

STAMI-rapport

**Kartlegging og
karakterisering av
eksponering i byggebransjen
ved riving og renovering av
bygg (ByggX)**



Torunn K. Ervik
Johanne Østereng Halvorsen
Pål Graff
Kari Dahl og
Nils Petter Skaugset

Sitering av rapporten:

STAMI (2025). Kartlegging og karakterisering av eksponering i byggebransjen ved riving og renovering av bygg, årgang 26, nr. 4, Oslo: Statens arbeidsmiljøinstitutt

Rapporten kan lastes ned fra stami.no

Denne rapporten er skrevet av
Torunn K. Ervik
Johanne Østereng Halvorsen
Pål Graff
Kari Dahl
Nils Petter Skaugset

Det redaksjonelle arbeidet ble avsluttet
[27. august 2025]
Serie: STAMI rapport
Nr. [4], Årgang [26] (2025).
Dato: 27. august 2025

Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI)
Postboks 5330 Majorstuen
0304 Oslo

ISSN nr. 1502-0932

Innholdsfortegnelse

Forord	3
Forkortelser	4
Takk.....	5
Sammendrag.....	6
1. Bakgrunn og målsetting	8
1.1 Vitenskapelig bakgrunn.....	9
1.2 Målsettinger	10
2. Materialer og metode	10
2.1 Lokasjoner	10
2.2 Personbårne målinger	14
2.3 Etikk	16
2.4 Stasjonært utstyr.....	16
2.5 Materialprøver.....	16
2.6 Analysemetoder.....	16
3. Resultater og diskusjon	18
3.1 Støv- og kvartsmålinger	18
3.2 Andre mineraler i støvet.....	21
3.3 Direktevisende målinger og størrelsesfordeling.....	22
4. Oppsummering.....	26
5. Konklusjon	26
Referanser	27

Forord

Denne rapporten beskriver et prosjekt der eksponering for støv og kvarts er kartlagt og karakterisert i byggebransjen. Prosjektet har vært et doktorgradsprosjekt finansiert av STAMI, med bidrag fra IA bransjeprogrammet for bygg og anlegg. Vi har fokusert på arbeider som foregår i forbindelse med riving og renovering av bygninger, aktiviteter hvor det ofte oppstår betydelige mengder støv.

Formålet med rapporten er å presentere de viktigste funnene fra prosjektet. Økt kunnskap om støv- og kvartskonsentrasjoner vil gi et bedre grunnlag for å vurdere og implementere støvreduserende tiltak.

STAMI har hatt ansvar for ledelsen og gjennomføringen av prosjektet, med forsker Torunn Ervik som prosjektleder. Øvrige deltakere har vært doktorgradsstudent Johanne Østereng Halvorsen, ledende seniorforsker Pål Graff, overingeniør Kari Dahl og gruppeleder for arbeidsmiljøkjemi Nils Petter Skaugset.



inkluderende arbeidsliv
Bransjeprogram for bygg og anlegg

Forkortelser

Aerodynamic Particle Sizer	APS
Aritmetisk gjennomsnitt	AM
Den nasjonale eksponeringsdatabasen	EXPO
Nederlandsk ekspertkomite for arbeidshelse	DECOS
Geometrisk gjennomsnitt	GM
Inkluderende Arbeidsliv	IA
IA bransjeprogram for bygg og anlegg	IABA
Limit of detection, bestemmelsesgrense	LOD
Nordisk ekspertgruppe for grenseverdi-dokumentasjon	NEG
Polyvinylklorid	PVC
Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk	REK
Røntgendiffraksjon	XRD

Takk

Vi ønsker å rette en stor takk til alle bedrifter som har deltatt i prosjektet, samt til de ansatte som har brukt prøvetakingsutstyret. Uten deres involvering ville prosjektet ikke vært mulig å gjennomføre. Vi vil også takke Stine Eriksen Hammer, Raymond Olsen og Hilde Notø for verdifull hjelp i oppstartsfasen av prosjektet. Prosjektet har mottatt bidrag fra IA bransjeprogrammet for bygg og anlegg og bransjeprogrammet har vært en aktiv samarbeidspartner fra starten av.

Sammendrag

Hovedmålet med dette prosjektet har vært å kartlegge og karakterisere støv- og kvartseksponeringen for arbeidere som jobber med innvendig riving og renovering av bygg, med fokus på materialer som betong og murstein. Prosjektet har vist at arbeid med og på disse materialene kan frigjøre store mengder støv- og kvartspartikler. Kvartseksponering er spesielt viktig å undersøke på grunn av de negative helseeffektene som er knyttet til denne eksponeringen.

Prosjektet har vært et internt stipendiatprosjekt finansiert av STAMI. Prosjektet har også mottatt prosjektbidrag fra inkluderende arbeidsliv bransjeprogram for bygg og anlegg (IABA). Prosjektet ble gjennomført i perioden desember 2021-juni 2025. Bidraget fra IABA ble blant annet brukt til å kjøpe prøvetakingsutstyr til prosjektet. Det muliggjorde blant annet at prøvetaking kunne utføres på kort varsel. Uten bidraget fra IABA hadde det blitt utført færre målinger.

Prosjektet startet opp i desember 2021 med eksponeringsmålinger på byggeplasser. I løpet av 2022 og starten av 2023 ble det utført målinger på til sammen 14 byggeplasser, de fleste lokalisert i Oslo området. Det er den respirable fraksjonen av støvet som er mest relevant for kvartseksponeringen knyttet til negative helseutfall, og prosjektet har derfor fokusert på å samle inn respirable luftprøver. Der det har vært mulig er det også samlet torakale og inhalerbare luftprøver (se Figur 3 for en forklaring av støvfraksjonene). Totalt er det samlet 192 respirable prøver og i 182 av disse har respirabel kvarts blitt bestemt. Eksponeringsdata har blitt lagt inn i den nasjonale eksponeringsdatabasen EXPO.

I løpet av prosjektperioden er det publisert tre artikler som inngår i doktorgraden til Johanne Østereng Halvorsen:

Measurements of dust and respirable crystalline silica during indoor demolition and renovation

Johanne Ø Halvorsen, Pål Graff, Elin Lovise Folven Gjengedal, Torunn K Ervik,
Annals of Work Exposures and Health, Volume 69, Issue 1, January 2025, Pages 48–58,
<https://doi.org/10.1093/annweh/wxae082>

Application of X-ray diffraction with Rietveld refinement to quantify mineral composition including crystalline silica in respirable dust.

Johanne Ø Halvorsen, Peter Stacey, Pål Graff, Elin Lovise Folven Gjengedal, Torunn K Ervik
Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 22(4), 248–258.
<https://doi.org/10.1080/15459624.2024.2443206>

Characterization of dust and crystalline silica exposure during indoor demolition

Johanne Ø Halvorsen, Pål Graff, Elin Lovise Folven Gjengedal, Torunn K Ervik,
Annals of Work Exposures and Health, 2025
<https://doi.org/10.1093/annweh/wxaf028>

De viktigste resultatene fra prosjektet kan oppsummeres som følger:

- Resultatene viser at over halvparten (59 %) av de personbårne luftprøvene fra rivningsarbeidere overskrider den nåværende grenseverdien for respirabel kvarts. Ved enkelte lokasjoner og arbeidsoperasjoner kan det oppstå det spesielt høye konsentrasjoner av støv og kvarts. Felles for disse tilfellene er at de ofte forekommer i

lukkede bygninger der det primært arbeides med murstein eller betong. I tillegg er eksponeringen ofte høy når maskinelt arbeid på disse materialene er involvert, samt påfølgende rydding og kasting av materialene.

