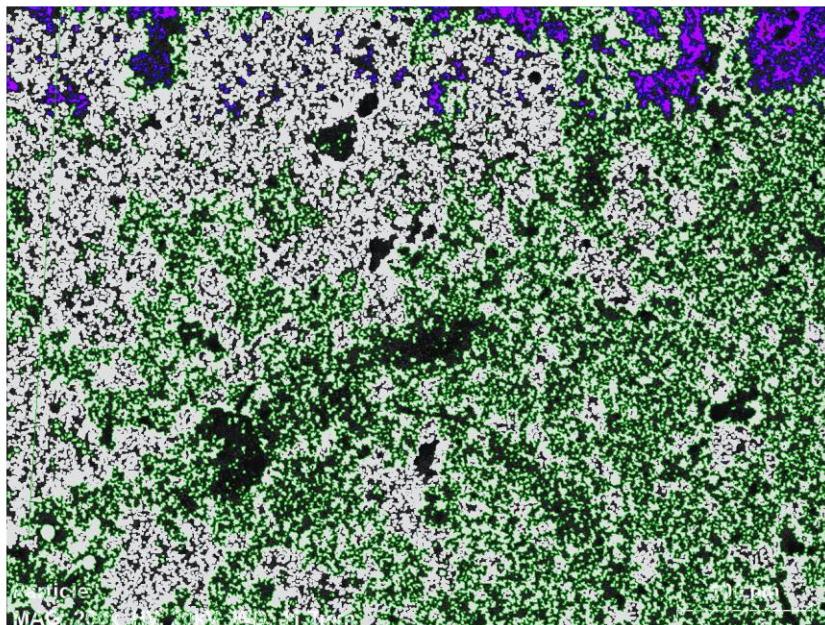
Figur 21: Rumsluft 1000x



Figur 22: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.8 Partikelidentifiering av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (full)

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

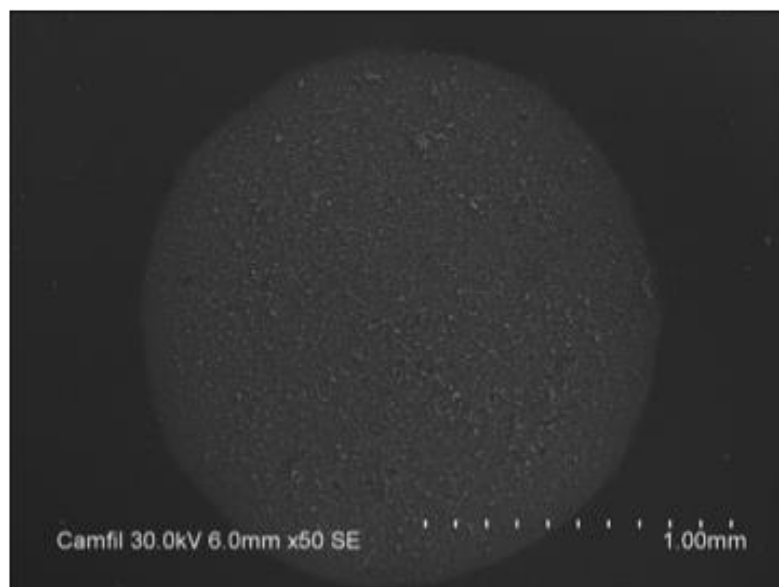


Figur 23: Rumsluft

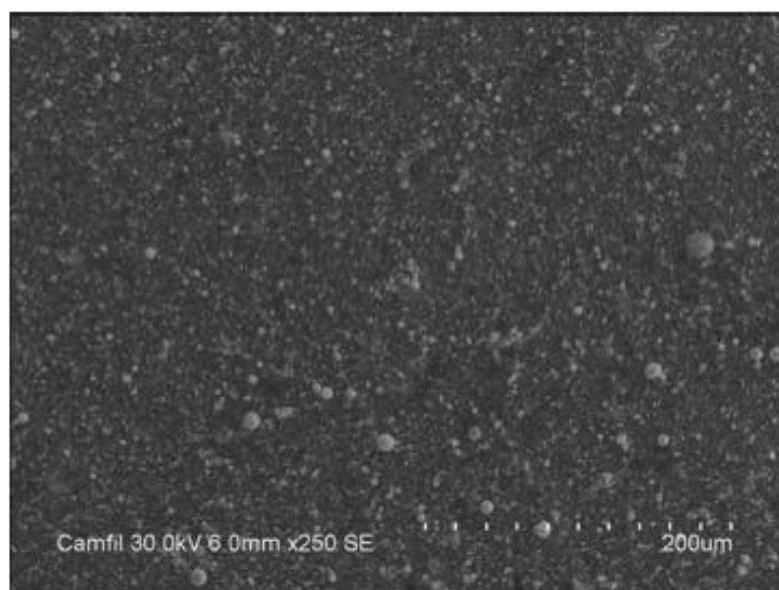
Klass	2-5 μm	5-10 μm	10-20 μm	20 $\mu\text{m}+$	Totalt	Förklaring
<i>Bly</i>	224	29	15	9	277	-
<i>Barium</i>	13	7			20	-
<i>Mineral/Sand</i>	2				2	Olika typer av mineral
<i>Järnoxider</i>	1				1	Korrosionspartiklar eller järnrika mineraler
<i>Ej analyserade</i>	1254	347	112	60	1773	Maximalt 300 partiklar analyseras
<i>Totalt</i>	1494	383	127	69	2073	

Figur 24: Partiklar Rumsluft

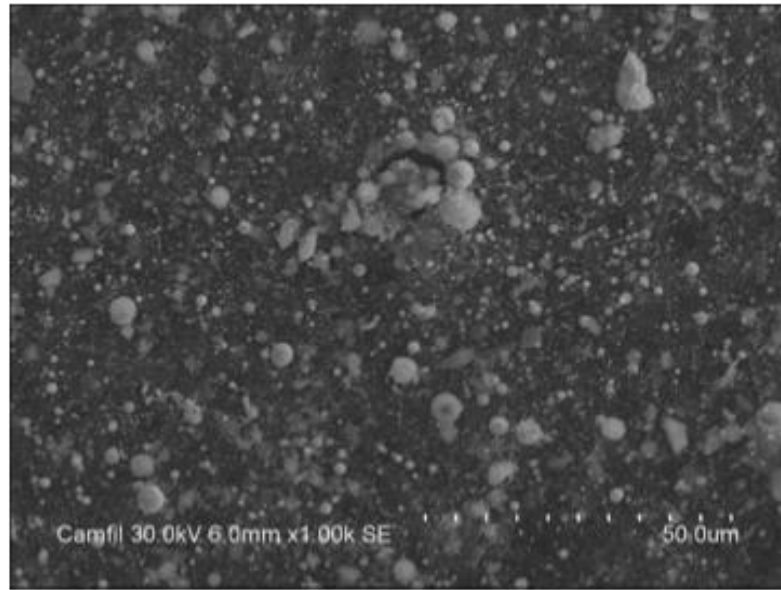
7.9 Bilder av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(låg)



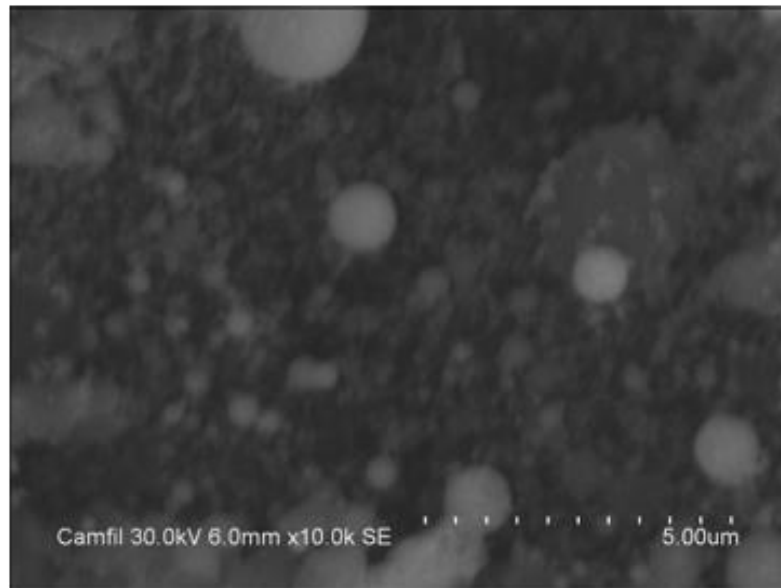
Figur 25: Rumsluft 50x



Figur 26: Rumsluft 250x



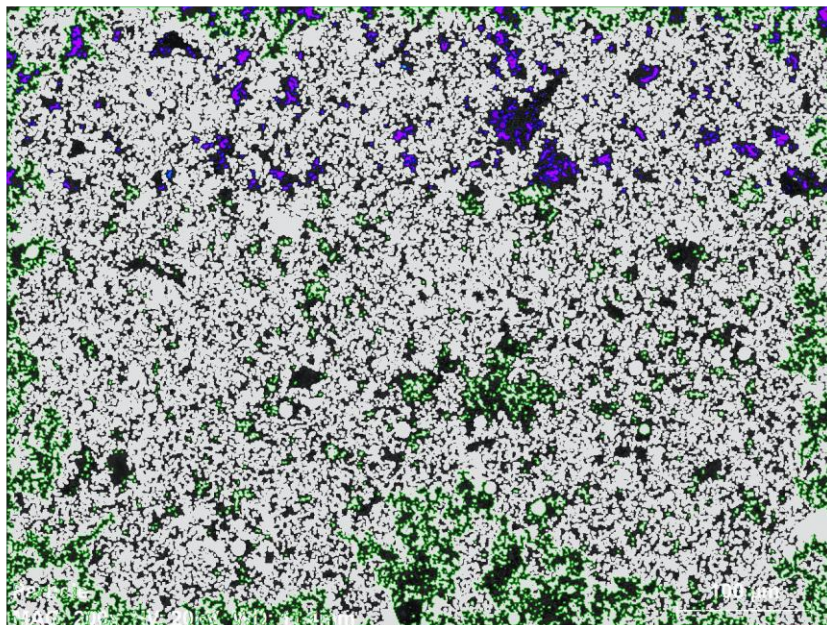
Figur 27: Rumsluft 1000x



Figur 28: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.10 Partikelidentifiering av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(låg)

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

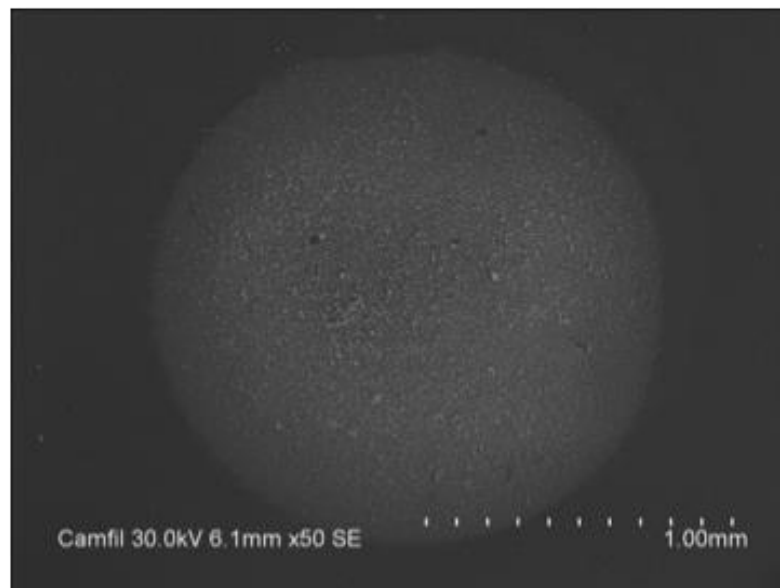


Figur 29: Rumsluft

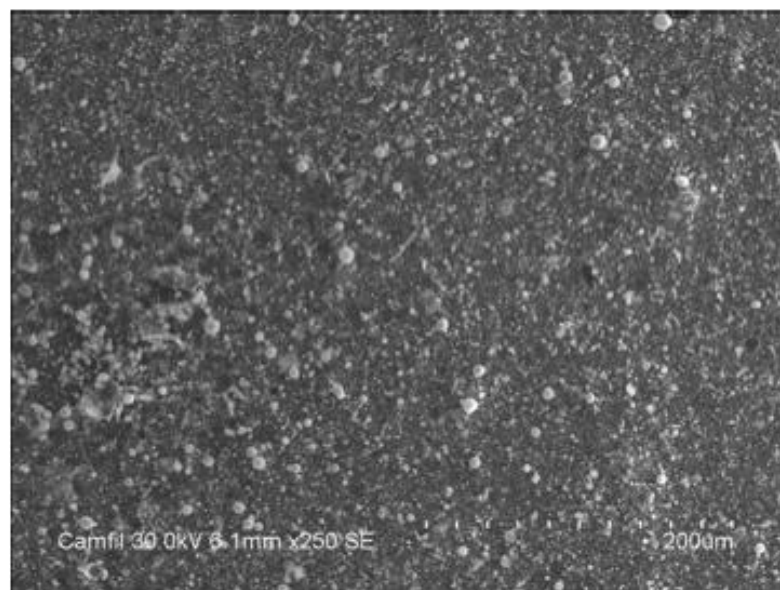
Klass	2-5 μm	5-10 μm	10-20 μm	20 μm +	Totalt	Förklaring
<i>Bly</i>	221	39	14		274	-
<i>Barium</i>	14	4	1		19	-
<i>Mineral/Sand</i>	4	1			5	Olika typer av mineral
<i>Byggnadsmaterial</i>	1				1	Gips, Cement eller liknande
<i>Ej analyserade</i>	551	110	31	5	697	Maximalt 300 partiklar analyseras
<i>Totalt</i>	791	154	46	5	996	

Figur 30: Partiklar Rumsluft

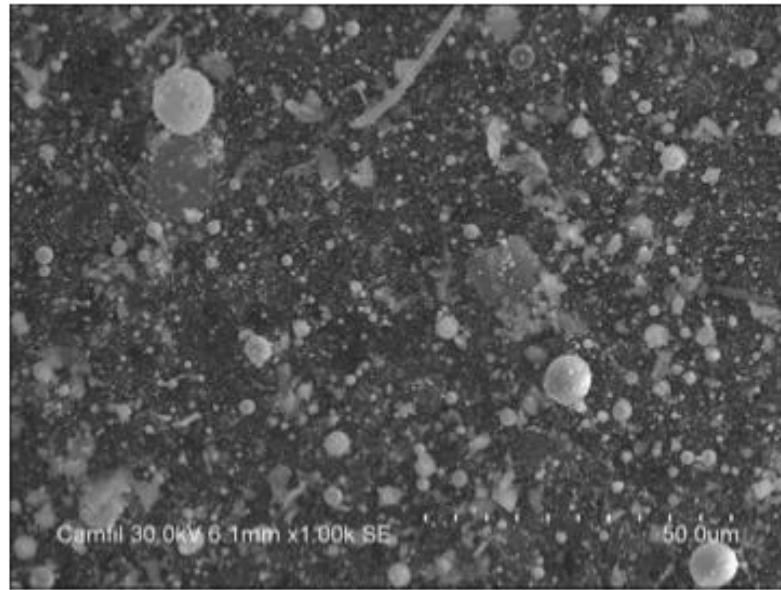
7.11 Bilder av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (låg)



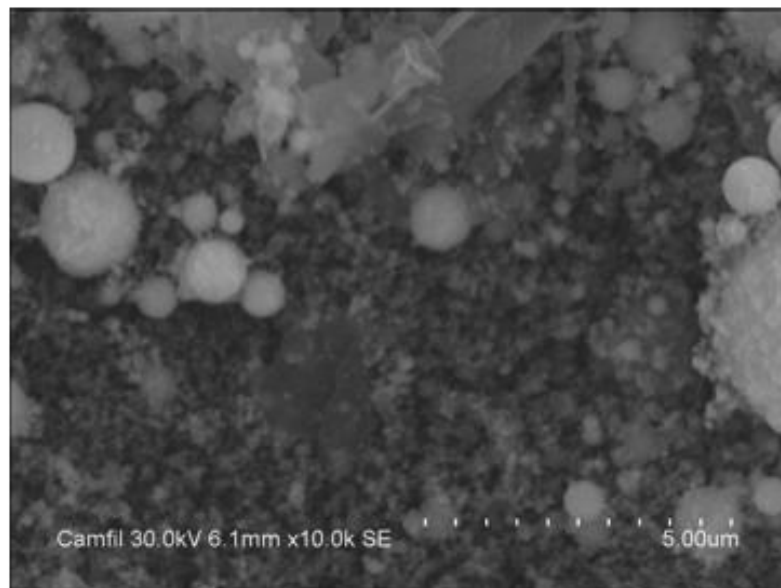
Figur 31: Rumsluft 50x



Figur 32: Rumsluft 250x



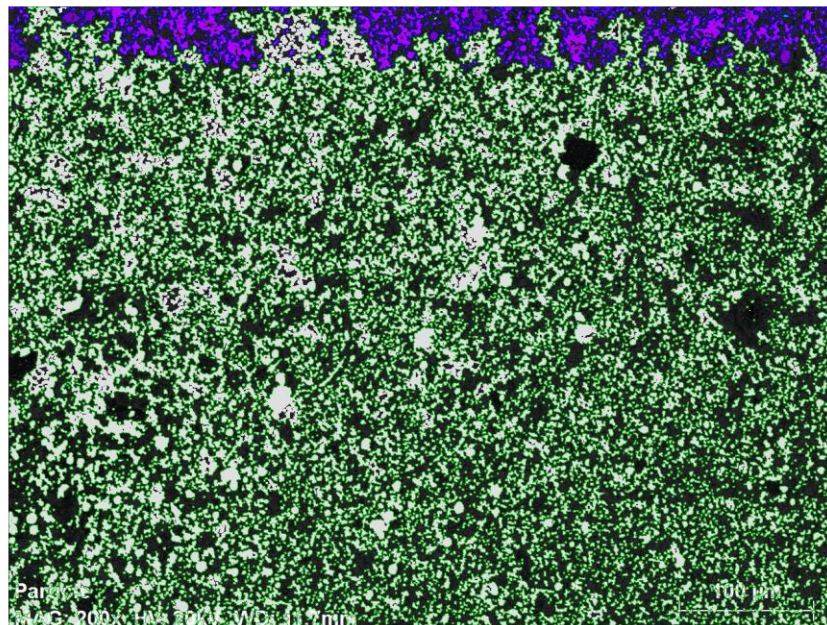
Figur 33: Rumsluft 1000x



Figur 34: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.12 Partikelidentifiering av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (låg)

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.



Figur 35: Rumsluft

Klass	2-5 µm	5-10 µm	10-20 µm	20 µm+	Totalt	Förklaring
<i>Bly</i>	183	56	18	9	266	-
<i>Barium</i>	9	9	5	1	24	-
<i>Mineral/Sand</i>	4	1			5	Olika typer av mineral
<i>Koppar</i>	2				2	Oftast från själva provhållaren
<i>Byggnadsmaterial</i>	1				1	Gips, Cement eller liknande
<i>Ej analyserade</i>	2330	811	374	140	3655	Maximalt 300 partiklar analyseras
Totalt	2529	877	397	150	3953	

Figur 36: Partiklar Rumsluft

8 Sammanfattning/kommentarer

Rumsluftprov - vid skjutplats innan skjutning anses innehålla måttliga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och låga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt mindre partiklar av samma slag som de större. De större partiklarna i provet är främst organiska partiklar (partiklar innehållande huvudsakligen kol, exempelvis textilier, hudflagor, pollen eller kluster av förbränningspartiklar), mineraler/sand, koppar samt järnoxider.

Rumsluftprov - mitten av banan innan skjutning anses innehålla måttliga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och låga nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt mindre partiklar av samma slag som de större. De större partiklarna i provet är främst mineraler/sand, organiska partiklar, koppar/mässing, järnoxider, bly, titan/zink, barium samt krom.

Rumsluftprov - Vid skjutplats, vid skjutning(full) anses innehålla höga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och höga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt nanopartiklar av tungmetaller så som bly och barium från krutrök. Nanopartiklar av tungmetaller är extra farliga då de är så pass små att de passerar lungornas alveoler och går rätt ut i blodet vilket ännu snabbare kan leda till bland annat bly- och bariumpförgiftning. De större partiklarna i provet är främst organiska partiklar (i detta fall kluster av förbränningspartiklar), barium- och blypartiklar från krutrök.

Rumsluftprov - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (full) anses innehålla höga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och höga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt nanopartiklar av tungmetaller så som bly och barium från krutrök. De större partiklarna i provet är främst bly- och bariumpartiklar från krutrök. Utöver det återfanns mineraler/sand samt järnoxider.

Rumsluftprov - Vid skjutplats, vid skjutning(låg) anses innehålla höga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och höga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt nanopartiklar av tungmetaller så som bly och barium från krutrök. De större partiklarna i provet är främst bly- och bariumpartiklar från krutrök. Utöver det återfanns mineraler/sand samt byggnadsmaterialspartiklar.

Rumsluftprov - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (låg) anses innehålla höga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och höga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt nanopartiklar av tungmetaller så som bly och barium från krutrök. De större partiklarna i provet är främst bly- och bariumpartiklar från krutrök. Utöver det återfanns koppar, mineraler/sand samt byggnadsmaterialspartiklar.

9 Slutsats

Rumsluftskvaliteten bedöms utifrån denna analys vara undermålig under skjutning, detta för att koncentrationen damm (stora partiklar) samt nanopartiklar anses vara hög samt på grund av partikeltyperna vilket är mest bly- och bariumpartiklar. Att inhalera barium och bly samt andra tungmetaller är toxiska, exponering för dessa partiklar bör kraftigt begränsas. Att inhalera höga nivåer krutrök från skjutvapen kan leda till blyförgiftning samt andra negativa kardiovaskulära och muskulära effekter såsom takykardi, ökat eller minskat blodtryck, muskelsvaghet, och förlamning (hypokalemi) orsakat av bariumpoisonering. För att motverka exponeringen av dessa ämnen och minska risken för allvarliga sjukdomar rekommenderas mycket god ventilation med god till- och frånluft. För att vara extra säker på att skyttarna ej utsätts kan även luftrenare installeras för att effektivt rena luften där människorna vistas.



CAMFIL TECHCENTER

WR6554 - TØNSBERGS SKYTEBANE

BEDÖMNING AV LUFTKVALITETEN

Labbingenjör Filip Sandberg

7 maj 2021

Innehåll

1	SEM Analys, Luftkvalitetskontroll	3
2	Syfte	3
3	Information	4
4	Beställarens iakttagelser och kommentarer vid provtagningsplats	4
5	Beskrivning av SEM	5
6	Beskrivning av Metod	5
7	Resultat	6
7.1	Bilder av rumsluften - vid skjutplats innan skjutning	6
7.2	Partikelidentifiering av rumsluften - vid skjutplats innan skjutning	8
7.3	Bilder av rumsluften - mitten av banan innan skjutning	9
7.4	Partikelidentifiering av rumsluften - mitten av banan innan skjutning	11
7.5	Bilder av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning (med luftrenare)	12
7.6	Partikelidentifiering av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning (med luftrenare)	14
7.7	Bilder av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (med luftrenare)	15
7.8	Partikelidentifiering av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (med luftrenare)	17
7.9	Bilder av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning (utan luftrenare)	18
7.10	Partikelidentifiering av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning (utan luftrenare)	20
7.11	Bilder av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (utan luftrenare)	21
7.12	Partikelidentifiering av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (utan luftrenare)	23
8	Sammanfattning/kommentarer	24
9	Slutsats	24

1 SEM Analys, Luftkvalitetskontroll

Utförd av: Filip Sandberg
Beställd av: Kai Aaserud
7 maj 2021
Key Words: Luftprover, Norge, 30 min, OsloMet

Bedömning av partikelkoncentration			
Prov	Provtagningsplats	Partikelkoncentration	
1: Rumsluftsprov	Vid skjutplats, innan skjutning	Stora: Måttlig	Små: Låg
2: Rumsluftsprov	Mitten skjutbana, innan skjutning	Stora: Måttlig	Små: Låg
3: Rumsluftsprov	Skjutplats, skjutning med luftrenare	Stora: Hög	Små: Hög
4: Rumsluftsprov	Mitten skjutbana, skjutning med luftrenare	Stora: Hög	Små: Hög
5: Rumsluftsprov	Skjutplats, skjutning utan luftrenare	Stora: Hög	Små: Hög
6: Rumsluftsprov	Mitten av skjutbanan, skjutning utan luftrenare	Stora: Hög	Små: Hög

Bedömning av luftkvalitet, innan skjutning: Ej avvikande - måttliga partikelnivåer.
Bedömning av luftkvalitet, skjutning utan luftrenare: Avvikande - höga partikelnivåer.
Bedömning av luftkvalitet, skjutning med luftrenare: Avvikande - höga partikelnivåer, dock aningen lägre nivåer av nanopartiklar jämfört med utan luftrenare, men fortfarande mycket höga nivåer.

Läs slutsats i slutet av rapporten.

2 Syfte

Syftet med den här analysen var att undersöka luftkvaliteten i kundens lokal för att se vilka typer av partiklar som finns samt dess storlek.

3 Information

Allmänt

Anläggningsnamn: Tønsberg Skytebane

Adress: -

Typ av byggnad: Skjutbana

Byggår: -

Utfört av: OsloMet/Kai Aaserud

Företag: Camfil Norge AS

4 Beställarens iakttagelser och kommentarer vid provtagningsplats

Luftkvalitet innan/efter skjutning med luftrenare och utan luftrenare.