- Dersom de luftbårne partiklene ikke fjernes effektivt, kan de minste partiklene spre seg til andre deler av bygget hvor det utføres ulike oppgaver. I tillegg kan støv og inntørket slam på bakken bli oppvirvlet igjen av arbeidstakere som utfører andre oppgaver. Resultatene viser at 20 % av prøvene fra arbeidere som jobber i nærheten av støvete operasjoner eller i andre deler av bygningen, var eksponert for kvartsnivåer som overskrider den nåværende grenseverdien selv om de ikke selv utfører arbeidsoppgaver som genererer kvartsstøv.
- Videre ble det undersøkt hvilke andre mineraler som var til stede i de innsamlede støvprøvene og i materialprøver samlet fra lokasjonene. Denne kunnskapen kan gi verdifull innsikt i støvkildene, potensielle interferenser i analysemetoden, og indikere tilstedeværelsen av andre helseskadelige komponenter i støvet. Rietveld-analyse ble benyttet til dette formålet.

Kunnskap om hvilke støv- og kvartsnivåer som kan oppstå ved riving og renovering av bygg gjør det mulig å planlegge og implementere støvreduserende tiltak før arbeidet påbegynnes. I tillegg er både kunnskap og opplæring avgjørende for å effektivt redusere støv- og kvartskonsentrasjoner i denne bransjen.

1. Bakgrunn og målsetting

Byggebransjen omfatter 166 000 arbeidstakere hvor 31 % av de ansatte som jobber innen byggevirksomhet angir at de i sitt arbeid eksponeres for mineralstøv i sitt arbeid [1]. Til tross for dette er det begrenset med data som kan si noe om støveksponeringen i denne bransjen.

Det grønne skiftet har medført et større fokus på at bygninger skal rehabiliteres istedenfor å rives og bygge nytt. Dette har ført til økt bruk av innvendig riving og bearbeiding av eksisterende bygningsmasse som ofte består av betong og murstein. Byggematerialer som murstein og betong kan inneholde en stor andel av mineralet kvarts. På kort sikt kan eksponering for mineralstøv gi luftveisplager og på lengre sikt lungekreft og KOLS [2, 3]. I 2021 ble grenseverdien på kvarts redusert fra 0,1 mg/m³ til 0,05 mg/m³ [4]. En nylig publisert rapport utarbeidet av nordisk ekspertgruppe for grenseverdi-dokumentasjon (NEG) i samarbeid med den nederlandske ekspertkomiteen for arbeidshelse (DECOS) indikerer imidlertid at ytterligere reduksjon kan være nødvendig for å sikre arbeidernes helse. Alvorligheten av gjentatt og langvarig eksponering, samt antallet potensielt eksponerte arbeidere denne bransjen, understreker viktigheten av å ha kontroll på kvartsnivåer i forbindelse med renoveringsarbeid.

Det kan være utfordrende å samle eksponeringsdata i byggenæringen. Ofte er det underentreprenører og innleid arbeidskraft som gjør rivejobbene. Flere av arbeidstakerne arbeider med spesifikke arbeidsoppgaver og flyttes til et nytt sted etter noen dager/uker. I tillegg er mange i byggenæringen på korttidsopphold i Norge. Variasjonen og kortsiktigheten i arbeidet kan gjøre det utfordrende å gjennomføre eksponeringsmålinger i henhold til EN689 [5]. Relativt korte opphold på de ulike arbeidsplassene og utskiftning av personell gjør det også vanskelig å studere effekten av tiltak. Eksponeringsmålinger er likevel det eneste som kan si noe om de faktiske støvnivåene og på den måten gi et grunnlag for å peke på arbeidsoppgaver og forhold som krever tiltak.

1.1 Vitenskapelig bakgrunn

Selv om det har vært få tilgjengelige målinger av støv- og kvartseksponering i byggebransjen i Norge, har flere studier blitt utført på eksponering under bygg- og renovasjonsarbeid internasjonalt [5-19]. Hovedfokuset i de fleste av disse studiene har vært kvartseksponering knyttet til arbeidsoppgaver som fresing, sliping av betongoverflater, kjerneboring, saging i betong og mur, tungrivning, lettrivning og rengjøring.

Flere av studiene har påpekt utfordringer med å utføre målinger på grunn av variasjonen i eksponeringsfaktorene, slik som arbeidsoppgaver, type verktøy, materialtype og forholdene på arbeidsplassen [8, 12]. Spesifikke arbeidsoppgaver står ofte for høye støveksposjoner, og derfor er utførte målinger vanligvis basert på disse.

En rapport fra det Svenske Miljøinstituttet fra 2019 har sammenstilt målinger utført under ulike arbeidsoppgaver og maskiner/verktøy [9]. Ved enkelte arbeidsoppgaver ble risikoen for at grenseverdien for respirabel kvarts ($0,1 \text{ mg/m}^3$) ble overskredet ansett som så høy at åndedrettsvern alltid ble anbefalt. Eksempler på slike arbeidsoppgaver omfatter fugefresing, sporfresing i betong, sliping av betong, saging i betong eller mur, arbeid med trykkluftbor samt tungrivning utenfor førerhuset. Kvartskonentrasjonene som ble målt for disse arbeidsoppgavene, var i nesten alle tilfeller over den svenske grenseverdien på $0,1 \text{ mg/m}^3$. Støveksposeringen kunne begrenses i noen av tilfellene ved ulike tiltak som eksempelvis bruk av verktøy med integrert avsug eller vanning. Arbeidsoppgaver der det ble registrert utilstrekkelige målinger for å konkludere om kvartsnivåene omfattet blant annet sliping av betonggulv, tørr kjerneboring i mur og betong, samt lettrivning.

I en studie fra USA ble det rapportert kvarts i 1374 innsamlede personlige prøver fordelt på 8 stillingskategorier, 16 arbeidsoppgaver og 16 verktøykategorier [7]. Målingene var utført av en blanding av private firmaer, forskningsgrupper og tilsyn. Samlet ga prøvene et geometrisk gjennomsnitt (GM) på $0,13 \text{ mg/m}^3$. Det var store variasjoner innad i de forskjellige kategoriene og enkelte høye eksponeringer ble målt for nesten alle typer verktøy. Andel kvartsprøver over $1,0 \text{ mg/m}^3$ var 13 % med de høyeste nivåene målt for verktøy som sandblåser, overflatefres, fugefres og trykkluftbor.

En studie fra Danmark som studerte manuell og mekanisk innvendig rivning, fant de høyeste støv- og kvartsnivåene for manuell rivning. Respirabelt støv var $3,40 \text{ mg/m}^3$ (GM) for manuell rivning og $0,43 \text{ mg/m}^3$ (GM) for mekanisk rivning. For respirabel kvarts var nivåene på $0,69 \text{ mg/m}^3$ (GM) og $0,09 \text{ mg/m}^3$ (GM) for henholdsvis manuell og mekanisk rivning [18].