5 Beskrivning av SEM

Svepelektronmikroskop(SEM) är ett mikroskop som använder sig av koncentrerade elektroner för att generera en bild. Med SEM kan mycket hög förstoring uppnås, betydligt större än vad som är möjligt att erhållas med ljusmikroskopi. Upplösningen i SEM teknologin gör det möjligt att förstora objekt till 300,000x förstoring. Ett exempel på hur smått detta är; för att få en yta på 1x1 cm vid 42,000 gångers förstoring så skulle det krävas ca 15 miljoner bilder. I SEM så utsätts proven som ska studeras för olika elektroner med hög energi vilket leder till olika fysikaliska fenomen. Vissa elektroner reflekteras och kan då detekteras och skapa en bild av ytan. När detta sker så påverkas atomerna i provet genom att elektroner i de inre skalerna exciteras, det vill säga hoppar till ett yttre elektronskal. När dessa senare faller tillbaka sänds en röntgen strålning ut från provet som kan detekteras med en EDS(Energy-dispersive spectroscopy)-detektor. Strålningen som kommer ifrån denna reaktion är specifik för varje grundämne som provet innehåller, och det gör det därför möjligt att få ut kemisk information från provets olika partiklar vilket leder till att man kan avgöra vilka typer av grundämnen som finns i proven. Dessa egenskaper utnyttjas vid luftprovsanalyser där ett automatiserat program skannar partiklarna på ytan och klassificerar partiklarna utifrån definierade parametrar som t.ex. dess grundämnesuppbyggnad, form och storlek.

6 Beskrivning av Metod

Metoden som används för SEM är baserat på ett projekt tillsammans Stockholms Universitet under 1992. En följd av detta projekt ledde till utvecklingen av ett provtagningsystem för luftanalyser. De metoder som används är beroende på vilken typ av analys som blir utförd. De olika analyserna delas in i tre olika metoder där samtliga icke-ledande prover beläggs med guld (sputter coating) för att öka provens ledningskapacitet och möjliggöra prövning av icke-ledande prover.

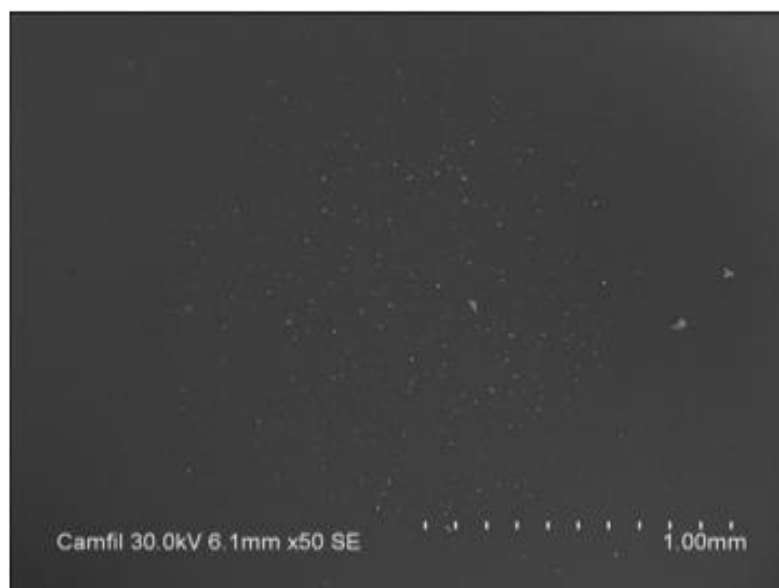
1. Luftanalyser; vid luftanalyser så används en vakuumpump som suger luften genom ett membranfilter som fästs på en provhållare för att på så sätt fånga partiklarna. Luftkvaliteten bedöms sedan efter massvis av referensprover som tagits fram genom mångårig erfarenhet inom luftanalys. Bedömning görs med avseende på partiklarnas mängd samt dess identifierade partikelklass.

2. Filtermedia-analyser; vid analysen så tas en del av filtermediat som fästs på en lämplig provhållare. Därefter analyseras ytan med hjälp av EDS-detektorn som använder sig av form, storlek samt ämnesuppbyggnad för att generera en bild som visar de olika ämnena som finns i provet samt vart i provet de förekommer.

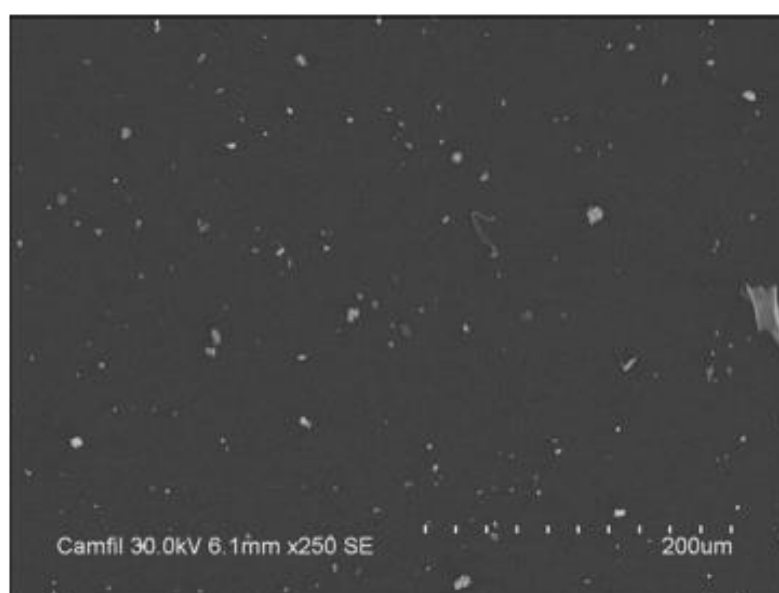
3. Stoft/material-analyser; vid analysen fästs provet på en lämplig provhållare. Därefter analyseras ytan med hjälp av EDS-detektorn som utvärderar partiklarnas form, storlek och ämnesuppbyggnad. Detta gör det möjligt att generera en bild som visar de olika ämnena som finns i provet samt vart i provet de förekommer. Det är oftast även möjligt att göra en partikelanalys för att bedöma antalet partiklar samt avgöra dessa klass för att på så vis ta reda på vad det är för typ av stoft/material.

7 Resultat

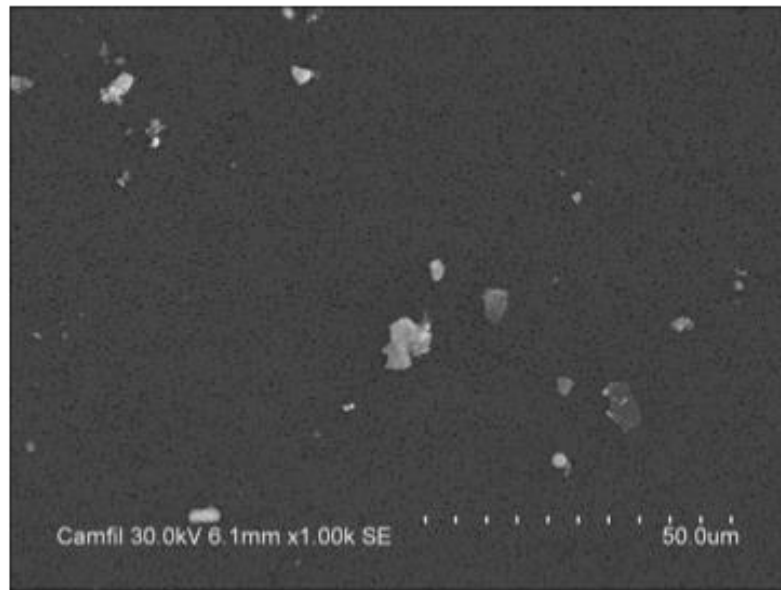
7.1 Bilder av rumsluften - vid skjutplats innan skjutning



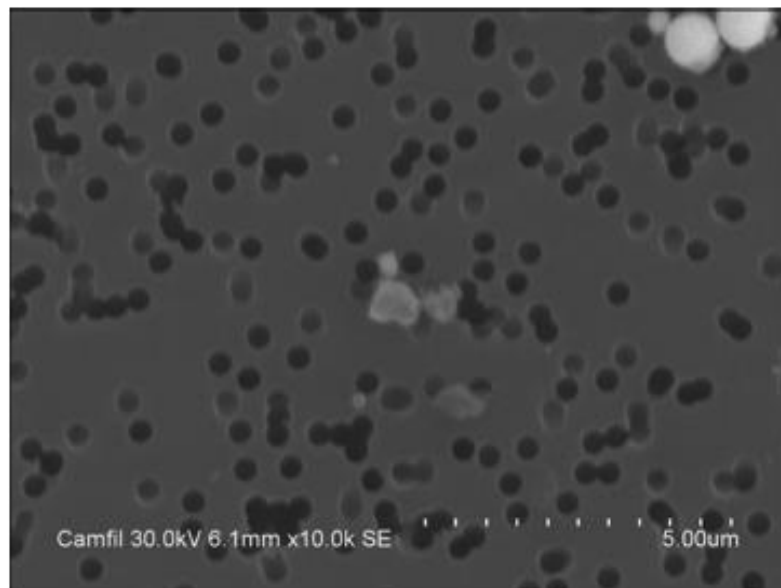
Figur 1: Rumsluft 50x



Figur 2: Rumsluft 250x



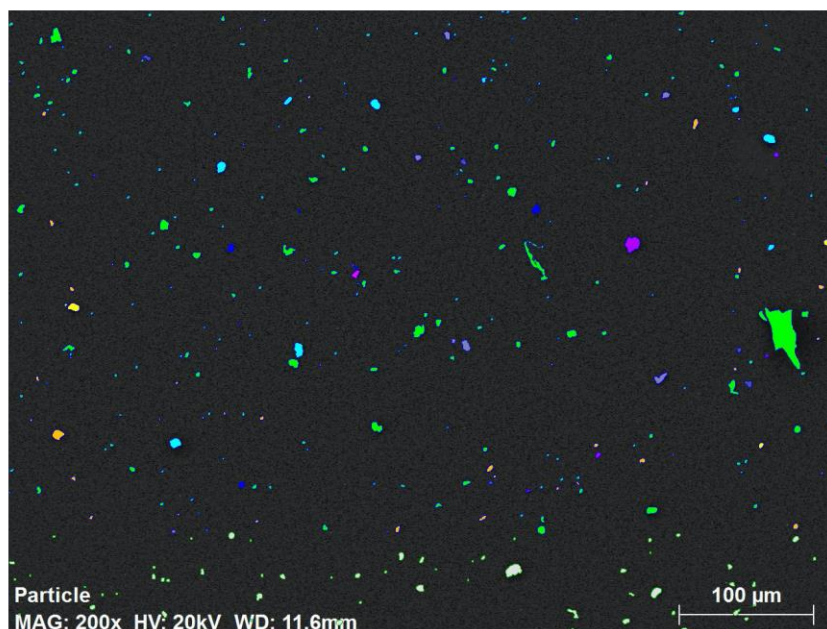
Figur 3: Rumsluft 1000x



Figur 4: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.2 Partikelidentifiering av rumsluften - vid skjutplats innan skjutning

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

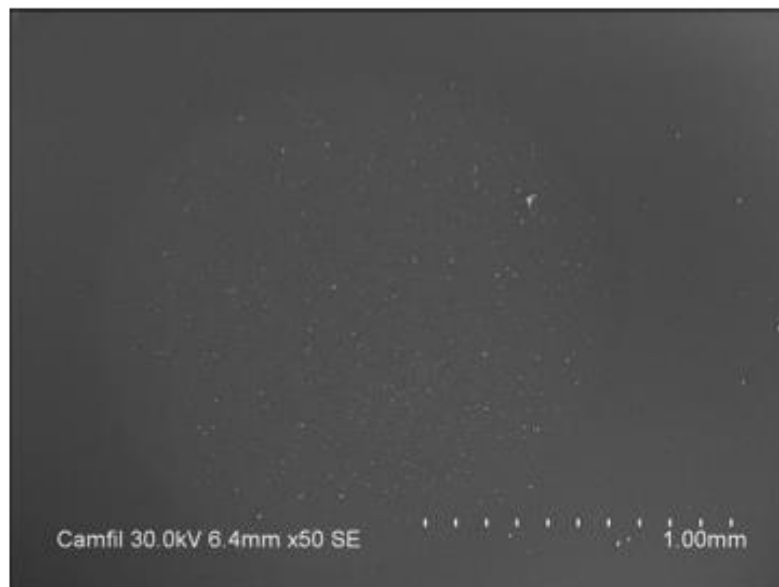


Figur 5: Rumsluft

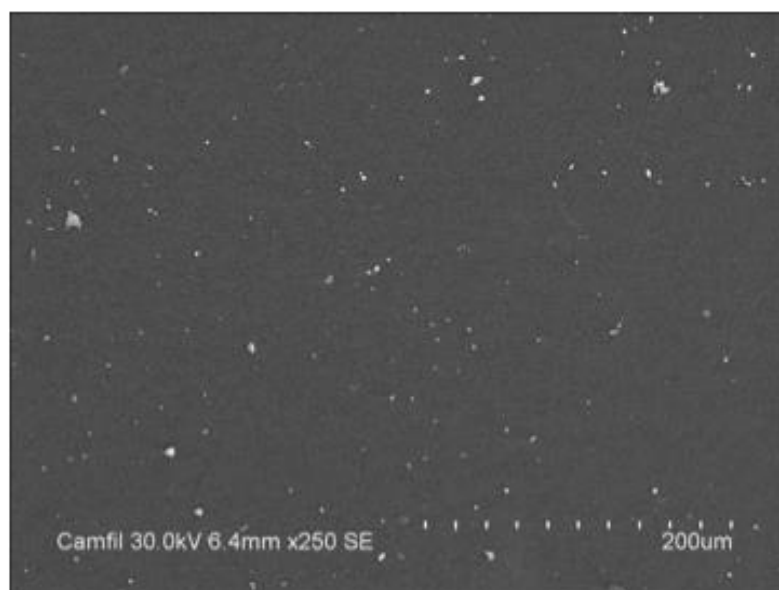
Klass	2-5 µm	5-10 µm	10-20 µm	20 µm+	Totalt	Förklaring
<i>Organiskt</i>	183	43	3	2	231	Hud, Textiler, Förbränningsaggregat
<i>Koppar</i>	28	6			34	Oftast från själva provhållaren
<i>Mineral/Sand</i>	4	16	1		21	Olika typer av mineral
<i>Bly</i>	4		1		5	-
<i>Salt</i>	1	1			2	Salter av olika slag
<i>Järnoxider</i>		1			1	Korrosionspartiklar eller järnrika mineraler
<i>Zink</i>		1			1	Vanligt i vita färgämnen
<i>Ej analyserade</i>	48	15	1		64	Maximalt 300 partiklar analyseras
Totalt	268	83	6	2	359	

Figur 6: Partiklar Rumsluft

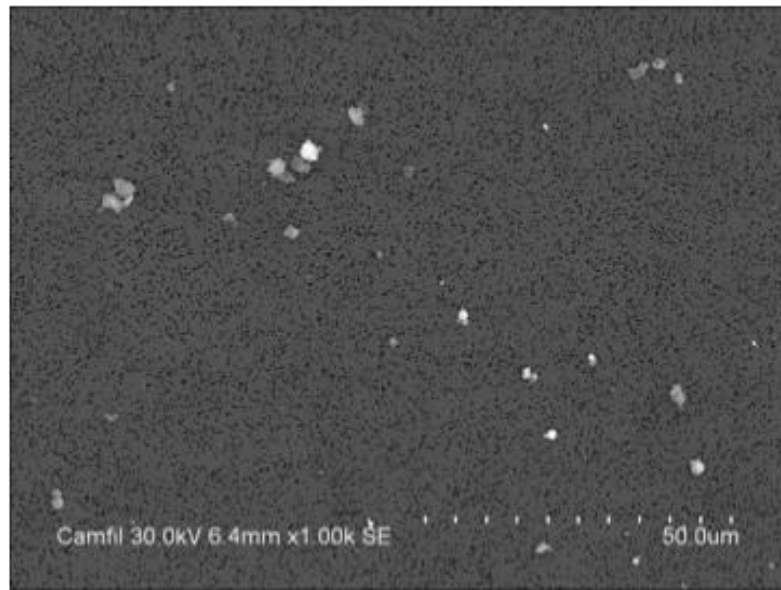
7.3 Bilder av rumsluften - mitten av banan innan skjutning



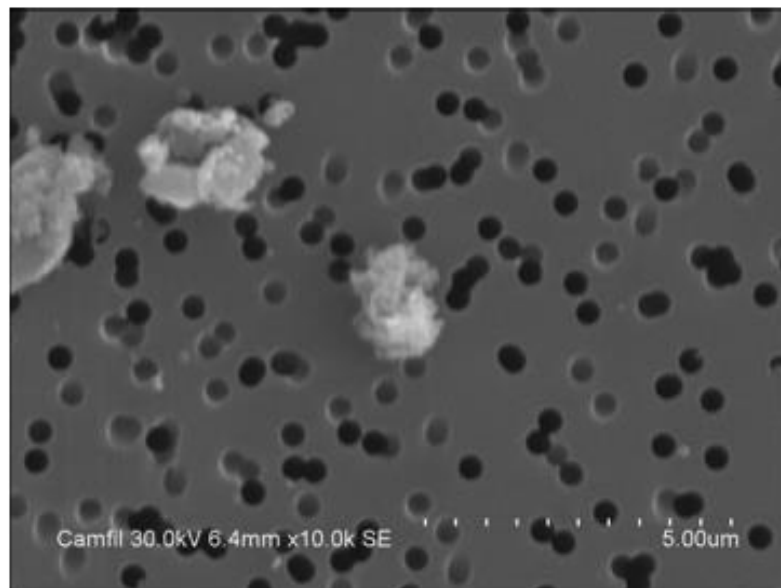
Figur 7: Rumsluft 50x



Figur 8: Rumsluft 250x



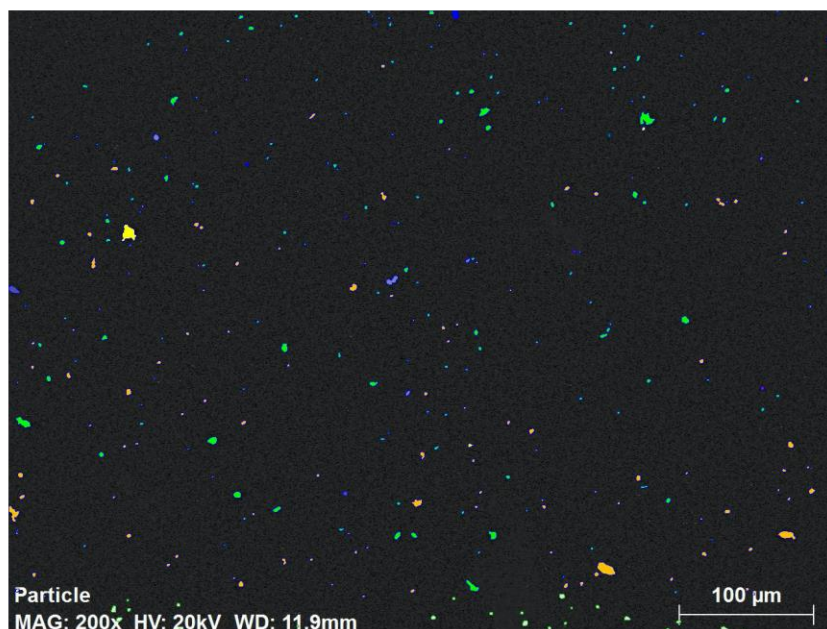
Figur 9: Rumsluft 1000x



Figur 10: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.4 Partikelidentifiering av rumsluften - mitten av banan innan skjutning

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

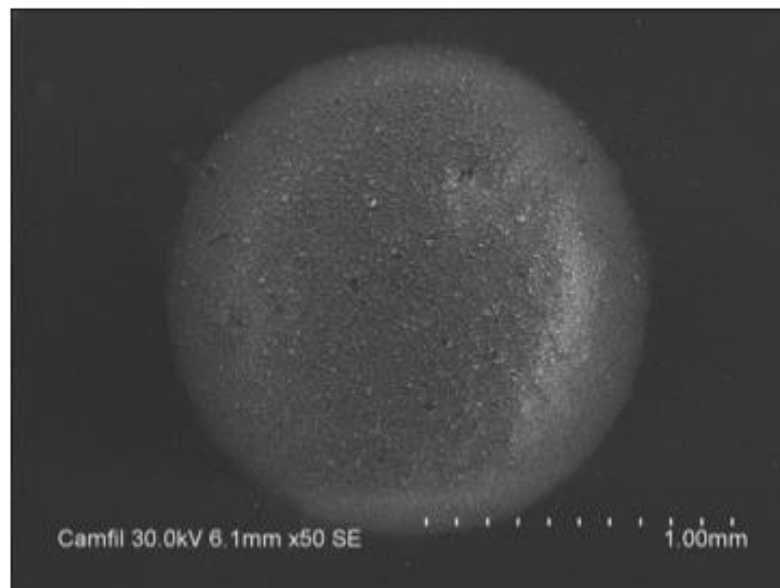


Figur 11: Rumsluft

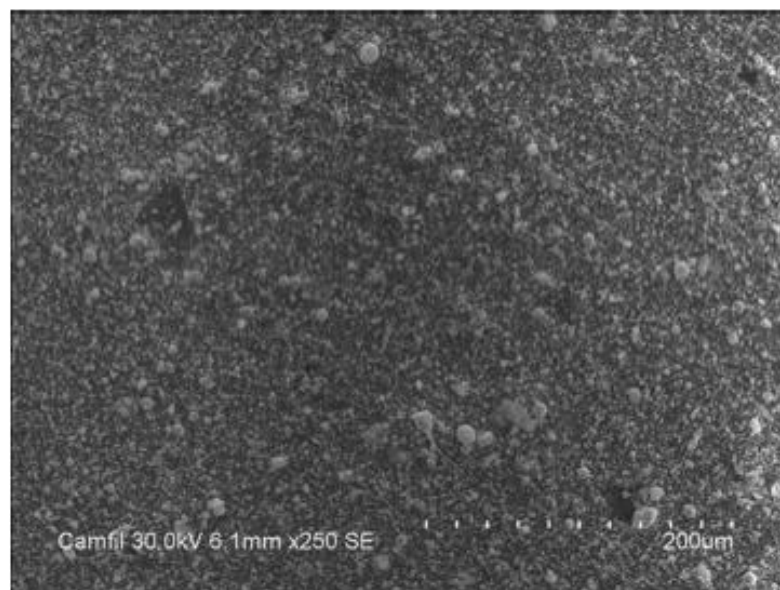
Klass	2-5 µm	5-10 µm	10-20 µm	20 µm+	Totalt	Förklaring
<i>Organiskt</i>	140	20	2		162	Hud, Textiler, Förbränningsaggregat
<i>Mineral/Sand</i>	13	3	1		17	Olika typer av mineral
<i>Mässing</i>	5	1			6	egering av koppar och zink, oftast från provhållarer
<i>Bly</i>	3				3	-
<i>Titan</i>	1				1	Vanligt i vita färgämnen
<i>Krom</i>	1				1	Förekommer i bland annat rostfritt stål
<i>Ej analyserade</i>	23	3			26	Maximalt 300 partiklar analyseras
Totalt	186	27	3	0	216	

Figur 12: Partiklar Rumsluft

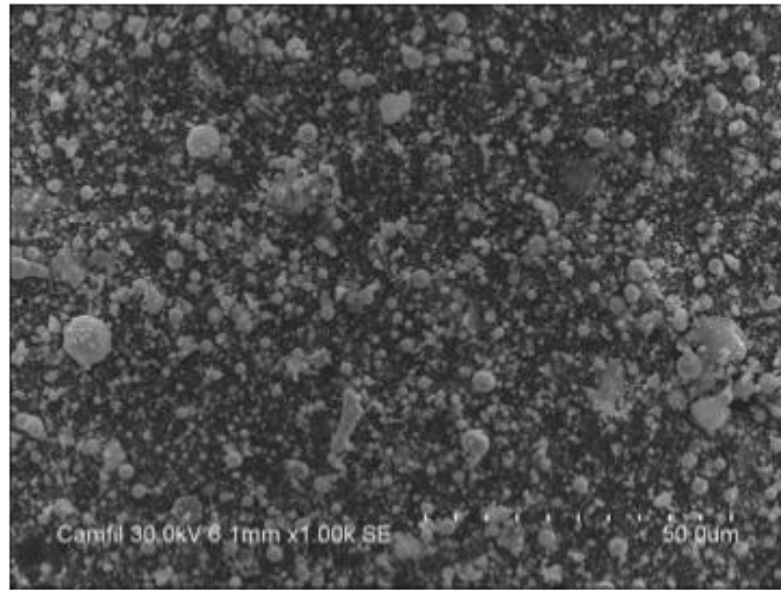
7.5 Bilder av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning (med luftrenare)



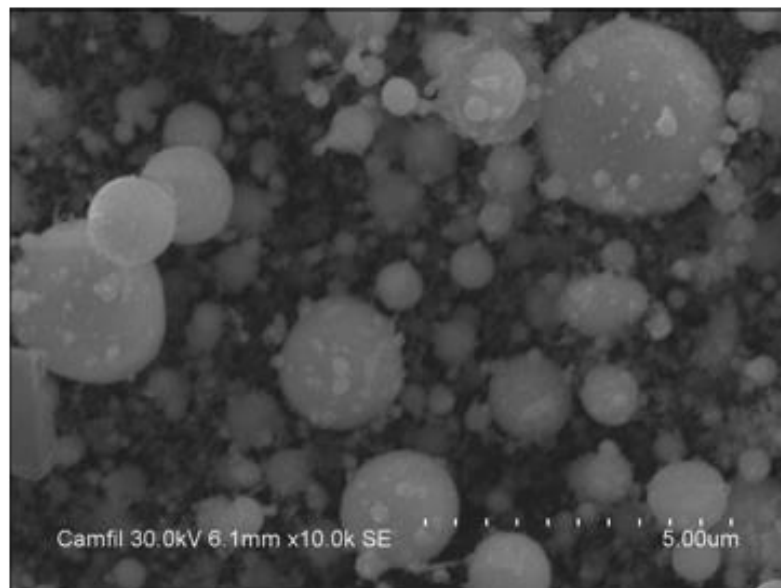
Figur 13: Rumsluft 50x



Figur 14: Rumsluft 250x



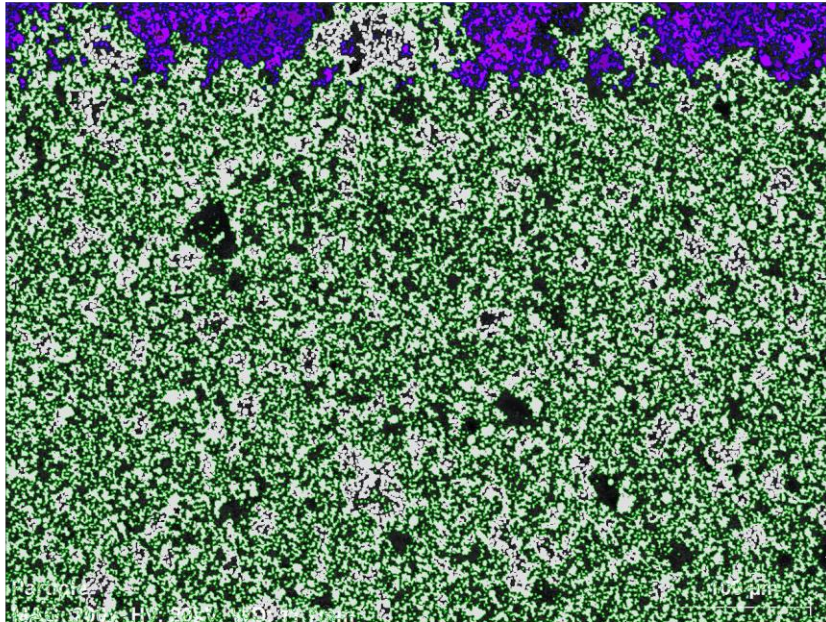
Figur 15: Rumsluft 1000x



Figur 16: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.6 Partikelidentifiering av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning (med luftrenare)