Studier fra USA, Nederland og Sverige viste at ved bearbeiding av mur og betong var ofte andelen av prøvene som oversteg $0,1 \text{ mg/m}^3$ (gjeldene grenseverdi for disse landene) for respirabel kvarts høyere enn andelen som oversteg grenseverdien for respirabelt støv på 5 mg/m^3 [7, 12, 15]. Respirable støvnivåer på omtrent 2 mg/m^3 (GM) er rapportert for boring i betong i to ulike studier [7, 12]. Ved bearbeiding av porøse og mykere materialer, f.eks. materialer med større innhold av kalkstein, kan det være en større sjanse for at grenseverdien for respirabelt støv overskrides [10].

Tidligere studier fra Storbritannia, USA, Nederland og Canada har undersøkt effektene av tiltak i arbeidsrommet og på utstyret [10, 11, 13, 14, 16, 19]. Lokalt avtrekk og vanning har vist seg å ha en betydelig reduksjonseffekt på respirabelt støv og kvarts ved korttidsmålinger. Noen typer verktøy, som sager og slipemaskiner, kan ha integrert avsug koblet til en støvsuger eller integrert vannsprut. Bruken av slike verktøy førte til en reduksjon i respirabel kvarts på over 90 % i enkelte tilfeller [13, 14, 19]. Imidlertid viste en studie fra Sverige at avsug ikke alltid er tilstrekkelig for å hindre eksponering ved arbeidsoppgaver som bruk av trykkluftbor og

meiselhammer [6]. Bruk av trykkluftbor og meiselhammer i lukkede rom uten ventilasjon kan føre til en betydelig økning i støv- og kvartskonsentrasjoner [10].

Tidligere studier har også vist at det er forskjell mellom arbeid i nybygg og renovasjonsbygg. Ifølge en omfattende canadisk litteraturgjennomgang hadde renovasjonsbygg en gjennomsnittlig respirabel kvartskonsentrasjon på $0,05 \text{ mg/m}^3$, mens nybygg hadde en konsentrasjon på $0,03 \text{ mg/m}^3$ [20]. I tillegg ble det rapportert at rengjørere som ryddet etter byggearbeid, opplevde renovasjonsbygg som dobbelt så støvete som nybygg [17]. Studier fra Finland og Sverige har videre vist at den generelle bakgrunnsluften utgjør et betydelig bidrag til arbeidernes totale eksponering [5, 9].

Andelen kvarts i byggematerialer som murstein og betong har blitt rapportert å være rundt 30 % [10]. I respirabelt støv vil andelen kvarts som oftest være lavere enn 30 % fordi komponentene som utgjør hydrert sement er mykere enn kvarts og vil lettere brytes til mindre partikler [10]. Prosentandel kvarts i byggestøvet fra mur og betong varierte og var avhengig av type verktøy, men ble i det fleste tilfeller funnet å være mellom 6-16 % [7, 15]. Nij et al. [12] fant at materialtype kunne forklare mye av intervariabiliteten i kvartsnivåer mellom arbeidere når 8 forskjellige arbeidsoppgaver ble studert.

En publisert studie har evaluert bruken av Rietveld metode ved røntgendiffraksjon (XRD) for å fastslå krystallinske og amorfe komponenter i inhalerbare prøver [21]. I en oppfølgingsstudie ble denne teknikken benyttet for å estimere eksponeringen i inhalerbar fraksjon for tømrere [22]. Andel trestøv, kalsitt, gips, dolomitt, kvarts, kaolinitt og rutil ble bestemt ved å bruke en kombinasjon av XRD og termisk gravimetrisk analyse.

1.2 Målsettinger

Hovedmålet med prosjektet var å kartlegge og karakterisere eksponeringen for arbeidere som jobber med innvendig riving og bearbeiding av eksisterende bygg som skal renoveres. Spesifikke mål er å:

1. Kartlegge eksponeringen for arbeidere ved renoveringsprosjekter
2. Karakterisere byggestøv som funksjon av partikkelstørrelse

2. Materialer og metode

2.1 Lokasjoner

I løpet av prøvetakingsperioden (januar 2022 - mars 2023) har det blitt gjennomført målinger på 13 byggeplasser hvorav de fleste har vært i Oslo-området. I tillegg ble det gjennomført et forprosjekt i november 2021. Totalt 14 byggeplasser er derfor inkludert i prosjektet. Alle de inkluderte byggeprosjekter har vært rehabiliteringsprosjekter bortsett fra i forprosjektet hvor hele bygget ble revet etter innvendig riving. Til sammen har 192 personbårne respirable prøver blitt samlet inn og totalt 92 arbeidere har deltatt i studien. Lokasjon, prøvetakingstidspunkt og byggeår for bygget er oppsummert i Tabell 1. Typiske arbeidsoperasjoner som er studert er riving av mur og betong, kjerneboring, pigging, sliping, fresing, og rydding av disse materialene, se Figur 1. Disse arbeiderne kalles rivningsarbeidere i rapporten. Det er også målt på arbeidere som ikke selv arbeider med kvartsholdige materialer, men som jobber i bygget med annet type

arbeid. Disse benevnes med randsonepersonell i rapporten. Tabell 2 gir en oversikt over hvilke arbeidsoppgaver som er definert som rivingsarbeid og hva som er randsonepersonell.

Tabell 1: De forskjellige lokasjonene og byggene hvor prøvetaking er utført. Hovedmateriale og hovedoppgavene er nevnt i tabellen.

Lokasjon	Beskrivelse	Hovedmateriale og hovedoppgaver	Prøvetaking	Bygg stod ferdig
1	Riving av sykehjem, Oslo	Rydding, kasting av gips og el- avfall	November 2021	1985
2	Betongrehabilitering garasje, Oslo	Pigging i betong	Februar 2022	1970
3	Totalrehabilitering næringsbygg, Oslo	Pussing av mur, pigging i betong i nærheten	Mars 2022	1926
4	Renovering av næringsbygg, Oslo	Rydding av teglstein, samt noe pigging	Mars og april 2022	1936
5	Totalrenovering skole, Oslo	Rydding av el- avfall, litt pigging i betong, åpent bygg	Mai 2022	1974
6	Rehabilitering garasjeanlegg, Oslo	Fresing og rydding av asfalt og betong	August 2022	1982
7	Rehabilitering kontorbygg, Oslo	Rydding og pigging av teglstein	August 2022	1915
8	Rehabilitering skole, Oslo	Pigging, rydding av leca, teglstein og betong	September 2022 og februar 2023	1898
9	Betongrehabilitering garasje, Oslo	Slissing og pigging betong	Oktober 2022	1978
10	Rehabilitering studentby, Oslo	Kjerneboring i teglstein og betong	Oktober 2022	1951
11	Boligbygg med innvendig sliping	Sliping av betong	November 2022	2022
12	Rehabilitering kommunale boliger, Oslo	Pigging i betong, kasting gips og el-avfall	Oktober og november 2022	1981
13	Rehabilitering kontorbygg, Oslo	Rydde, kaste betong og teglstein	Februar 2023	1970
14	Rehabilitering skole, Raufoss	Sliping flis og pigging teglstein	Januar og mars 2023	1980



Figur 1: Typiske arbeidsoppgaver som det ble målt på: pigging (a), Rydding og kasting av bygningsavfall (b). FOTO: STAMI

Tabell 2: Oversikt og beskrivelse av arbeidsoppgaver

	Arbeidsoppgave	Beskrivelse
Rivningsarbeidere	Betongskjæring	Skjæring av betong i biter eller skjæring av snitt i betongen. Inkluderer også slissing. Ofte vannkjølt
	Kjerneboring	Boring for å lage i hull i vegger og gulv. Vannkjøling benyttes
	Sliping	Fjerning av betong med et roterende skjæreverktøy eller et slipeverktøy. Inkluderer også fresing
	Pigging	Riving av vegger og gulv med håndholdte meiselhammere eller riveroboter.
	Rydding og riving	Kasting av materialet kombinert med riving, ofte med meiselhammer
	Rydding	Kasting av materialer
Randsonepersonell	Lettriving	Fjerne gipsplater, treverk og elektriske installasjoner
	Bas/Formann	Ansvarlig for arbeidsmannskapet
	Murere	Mureoppgaver
	Forskalingsarbeidere	Bygging og fjerning av metall- og treverk for støping av betong
	Bygningsarbeidere	Byggeoppgaver som bygging i tre og montering av dører

2.2 Personbårne målinger

Personbårne målinger ble samlet i løpet av en hel arbeidsdag (full-skiftsprøver) ved å montere prøvetakere med et filter i pustesonen til arbeideren. Prøvetakeren var koblet til en prøvetakingspumpe med en slange. Pumpen trekker luft gjennom filteret med en spesifikk luftgjennomstrømningshastighet (flow) og støvet samles opp på filteret. Ofte ble en ryggsekk benyttet for å bære pumpene som var koblet til prøvetakerne. Oppsettet er vist i Figur 2. Alle prøver er utenfor maske og viser derfor den potensielle eksponering for arbeidstakerne.

De tre helserelaterte støvfraksjonene inhalerbar, torakal, og respirabel er vist i Figur 3a. I den forenklede skissen i Figur 3b viser at det er den respirable delen av støvet som kan pustes inn i den dypeste delen av lungen. Arbeiderene har, i den grad det var mulig, båret respirable, torakale, og inhalerbare prøvetakere i parallell. Hvis det var mulig å måle alle tre aerosolfraksjonene var det den respirable fraksjonen som ble prioritert siden dette er den mest relevante fraksjonen for helseeffekter spesifikt knyttet til kvartseksponering. Det ble samlet 81 fulle sett med alle tre fraksjoner. For å få et mål på variasjonen i eksponeringen for samme person (intravariabilitet) ble det forsøkt å ta prøver på samme person tre forskjellige arbeidsdager. En kort beskrivelse av de forskjellige prøvetakerne følger:

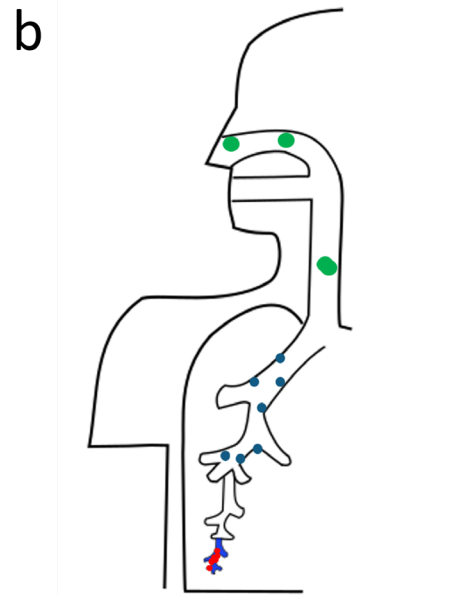
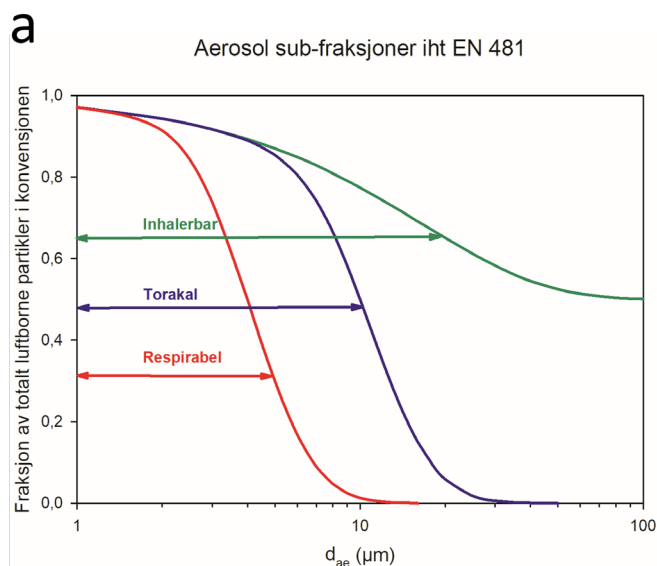
Den inhalerbare fraksjonen ble samlet opp på 25 mm polyvinylklorid (PVC)-filter med porestørrelse 5 μm med IOM prøvetakere (SKC Ltd., Dorset, UK) med en flow på 2,0 L/min. Den inhalerbare fraksjonen samler opp støvpartikler med aerodynamisk diameter definert opp til 100 μm .

Den torakale fraksjonen ble samlet opp på 37 mm PVC-filter med porestørrelse 5 μm med torakale syklonprøvetakere (GK 2.69, Sensidyne, St.Petersburg, FL, USA) med en flow på 1,6 L/min. Den torakale fraksjonen samler opp støvpartikler med aerodynamisk diameter opp til ca. 30 μm .

Respirabel fraksjon ble samlet opp på 37 mm PVC-filter med porestørrelse 5 μm med respirable syklonprøvetaker (JSH syklon, J S Holdings, Hertfordshire, UK) med en flow på 2,2 L/min. Den respirable fraksjonen samler opp støvpartikler med aerodynamisk diameter opp til ca. 10 μm .



Figur 2: De tre prøvetakerne, fra venstre torakal sykklon (1), respirabel sykklon (2), og inhalebar kassett (3) montert på sekk. FOTO: STAMI



Figur 3: helserelaterte fraksjoner (a) og forenklet skisse over hvor i respirasjonssystemet de forskjellige fraksjonene pustes inn (b).

2.3 Etikk

I prosjektoppstartsfasen søkte prosjektet om godkjenning av Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk (REK) og prosjektet ble vurdert til å ikke falle inn under helseforskningslovens virkeområde (søknadsnummer 320498). Prosjektet er også meldt til Kunnskapssektorens tjenesteleverandør SIKT og en datahåndteringsplan er beskrevet i SIKT. Det var frivillig for alle arbeidstakere å delta i studien. Alle arbeidere som gikk med prøvetakingsutstyr, signerte på et infoskriv hvor håndtering av persondata var beskrevet. Et prøvetakingsskjema ble fylt ut for hver gang en arbeidstaker gikk med prøvetakere. Landbakgrunn og fødselsår ble notert for registrering i EXPO. Et spørreskjema ble benyttet for å få informasjon om utførte arbeidsoppgaver, verktøy, ulike vernetiltak og verneutstyr, og materialer.

2.4 Stasjonært utstyr

Partikkeltelling

Partikkeltellere logger partikkelantall i arbeidsluften kontinuerlig og kan brukes til å kartlegge variasjonen i luftnivåer ved ulike arbeidsoppgaver. I dette prosjektet ble en *aerodynamic particle sizer* (APS) instrument brukt (APS, Model 3321, TSI Inc., Shoreview, MN, USA). Dette er en stasjonær partikkelteller som teller partikler og måler størrelsesfordeling i et partikkelstørrelsesområde fra 0,5 μm – 20 μm . Partikkeltelleren ble plassert på et trillebord i nærheten av der arbeidet ble utført. Ved en av lokasjonene ble partikkeltelleren overbelastet og måtte sendes til England for reparasjon. Dette førte til at partikkeltelleren ikke var med ved alle lokasjoner.