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

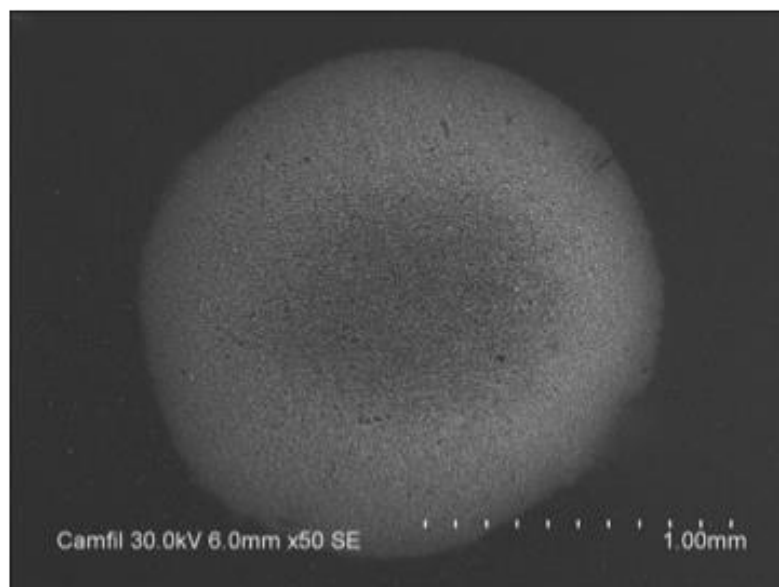


Figur 17: Rumsluft

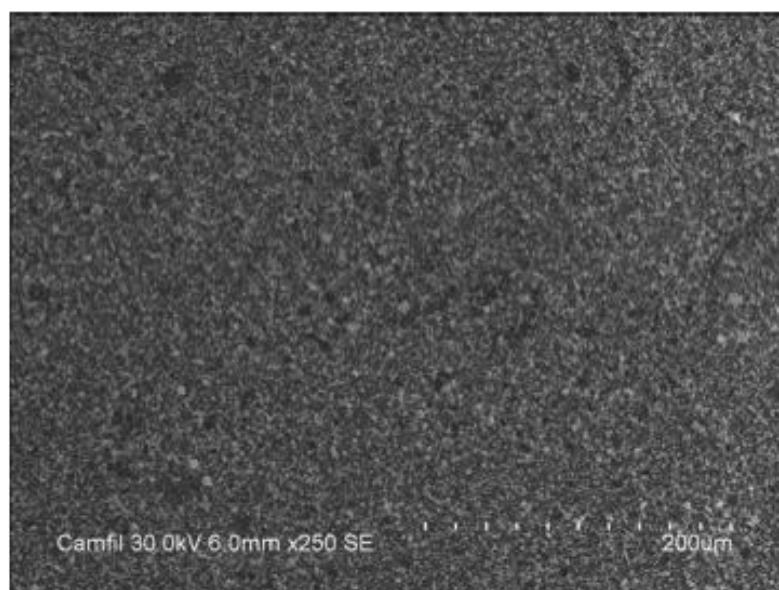
Klass	2-5 μm	5-10 μm	10-20 μm	20 $\mu\text{m}+$	Totalt	Förklaring
<i>Bly</i>	195	61	17	9	282	-
<i>Barium</i>	8	5	2	3	18	-
<i>Ej analyserade</i>	1374	395	167	101	2037	Maximalt 300 partiklar analyseras
<i>Totalt</i>	1577	461	186	113	2337	

Figur 18: Partiklar Rumsluft

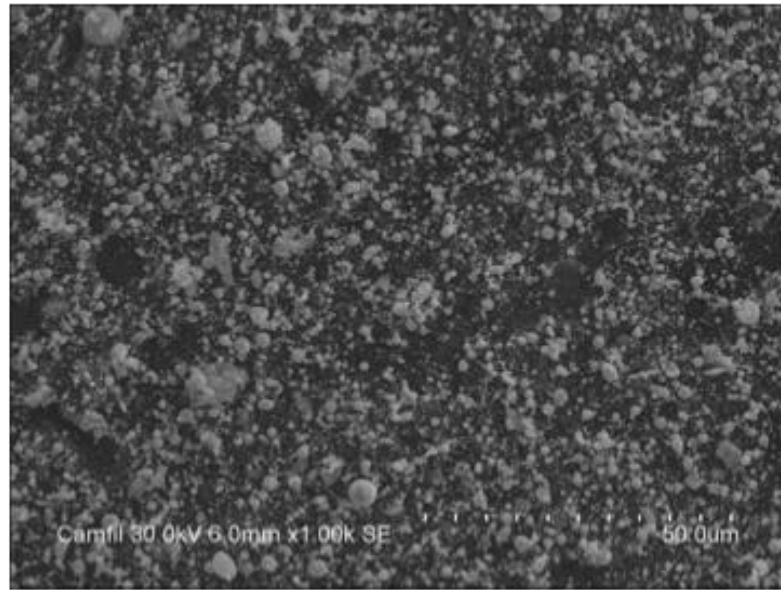
7.7 Bilder av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (med luftrenare)



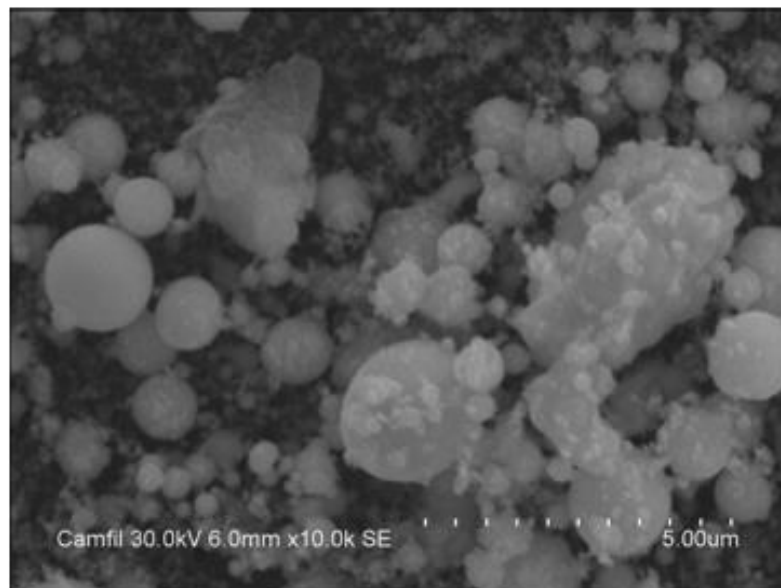
Figur 19: Rumsluft 50x



Figur 20: Rumsluft 250x



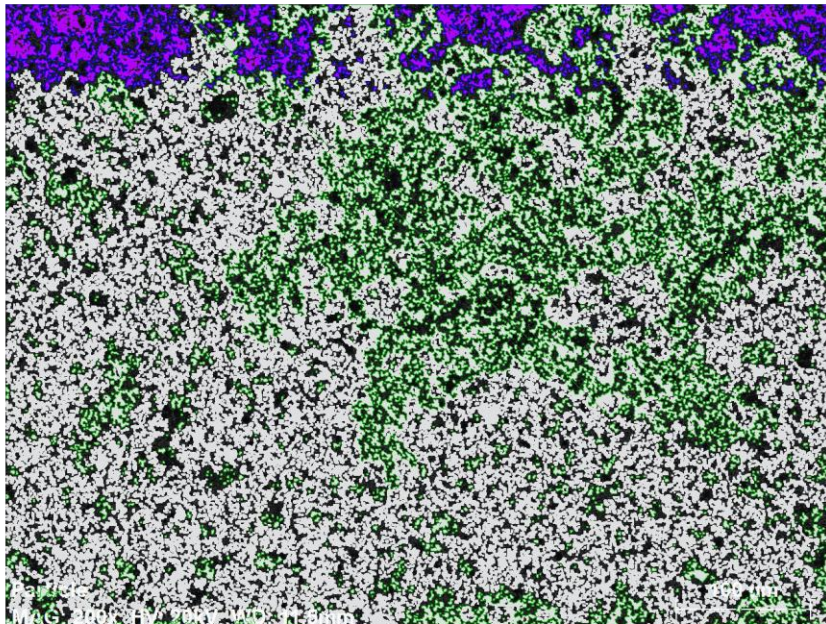
Figur 21: Rumsluft 1000x



Figur 22: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.8 Partikelidentifiering av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (med luftrenare)

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

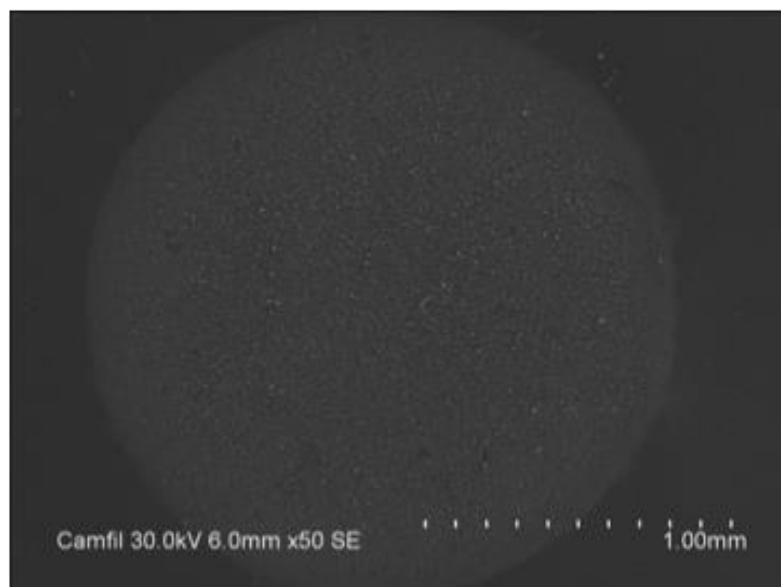


Figur 23: Rumsluft

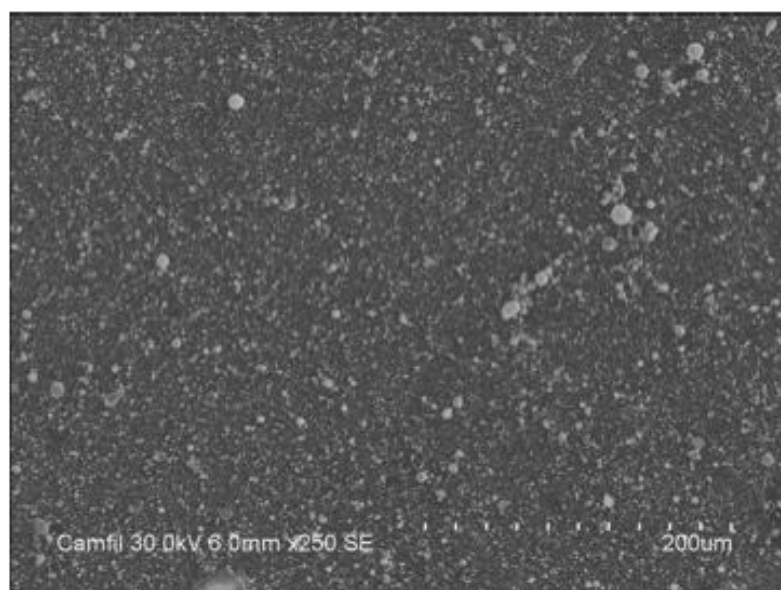
Klass	2-5 μm	5-10 μm	10-20 μm	20 $\mu\text{m}+$	Totalt	Förklaring
<i>Bly</i>	206	52	22	14	294	-
<i>Barium</i>	4	2			6	-
<i>Ej analyserade</i>	1026	236	80	26	1368	Maximalt 300 partiklar analyseras
<i>Totalt</i>	1236	290	102	40	1668	

Figur 24: Partiklar Rumsluft

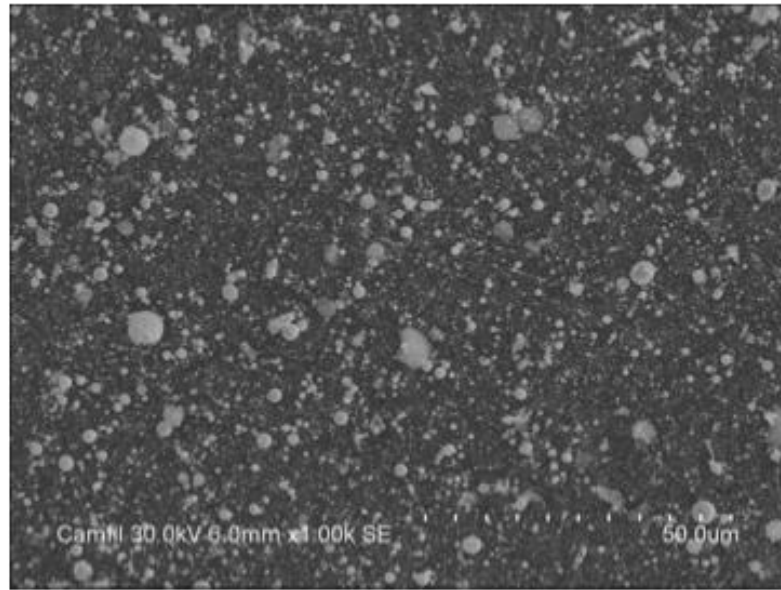
7.9 Bilder av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(utan luftrenare)



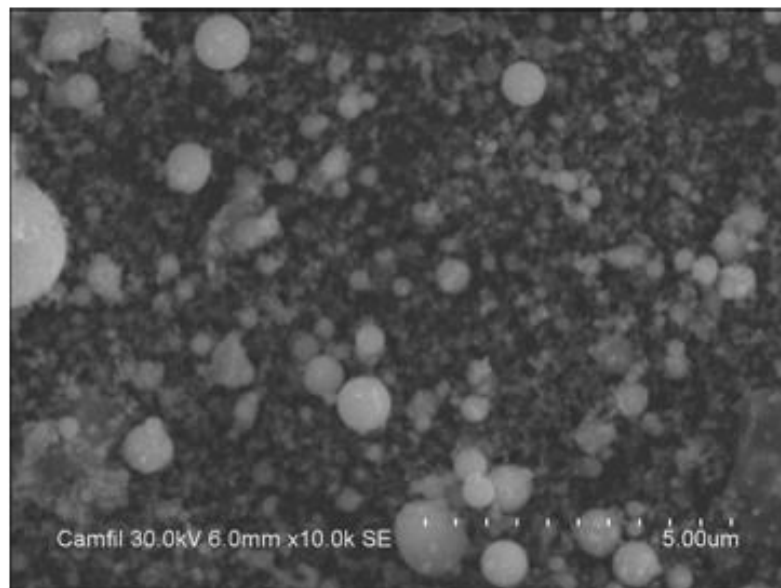
Figur 25: Rumsluft 50x



Figur 26: Rumsluft 250x



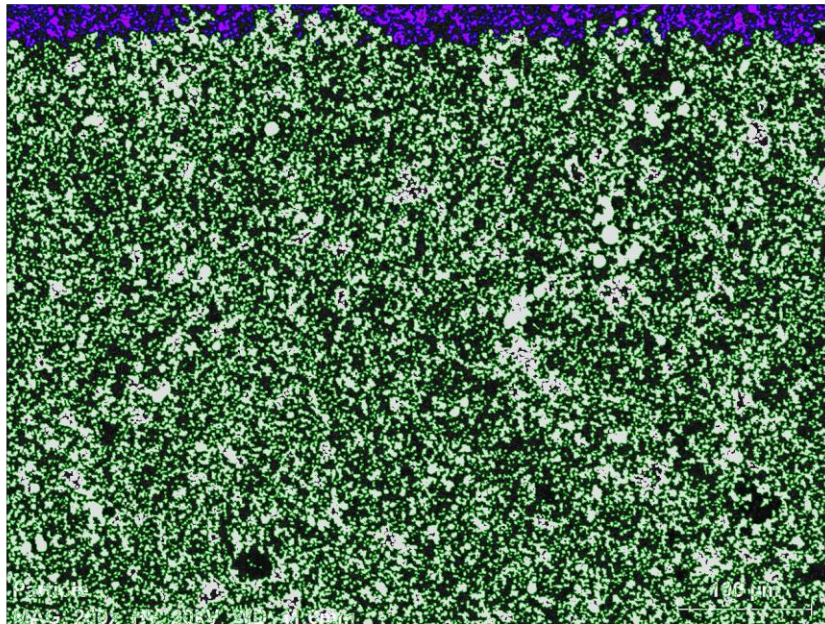
Figur 27: Rumsluft 1000x



Figur 28: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.10 Partikelidentifiering av rumsluften - Vid skjutplats, vid skjutning(utan luftrenare)

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.

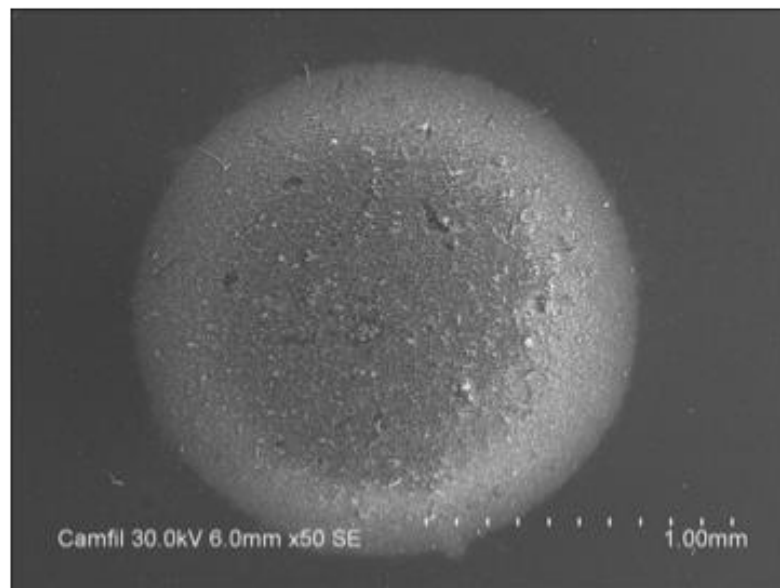


Figur 29: Rumsluft

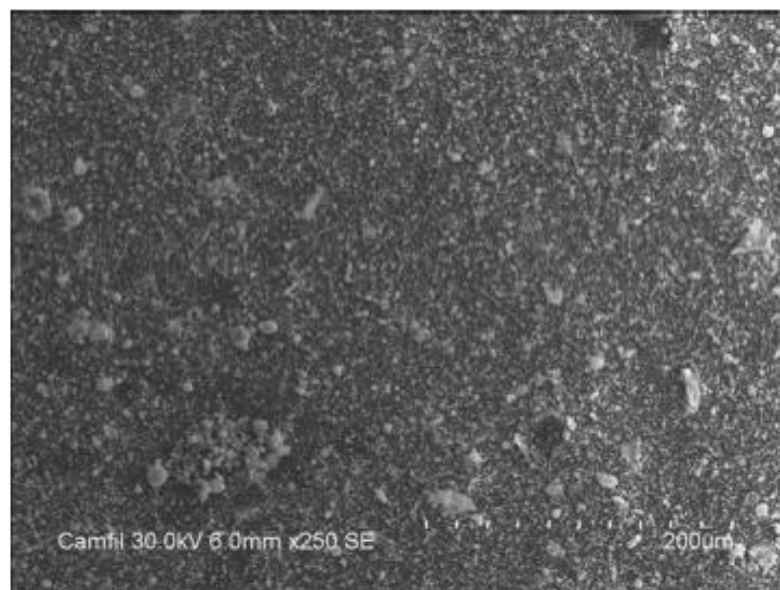
Klass	2-5 μm	5-10 μm	10-20 μm	20 μm+	Totalt	Förklaring
<i>Bly</i>	204	58	26	5	293	-
<i>Barium</i>	4	3			7	-
<i>Ej analyserade</i>	2568	840	385	179	3972	Maximalt 300 partiklar analyseras
<i>Totalt</i>	2776	901	411	184	4272	

Figur 30: Partiklar Rumsluft

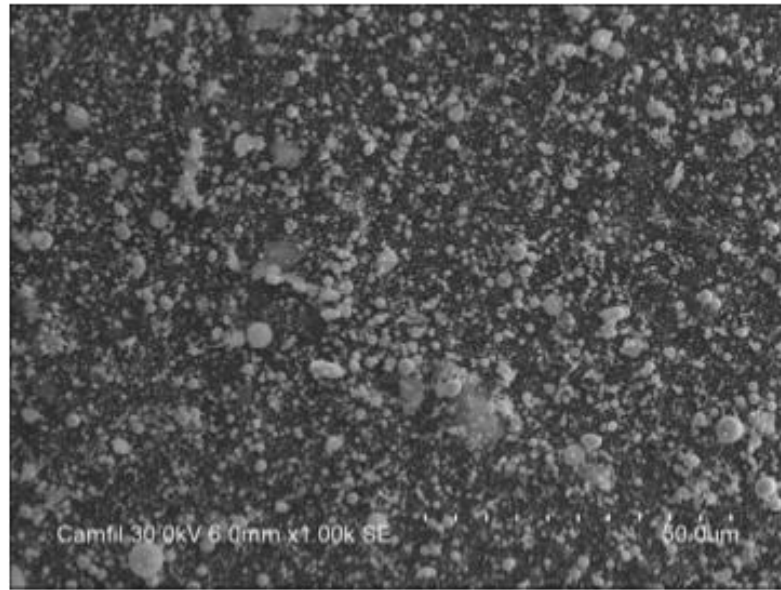
7.11 Bilder av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (utan luftrenare)



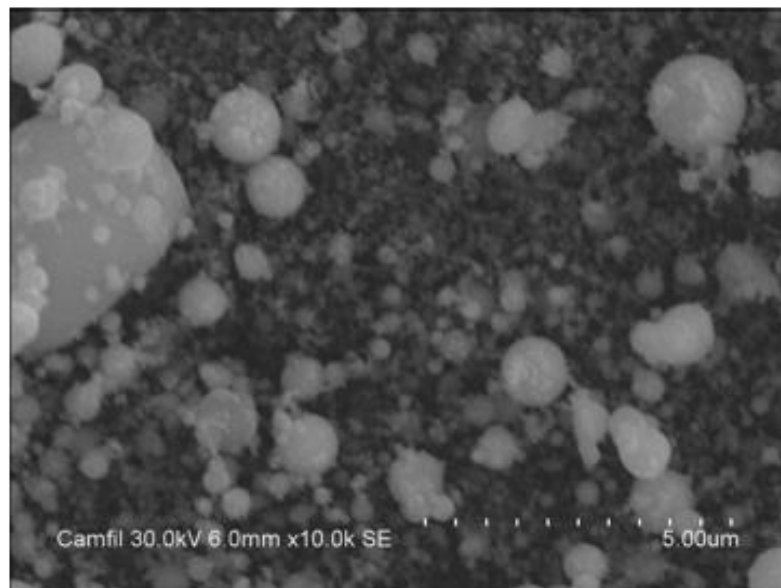
Figur 31: Rumsluft 50x



Figur 32: Rumsluft 250x



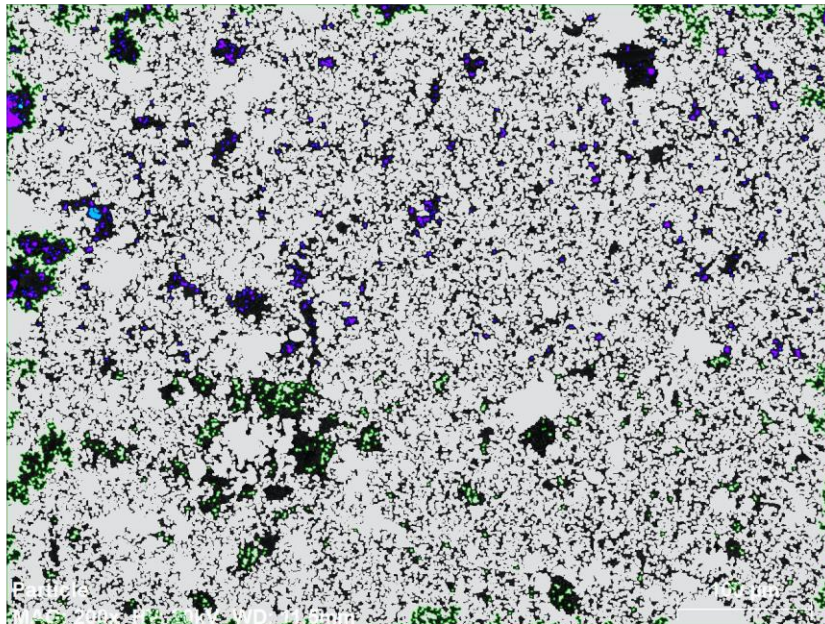
Figur 33: Rumsluft 1000x



Figur 34: Rumsluft 10000x, nanopartiklar

7.12 Partikelidentifiering av rumsluften - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (utan luftrenare)

En representativ del av provet väljs ut vid 200x förstoring (ungefär 18% av hela provet). En automatiserad rutin utför EDS-analyser och klassar partiklar i detta område utifrån dessa analyser.