2.5 Materialprøver

Det ble samlet materialprøver ved alle byggeplasser for å undersøke kvarts- og mineralinnhold. Kvartsinnhold ble undersøkt ved å knuse ned materialprøver til en respirabel størrelse og deretter analyserte prøven på samme måte som luftprøvene.

2.6 Analysemetoder

Gravimetrisk bestemmelse av støv

Massen av støv som ble samlet opp på filtrene i de ulike prøvetakerne ble bestemt ved veiing med en mikrovækt (Sartorius MC-5, Göttingen, Tyskland). Bestemmelsen ble utført i et klimakontrollert rom med kontinuerlig registrering av temperatur ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) og relativ luftfuktighet ($40 \pm 2\%$). For å sikre nøyaktige og sammenlignbare veieforhold ble alle filtre akklimatisert i minst 24 timer i det klimakontrollerte rommet. Statisk ladning ble fjernet fra filtre før veiing med en Po210-kilde (Staticmaster®, NRD, LLC, NY, USA).

Kvartsbestemmelser

NIOSH metode 7500 er analysemetoden som ble benyttet for å kvantifisere mengden respirabel krystallinsk silika i de respirable luftprøvene [23]. Respirabel krystallinsk silika er en fellesbetegnelse på de tre vanligste silika formene: kvarts, kristobalitt, og tridymitt. Det er imidlertid kvarts som er relevant i byggebransjen da kvarts er et vanlig mineral som forekommer i tilslagsmateriale (grus, sand og stein) som er brukt i betong. I resten av rapporten vil det være kvarts som omtales. NIOSH 7500 metoden baserer seg på XRD. Prøvefilteret i prøvetakeren foraskes etter veiing og innsamlet uorganisk støv filtreres ned på et sølvfilter. Sølvfilteret med støv analyseres deretter med XRD.

For å kvantifisere kvarts med NIOSH 7500 metoden er det nødvendig med et eksternt referansemateriale. I dette prosjektet ble standarden *NIST standard reference material 2950a* benyttet.

Rietveld-analyse er en multikomponent analyse som kan benyttes for å kvantifisere alle de forskjellige fasene i støvet. Denne metoden benytter hele diffraktogrammet for å bestemme sammensetningen.

3. Resultater og diskusjon

3.1 Støv- og kvartsmålinger

Resultatene for de respirable støv- og kvartsprøvene er oppsummert i Tabell 3. I tabellen er resultatene delt inn i rivningsarbeidere og randsonepersonell. For rivningsarbeidere var det aritmetiske gjennomsnittet (AM) av respirabelt støv på 4,1 mg/m³ og kvarts på 0,27 mg/m³. Dette gjennomsnittet er i stor grad påvirket av noen veldig høye prøver. Det geometriske gjennomsnittet (GM) gir i dette tilfellet et mer riktig bilde på fordelingen av dataene og er på henholdsvis 1,7 og 0,090 mg/m³ for respirabelt støv og respirabel kvarts. Av de innsamlede prøvene overskred 19 % grenseverdien for respirabelt støv, mens 59 % overskred grenseverdien for respirabel kvarts. Dette bekrefter tidligere studier, som har vist at det er større sannsynlighet for at grenseverdien for kvarts overskrides sammenlignet med grenseverdien for respirabelt støv [7, 12, 15].

For randsonepersonell var nivåene av respirabel kvarts lavere enn for rivningsarbeidere, men fortsatt overskred 20% av prøvene grenseverdien. Gjennomsnittet (GM) for respirabelt støv var 0,43 mg/m³, mens det for respirabel kvarts var 0,020 mg/m³. Disse resultatene bekrefter, i likhet med tidligere studier, at bakgrunnseksposering på arbeidsplassen ved riving og renoveringsarbeid gir et betydelig bidrag til arbeidernes totale eksponering i løpet av en dag [5, 9]

Tabell 3: Oppsummering av alle analyserte respirable prøver.

	Rivingsarbeidere (N = 111)	Randsonepersonell (N = 81)
Respirabelt støv		
Median	1,7	0,41
Gjennomsnitt (AM)	4,1	0,68
Gjennomsnitt (GM)	1,7	0,43
Min	0,11	0,028
Max	29	6,4
Antall over grenseverdi (5,0 mg/m ³)	21 (19%)	1 (1,2%)
Respirabel kvarts		
Median	0,061	0,018
Gjennomsnitt (AM)	0,27	0,057
Gjennomsnitt (GM)	0,090	0,020
Min	0,0076	<LOD
Max	3,2	0,96
Antall over grenseverdi (0,05 mg/m ³)	65 (59%)	14 (20%)

*LOD = 0,002mg på filter

Støv- og kvartskonentrasjoner ved arbeidsoppgaver er illustrert med boksplottene i Figur 4. Blant disse oppgavene var betongskjæring, sliping og pigging, samt ryddeoppgaver, de mest støvete og disse hadde også de høyeste nivåene av respirabel kvarts. Under rydding virvles sedimentert støv opp igjen. Det sedimenterte støvet inneholdt ofte mindre kvarts enn det som ble dannet direkte under mekanisk arbeid. Dette er fordi det blandes med andre typer støv og dermed fortynnes. På den annen side kan oppvirvling av støvet føre til støvnivåer som er like høye eller høyere som ved bruk av maskinelt verktøy. Lettriving, som ofte involverer rivning av

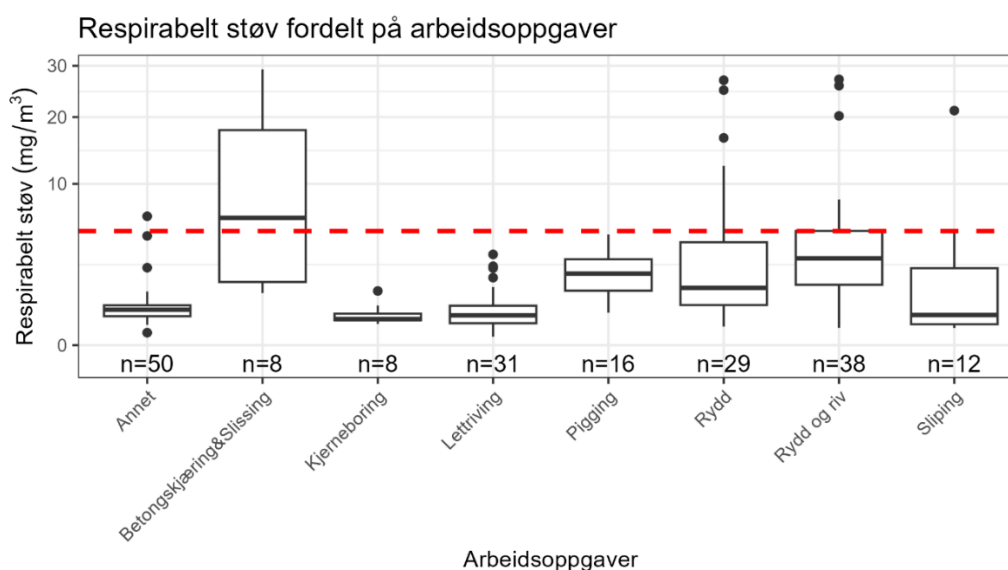
gipsplater, treverk og elektriske installasjoner, er arbeidsoppgaver som kan bidra til eksponering for støv. Materialene i seg selv inneholder imidlertid ikke kvarts, så kvartseksponeringen i slike tilfeller stammer fra annet arbeid i bygget. I kategorien *Annet* er det Bas, murere, og tømrere. Arbeidere i kategorien *Annet* og lettriving er kategorisert som randsonepersonell.

De høyeste konsentrasjonene av kvarts ble målt på lokasjonene 2, 7, 9 (del 2) og 11 (del 2). Disse lokasjonene har til felles at de befinner seg i relativt lukkede bygninger med begrenset ventilasjon. Med "begrenset ventilasjon" menes det at det verken var naturlig ventilasjon fra åpne vinduer eller vegger, eller mekanisk ventilasjon. Noen lokasjoner hadde ventilasjonsvifter med tilkoblede støvposer, men effekten av disse ble ikke studert. Ved lokasjonene med de høyeste støv- og kvartsnivåer oppga arbeiderne at støvmaske ble benyttet gjennom dagen, uavhengig av arbeidsoppgave.

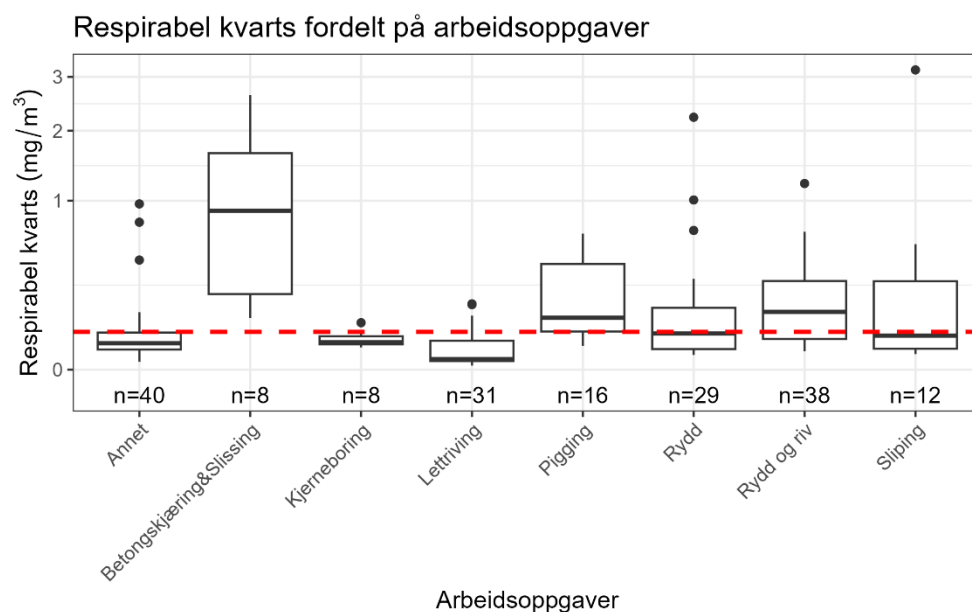
- Pigging, sliping og skjæring, samt kasting og rydding, av betong og mur var blant arbeidsoppgavene som ga de høyeste nivåene av respirabel kvarts. Under pigging i lukkede rom rapporterte arbeiderne at de alltid brukte støvmaske under arbeidsoperasjonen. Det er imidlertid viktig å huske på at kun en godt tilpasset maske gir optimal beskyttelse.
- Ved kjerneboring ble det brukt vann ved alle målingene. I tillegg står ofte operatøren av kjerneboret et lite stykke unna. Dette fører til lavere støveksposering. Ved kjerneboring med vann oppga arbeiderne at de ikke brukte støvmaske. Slammet som dannes ved bruk av vann må fjernes, hvis ikke kan støvet virvles opp igjen.
- 20% av målingene for randsonepersonell er over nåværende grenseverdi for respirabel kvarts. For denne gruppen ble det observert at de som oftest ikke brukte støvmaske under arbeidet.

Flere av filterene ved disse lokasjonene hadde støvmasser langt over massen på 2 mg som XRD metoden er validert for. Arbeidet som ble gjort med Rietveld metode viste imidlertid at for disse prøvene var NIOSH metoden stabil opptil 15 mg masse på filteret.

a



b

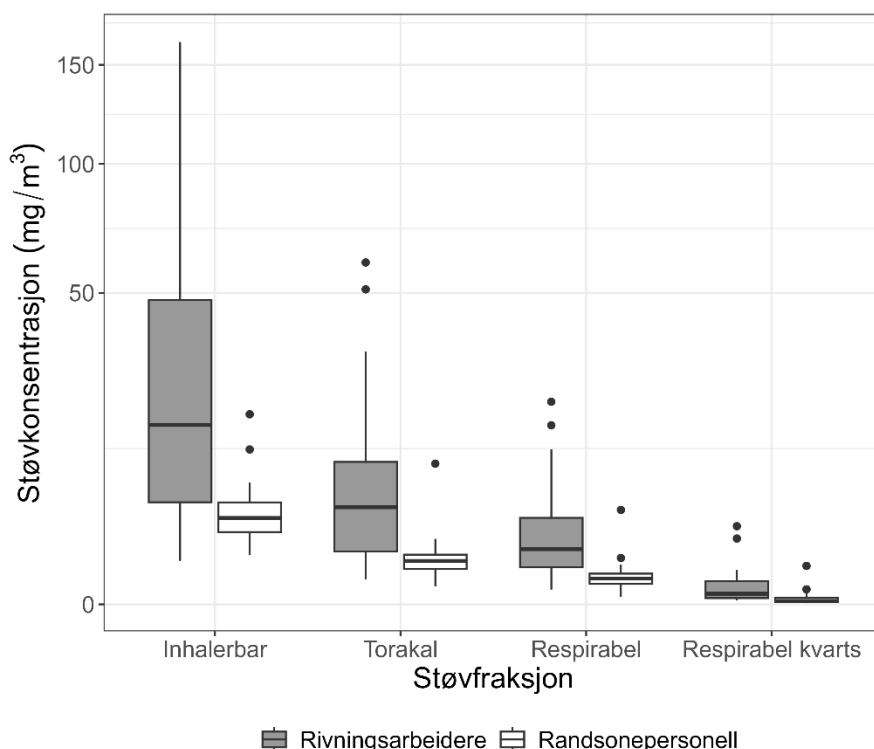


Figur 4: Støvkonsentrasjoner fordelt på arbeidsoperasjoner (a). Stiplet linje viser nåværende grenseverdi for respirabelt støv på 5 mg/m³. Kvartskonsentrasjoner fordelt på arbeidsoperasjon (b). Stiplet linje viser nåværende grenseverdi for respirabel kvarts på 0,05 mg/m³. Boksplottet deler resultatene i kvartiler. Boksens øverste kant representerer dataenes 75. percentil (Q3), mens den nedre kanten markerer 25. percentil (Q1). Den horisontale linjen i boksen viser medianen (Q2, 50 percentil). Whiskers er linjene som strekker seg fra boksen mot de ytterste datapunktene og ligger innenfor 1,5 ganger interkvartilspennet (IQR) fra Q1 og Q3. Punktene utenfor whiskers indikerer uteliggere.