Figur 35: Rumsluft

Klass	2-5 μm	5-10 μm	10-20 μm	20 μm +	Totalt	Förklaring
<i>Bly</i>	255	28	1	1	285	-
<i>Mineral/Sand</i>	4	1	1		6	Olika typer av mineral
<i>Barium</i>	5				5	-
<i>Svavelinnehåll</i>	2				2	-
<i>Ej analyserade</i>	206	29	6	1	242	Maximalt 300 partiklar analyseras
<i>Totalt</i>	472	58	8	2	540	

Figur 36: Partiklar Rumsluft

8 Sammanfattning/kommentarer

Rumsluftprov - vid skjutplats innan skjutning anses innehålla måttliga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och låga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt mindre partiklar av samma slag som de större. De större partiklarna i provet är främst organiska partiklar (partiklar innehållande huvudsakligen kol, exempelvis textilier, hudflagor, pollen eller kluster av förbränningspartiklar), mineraler/sand, koppar samt järnoxider.

Rumsluftprov - mitten av banan innan skjutning anses innehålla måttliga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och låga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt mindre partiklar av samma slag som de större. De större partiklarna i provet är främst mineraler/sand, organiska partiklar, koppar/mässing, järnoxider, bly, titan/zink, barium samt krom.

Rumsluftprov - Vid skjutplats, vid skjutning (med luftrenare) anses innehålla höga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och höga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt nanopartiklar av tungmetaller så som bly och barium från krutrök. Nanopartiklar av tungmetaller är extra farliga då de är så pass små att de passerar lungornas alveoler och går rätt ut i blodet vilket ännu snabbare kan leda till bland annat bly- och bariumförgiftning. De större partiklarna i provet är främst organiska partiklar (i detta fall kluster av förbränningspartiklar), barium- och bly partiklar från krutrök.

Rumsluftprov - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (med luftrenare) anses innehålla höga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och höga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt nanopartiklar av tungmetaller så som bly och barium från krutrök. De större partiklarna i provet är främst bly- och bariumpartiklar från krutrök. Utöver det återfanns mineraler/sand samt järnoxider.

Rumsluftprov - Vid skjutplats, vid skjutning (utan luftrenare) anses innehålla höga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och höga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt nanopartiklar av tungmetaller så som bly och barium från krutrök. De större partiklarna i provet är främst bly- och bariumpartiklar från krutrök. Utöver det återfanns mineraler/sand samt byggnadsmaterialspartiklar.

Rumsluftprov - Mitten av skjutbanan, vid skjutning (utan luftrenare) anses innehålla höga mängder större partiklar ($> 1\mu\text{m}$) och höga nivåer nanopartiklar (ca. $0,1\mu\text{m}$). Dessa partiklarna är främst förbränningspartiklar samt nanopartiklar av tungmetaller så som bly och barium från krutrök. De större partiklarna i provet är främst bly- och bariumpartiklar från krutrök. Utöver det återfanns koppar, mineraler/sand samt byggnadsmaterialspartiklar.

9 Slutsats

Bedömning av rumsluftskvalitet, innan skjutning: Ej avvikande - måttliga/låga partikelnivåer

Bedömning av rumsluftskvalitet, under skjutning utan luftrenare: Avvikande - höga partikelnivåer av skadliga partiklar (barium/blypartiklar)

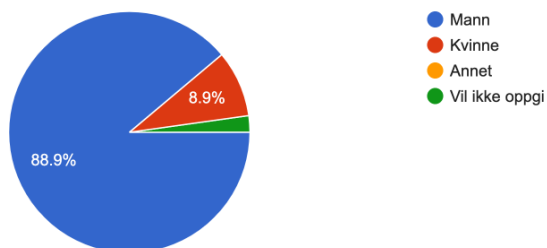
Bedömning av rumsluftskvalitet, under skjutning med luftrenare: Avvikande - höga partikelnivåer av skadliga partiklar (barium/blypartiklar), dock aningen lägre nivåer av nanopartiklar jämfört med utan luftrenare, men fortfarande mycket höga nivåer.

För enklare bedömning bör provtagningstiden begränsats till max 5-10 minuter, då skulle skillnaderna vara enklare att urskilja.

Resultater fra spørreundersøkelsen

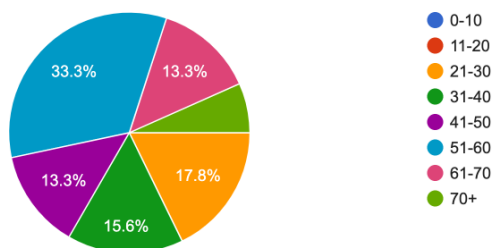
Kjønn?

45 responses



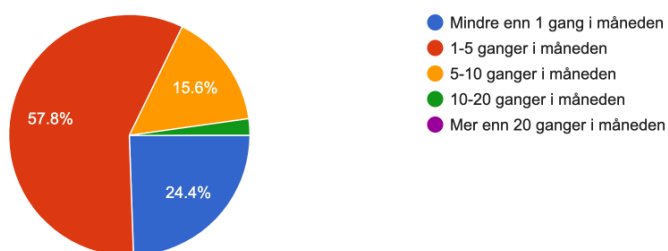
Alder

45 responses



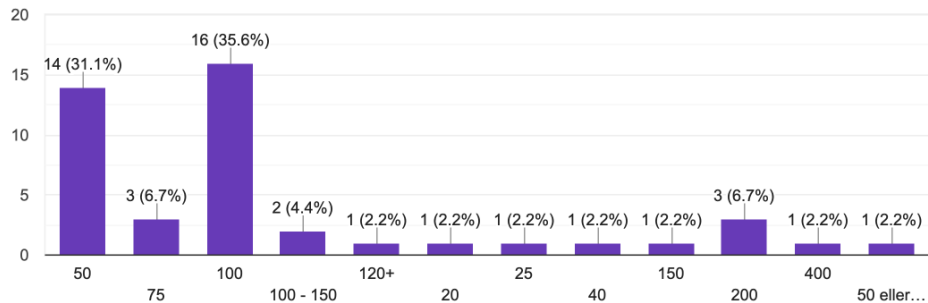
Hvor ofte er du i skytebanehall og skyter?

45 responses



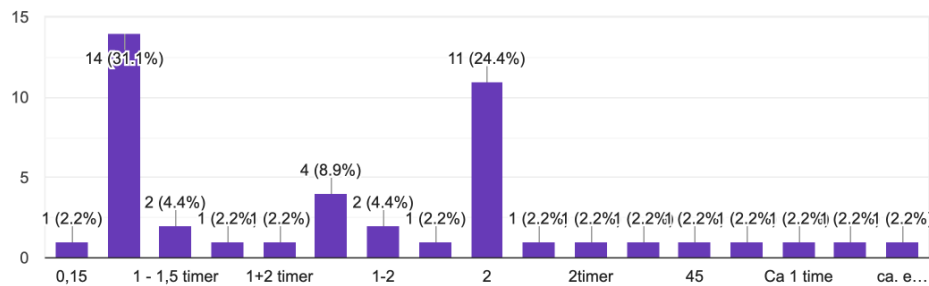
Hvor mange patroner skyter du per økt? (oppgi antallet som et rundt tall)

45 responses



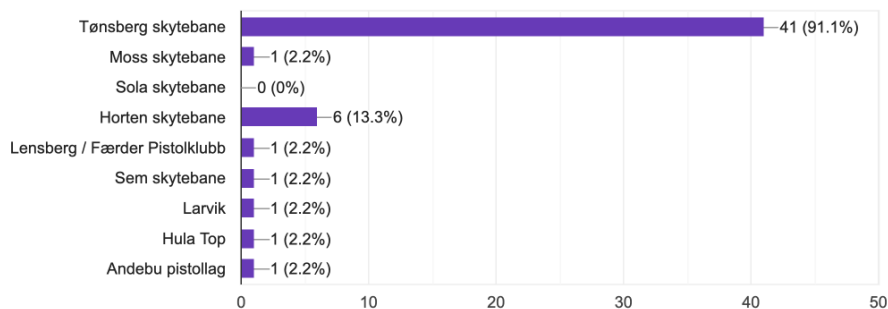
Hvor mye tid bruker du per økt?(timer)

45 responses



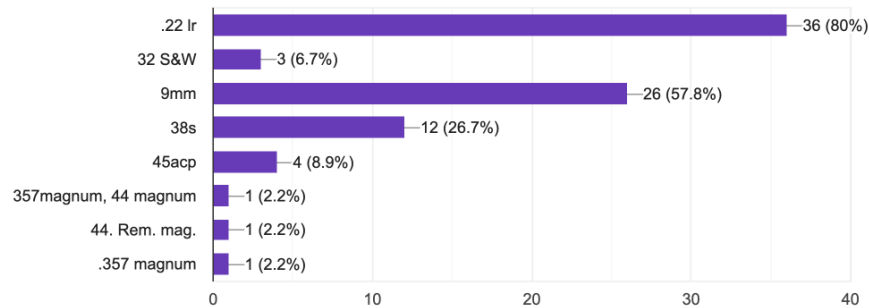
Hvilke/n bane(r) skyter du vanligvis på?

45 responses



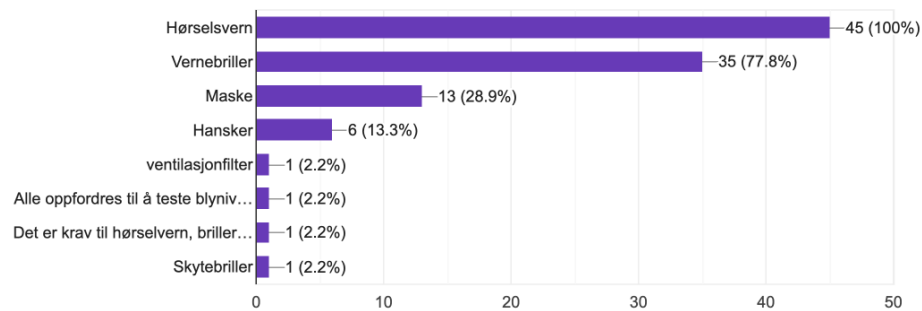
Velg dine 2 mest brukte patron typer:

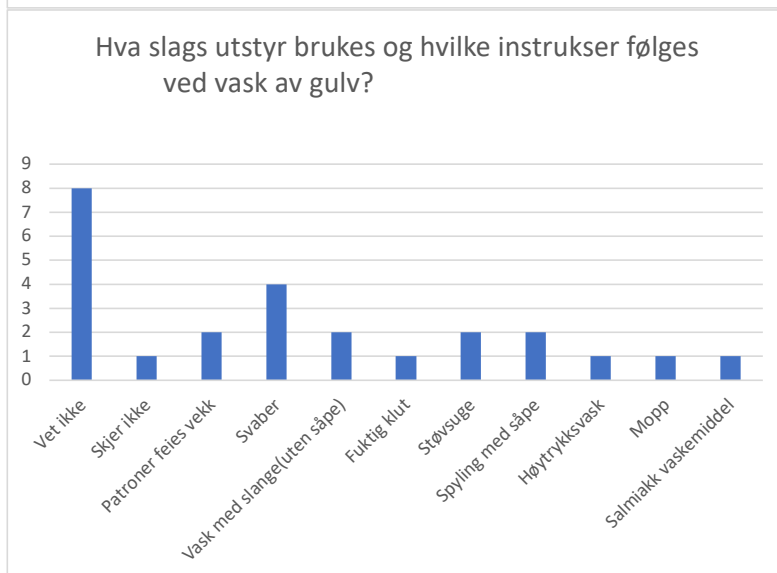
45 responses



Hvilke sikkerhetstiltak har klubben din?

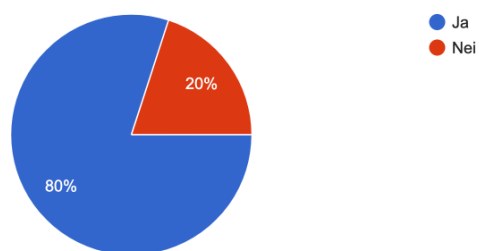
45 responses





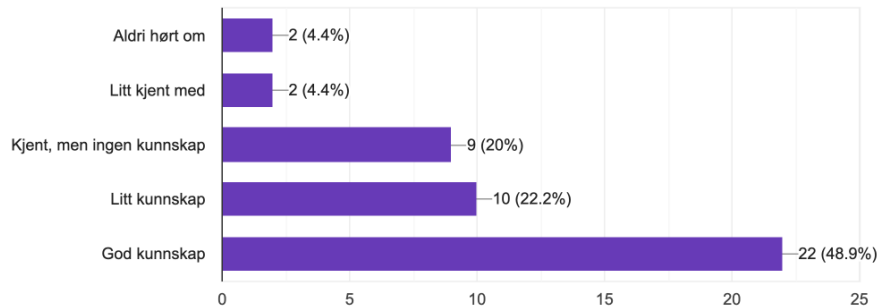
Er du kjent med tekst innholdet på ammunisjonspakning?

45 responses



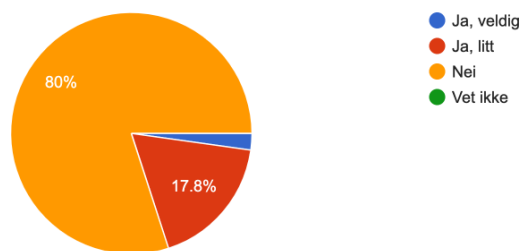
Hvor kjent er du med fare for inntak av bly i skytebanehaller?