I figur 5 vises de ulike støvfraksjonene, inkludert torakale og inhalerbare fraksjoner, sammen med respirabelt støv og respirabel kvarts. Boksplottet er delt opp mellom rivningsarbeidere og randsonepersonell, og resultatene er basert på 81 komplette sett der alle tre fraksjoner ble samlet.

Boksplottet indikerer høyere støvkonsentrasjoner for alle tre fraksjoner, samt for respirabel kvarts, blant rivningsarbeidere sammenlignet med randsonepersonell. Det finnes i dag ingen egne grenseverdier for støv i den inhalerbare eller torakale fraksjonen, men det eksisterer en grenseverdi for totalstøv som er satt til 10 mg/m³. Totalstøvfraksjonen er ikke helserelatert, men den ligger mellom den torakale og den inhalerbare fraksjonen. Basert på verdiene i boksplottet kan man anta at en andel av prøvene fra rivningsarbeidere vil overskride grenseverdien for totalstøv.

Resultatene fra kartlegging av støv og kvartsmålinger er publisert i *Annals of Work Exposures and Health* [24].



Figur 5: Konsentrasjon av torakal og inhalerbar fraksjon, vist sammen med de respirable støv- og kvartsfraksjonene. Denne figuren er satt sammen av de 81 fulle settene hvor alle de tre helserelaterte fraksjonene ble samlet. Boksplottet deler resultatene i kvartiler. Boksplottet deler resultatene i kvartiler. Boksens øverste kant representerer dataenes 75. percentil (Q3), mens den nedre kanten markerer 25. percentil (Q1). Den horisontale linjen i boksen viser medianen (Q2, 50 percentil). Whiskers er linjene som strekker seg fra boksen mot de ytterste datapunktene og ligger innenfor 1,5 ganger interkvartilspennet (IQR) fra Q1 og Q3. Punktene utenfor whiskers indikerer uteliggere.

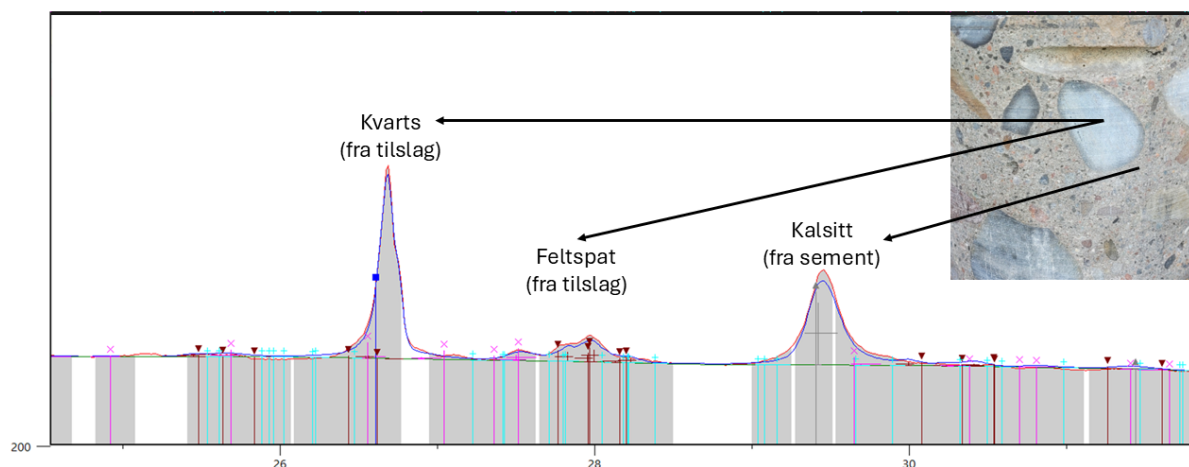
3.2 Andre mineraler i støvet

Ved hjelp av Rietveld analyse ble andre mineraler enn kvarts bestemt i støvet. Hvilke mineraler som ble funnet er avhengig av hvilke materialer det er jobbet med. Ved betongarbeid er kalsitt en av hovedkomponentene og denne ble alltid funnet. I tillegg var feltspat og glimmermineraler fra tilslagsmaterialene sand, grus og stein alltid til stede, se Figur 6. I murstein ble det også funnet hematitt.

Å bestemme andre mineraler i støvet kan være nyttig for å identifisere kilder til støvet og for å finne andre eksponeringer som kan ha en betydning for helse. I Norge finnes det en grenseverdi for glimmer på 3 mg/m^3 for respirabel fraksjon. Alle prøvene viste glimmerkonsentrasjoner som var under denne verdien.

Det er viktig å vurdere hvilke andre mineraler som finnes i støvet, da de kan påvirke analysene som utføres. Flere av de vanligste komponentene i byggestøv, som gips og feltspat, kan påvirke de tre kvartsintensitetene som benyttes i NIOSH 7500-metoden for kvantifisering av kvarts. Slike interferenser kan føre til unøyaktig kvantifisering av kvartsinnholdet. Rietveld-analyse er nyttig i denne sammenhengen, da den hjelper til med å identifisere andre mineralfaser i prøven, noe som gjør det mulig å korrigere for deres innvirkning på kvartsanalysen.

Artikkelen *Application of X-ray diffraction with Rietveld refinement to quantify mineral composition including crystalline silica in respirable dust* [25] beskriver hvordan Rietveld analyse kan brukes til å kvantifisere mineralinnhold i støvprøver.



Figur 6: Et eksempel på hvordan et diffraktogram kan se ut. Bare en del av diffraktogrammet er vist. Intensiteter fra kvarts, feltspat og kalsitt er vist. I bildet vises en betongsøyle fra et kjernebor.

3.3 Direktevisende målinger og størrelsesfordeling

De direktevisende målingene gir informasjon om partikkelstørrelser i arbeidsluften og om variasjoner i partikkelkonsentrasjoner over tid. Figurene 7a, 8a og 9a viser heldagsmålinger av partikkelkonsentrasjoner som funksjon av tid ved tre forskjellige lokasjoner. Diameteren på kurvene er aerodynamisk diameter.

I Figur 7a viser grafen partikkeltellermålinger ved pigging i betong i et tett bygg. Partikkelkonsentrasjonen var jevnt høy over dagen. Begrenset utskiftning av luft gjorde at partiklene holdt seg svevende i arbeidsluften gjennom hele arbeidsdagen. Arbeidere som oppholder seg i et slikt arbeidsmiljø, uten selv å være involvert i selve arbeidet, vil være eksponert for høye bakgrunnsnivåer av støv og kvarts.