45 responses



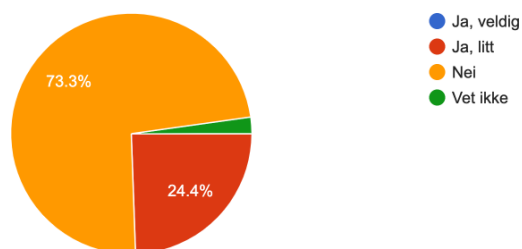
Ved opphold i skytebanehall har du kjent på hodepine?

45 responses



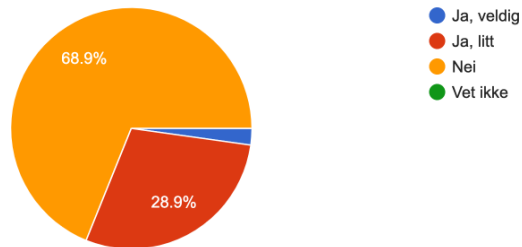
Ved opphold i skytebanehall har du kjent på irriterte øyne?

45 responses



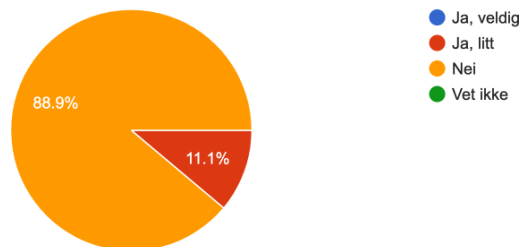
Ved opphold i skytebanehall har du kjent på irritert hals?

45 responses



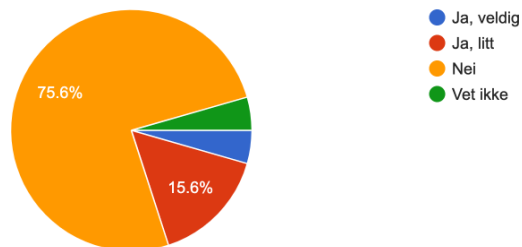
Ved opphold i skytebanehall har du kjent på irritert hud?

45 responses



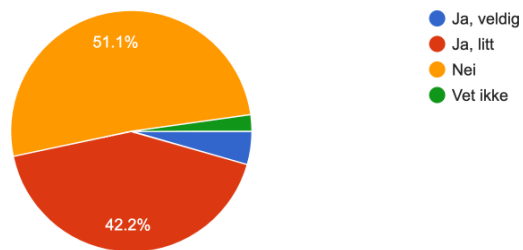
Ved opphold i skytebanehall har du kjent på tørre slimhinner?

45 responses



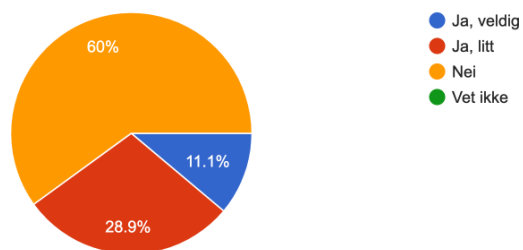
Ved opphold i skytebanehall har du kjent på metallsmak (i munn eller/og nese)?

45 responses



Ved opphold i skytebanehall har du kjent på trekk/ubehagelig luft ved standplass?

45 responses

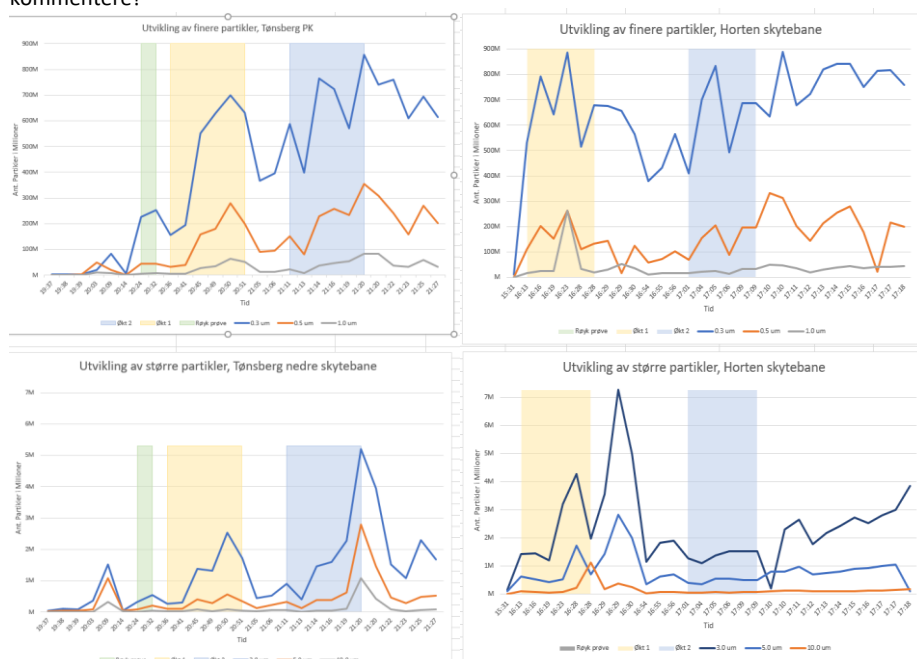


Velkommen til intervju

Vennligst besvar spørsmålene under så godt som du kan.

1. Dersom dere har målt eller sett rapporter som beskriver skytebaner, hva er deres erfaring med hvilke typer forurensninger man finner i luften?
2. Hva er minste og maksimale kravet for bly forurensning på en arbeidsplass?
3. Av de arbeidsplassene dere kjenner til, hva er tiltakene de benytter for å begrense bly inntak?
4. Er det andre virksomheter/aktiviteter i bygninger som har liknende forurensningsinnhold i luften?
5. Hvilke retningslinjer/lovverk kan man benytte eller gjelder i forbindelse med luftforurensning og ventilasjonsmengdekrav i skytebaner
6. Har arbeidstilsynet foretatt kartlegging eller registrering av forholdene i skytebaner generelt?
7. Er det noe annet du kan fortelle oss om temaet?

Under ser du noen av resultatene vi har fått fra partikkel telling. Linjene viser de ulike størrelsene, sonene viser de forskjellige aktivitetene. X-aksen viser tid og y-aksen viser antallet partikler. Kan du kommentere grafene? Er resultatene av den størrelsen du ville ha forventet? Er det noe annet du vil kommentere?



Takk for din tid!

Hei,

Viser til din e-post. Beklager at jeg ikke har svart tidligere.

Mht il dine spørsmål svarer jeg.

1.

Jeg har sett noen rapporter om luftforurensing på skytebaner og er kjent med at det er o, nh₃ (ammoniakk) og hcn (hydrogencyanid) som kan være problem sammen med pb (bly)

2.

Det er vel ikke noe minstekrav for bly på arbeidsplass, men må være under 0,5 mmol basert på en gitt eksponeringstid. Det settes vel en grense for friske personer på 0,4 mmol
Og kliniske symomer ved over 3,0 mmol.

3

Det jeg kjenner til er at venilasjon, begrenset oppholdstid og bruk av verneutstyr (maske)

4.

Vet ikke

5.

Arbeidsmiljøloven og forskrifter til denne

6,

Så vidt jeg vet, ikke generelt

7

Ikke noe spesielt

Mht til grafene med partikkeltelling – umulig å kommentere da det ikke fremgår hva partiklene består av. Mengden overasker ikke.

Velkommen til intervju

Vennligst besvar spørsmålene under så godt som du kan.

1. Hvordan burde ventilasjonen utformes på en skytebane?
Tilføre frisk/ren luft bak skyttere på standplass og avtrekk ved blinkene.
2. På hvilken måte tror du en luftrenser kunne ha bidratt i en skytebanehall? (Positivt/negativt)
En luftrenser vil bidra til et bedre innemiljø. Man må huske på at en luftrenser er et supplement til eksisterende ventilasjon og skal aldri erstatte dette.
Brukes på samme måte som punkt 1. Plassere luftrenseren ved området blinkene er plassert, så kan man føre rensert ren luft tilbake til standplass via kanaler. (Push-Pull)
Man kan oppnå et negativt resultat hvis man bruker en luftrenser som ikke har god Clean Air Delivery Rate (CADR)
Eksempel.
Hvis man har en luftrenser som har filter med kvalitet HEPA13 som fjerner 99,95% av alle partikler, og kapasiteten på luftrenseren er 6 000 m³/h vil man oppnå en CADR på 5 997 m³/h. Har man en luftrenser med samme kapasitet, men har et filter som bare fjerner 30% av alle partiklene, vil man få en CADR på 1 800 m³/h.
Luftrenser 1, med filtreringsgrad 99,95% CADR = 5 997 m³/h.
Urenset luft som føres tilbake til standplass = **3m³/h**
Luftrenser 2, men filtreringsgrad 30,00% CADR = 1 800 m³/h.
Urenset luft som føres tilbake til standplass = **4 200m³/h**
3. Hvilken filter burde brukes?
Ved balansert ventilasjon ville jeg ha brukt Eurovent REC 4-23 valg av luftfiltre som et hjelpemiddel, samt kommunale forurensningskart. Normalt sett vil ePM1 60% være tilstrekkelig. Ved bruk av luftrenser ville jeg ha brukt H13/H14.
I visse tilfeller kan det også være nødvendig med molekylærfiltrering med tanke på røykgasser.
4. Hva slags ventilasjon ville du ha satt inn (med tanke på budsjett)?
Litt vanskelig å svare på dette.
Men det vil gå på det samme, men med enklere komponenter.
F.eks: Ved lavbudsjett, avtrekksvifte bak blinker og mulighet til å trekke uteluft via et filter inn bak standplass.
Man må også ha i tankene at det blir som regel litt kald i Norge, så man må også ta hensyn til energiforbruk og varmekilder osv. Supplere med luftrensere ved behov.
5. Hvordan ville en optimal løsning se ut hvis økonomi ikke var et tema?
Behovsstyrt balansert ventilasjon med kryssveksler med **riktige luftmengder!** (man skal ha en varmegjenvinner som man ikke får smitte over og som ikke fører forurenset luft tilbake til standplass) Sensor for IAQ.

Hvis man skal kjøre en del omluft med tanke på energi, ville jeg har satt inn to filtersteg. F.eks ePM1 85% og HEPA13/14

6. Hva er kriteriene for en god bane? Har du noen relevante tall verdier?

Jeg har dessverre ikke noe tall på dette, men i min verden er det at de på standplass ikke inhalerer noen skadelige partikler. Standplass skal være ren sone.

7. Hva tenker du om løsningene: best mulig utforming av ventilasjon vs fjerning av forurensninger ved kilden med en luftrensner, dersom bare en av alternativene kunne gjennomføres?

Best mulig utforming av ventilasjon!

Luftrensere skal brukes som løsning/supplement hvis man ikke klarer å oppnå tilfredsstillende resultat på en annen måte.

8. Har dere erfaringer med forskjellige eksisterende skytebaner med tanke på best mulig inneklima (tilstrekkelig mengde og ren luft)?

Se: Skytebaner – Veileder for planlegging av skytebaner. Utgitt av Kulturdepartementet

(7.1)

*Ventilasjon (krav og anbefaling) Hensikten med ventilasjon på skytebaner er å få ut røykgasser, men enda viktigere å få tungmetallene bort fra luften som skytterne puster inn. Krav til ventilasjon på innendørs skytebaner finnes i Sikkerhetsbestemmelsene som følger Skytebaneforskriften. **Det er imidlertid viktig å være klar over at disse kravene er for lave ved hyppig bruk.***

*Spesielt på skytebaner der aktive brukere eller standplassledere oppholder seg mange timer pr. uke, er det behov for bedre ventilasjon enn minimumskravet i forskriften. **Ved utleie til offentlige brukere som politiet og Forsvaret, kommer også arbeidsmiljølovens krav inn i bildet. Disse er strenge, og krever en betydelig oppgradering av ventilasjonen i forhold til forskriftens krav.** Uansett hvem som er brukerne av en skytebane anbefales det å etablere svært god ventilasjon.*

Forskrift om anlegg av, kontroll med og godkjenning av sivile skytebaner av 1. juli 1988

(9.1.4.)Innendørs geværbaner skal ha mekanisk ventilasjon dimensjonert etter følgende minimumskrav.

- luften skiftes ut 4 ganger i timen
- lufthastigheten i banen på minimum 1,5 meter/minutt
- 300 m3 pr. time pr. våpen

Friskluftsinntaket plasseres bak skytteren. Avtrekk plasseres minimum 15 m. foran

9. Er det noe annet du kan fortelle oss om temaet?

Man må også huske på andre elementer med tanke på inneluftskvaliteten som CO₂, temperatur, luftmengder osv

Under ser du noen av resultatene vi har fått fra partikkel telling. Linjene viser de ulike størrelsene, sonene viser de forskjellige aktivitetene. X-aksen viser tid og y-aksen viser antallet partikler. Kan du kommentere grafene? Er verdiene av den størrelsen du ville ha forventet? Er det noe annet du vil kommentere?

Verdiene er som forventet (se bilde under fra en måling på en annen skytebane)