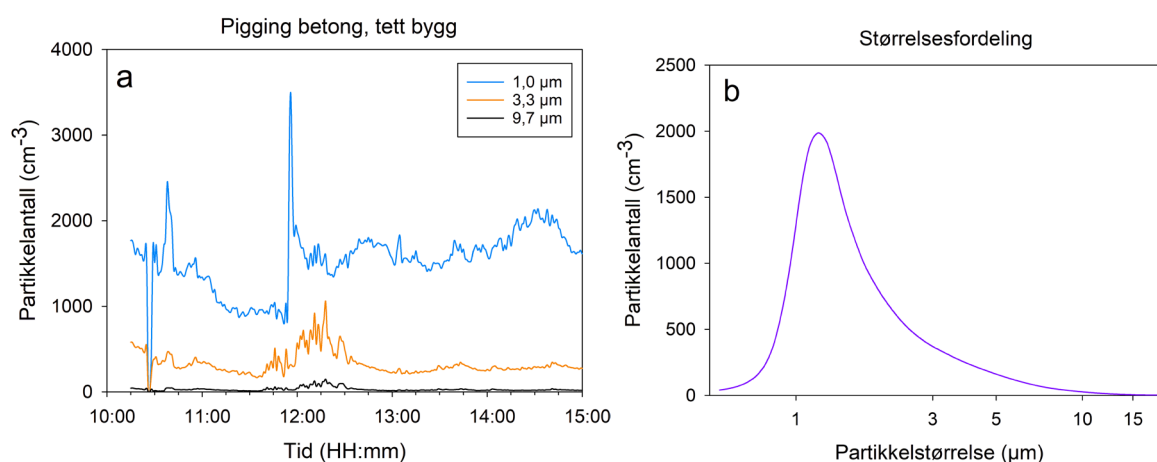
Figur 8a viser partikkeltellermålinger ved rydding av teglstein. Ryddingen av teglstein førte til oppvirvling av større partikler ($>1\ \mu\text{m}$, gul og svart linje) og konsentrasjonen av disse sank når arbeiderne tok en pause eller er når ferdig arbeidet ble ferdig. Dette skyldes sedimentering av partiklene. Partikler som har en aerodynamisk diameter på rundt $1\ \mu\text{m}$ (blå linje) kan holde seg svevende i luften lenge og har større sjanse for å spre seg til andre deler av bygget hvis de ikke fjernes effektivt.

Figur 9a viser partikkeltellermålinger under pigging og riving av en teglsteinsvegg. Ved dette tilfellet var det mer ventilasjon enn målingene vist i Figur 7a. Vinduer ble åpnet i arbeidspausene, noe som så ut til å bidra til at partikkelnivåene sank raskere, også for partikler med diameter $1\ \mu\text{m}$ (blå linje). Ved denne lokasjonen var det i tillegg en ventilasjonsvifte med tilhørende støvpose, se Figur 10.

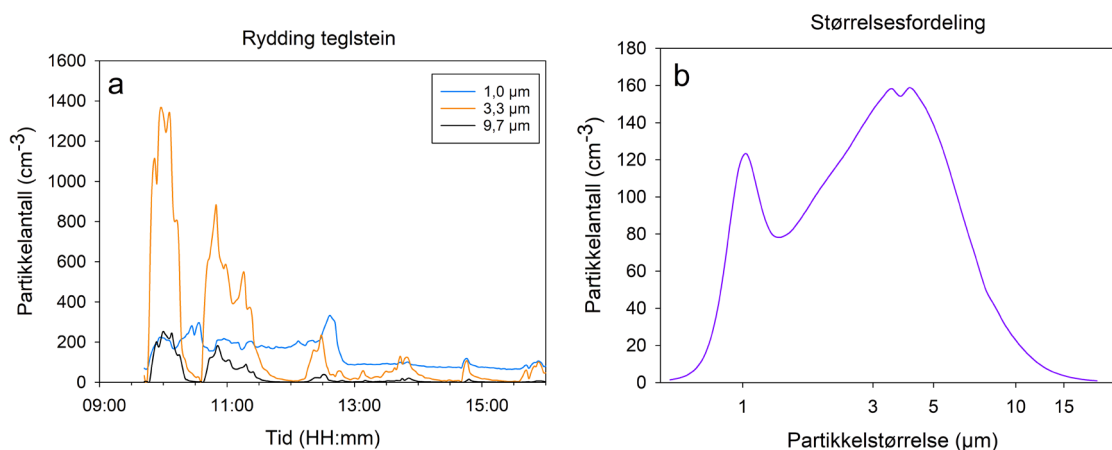
De tilhørende partikkelstørrelsesfordelingene er vist i Figur 7b, 8b og 9b. Diameteren på x-aksen er gitt som aerodynamisk diameter. Det kan være stor forskjell i hvilke partikkelstørrelser som dominerer ved forskjellige arbeidsoppgaver, for eksempel ved sammenligning av arbeid

med maskinelt verktøy som f.eks. pigging, vist i Figur 7b, med manuelt arbeid som f.eks. rydding, vist i Figur 8b. Ved pigging i betong dominerte partikler med diameter på rundt $1\text{ }\mu\text{m}$, mens ved rydding av teglstein dominerer partikler med diameter på rundt $3\text{ }\mu\text{m}$ - $5\text{ }\mu\text{m}$. I tillegg tyder partikkelstørrelsesfordelingen vist i Figur 9b på at det fantes en del grovere partikler og dette kan skyldes at piggingen og rivingen av teglstein danner større partikler enn pigging i bare betong. Det kan også ha vært mer rydding og kasting av materialer ved arbeidet vist i Figur 9b.

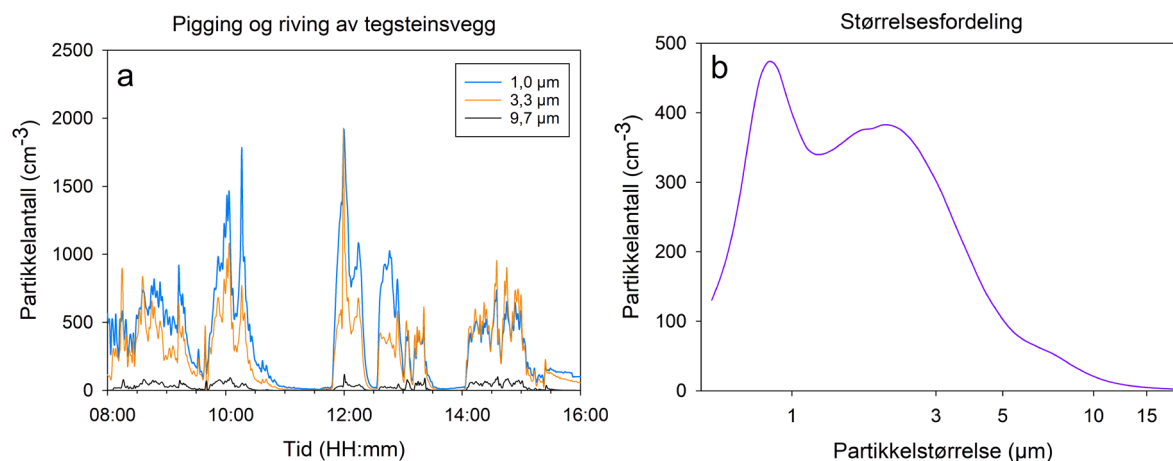
Det er også viktig å vite noe om partikkelstørrelsen på grunn av analysemetodene som brukes, men også på grunn av at støvreduserende tiltak kan være avhengig av partikkelstørrelsen. Ved bruk av vanddyser er for eksempel effekten av reduksjon avhengig av hvilken dråpestørrelse som produseres. Partikler som har en størrelse med aerodynamisk diameter $0.1 - 1\text{ }\mu\text{m}$ er de vanskeligste å binde med vann [26].



Figur 7: Pigging i betong i en garasjekjeller. Tidsvariasjon for partikkelstørrelser (a) og partikkelstørrelsesfordelingen (b).



Figur 8: Rydding og kasting av teglstein. Tidsvariasjon for partikkelstørrelser (a) og partikkelstørrelsesfordelingen (b).



Figur 9: Pigging og riving av teglsteinsvegg. Tidsvariasjon for partikkelstørrelser (a) og partikkelstørrelsesfordelingen (b).

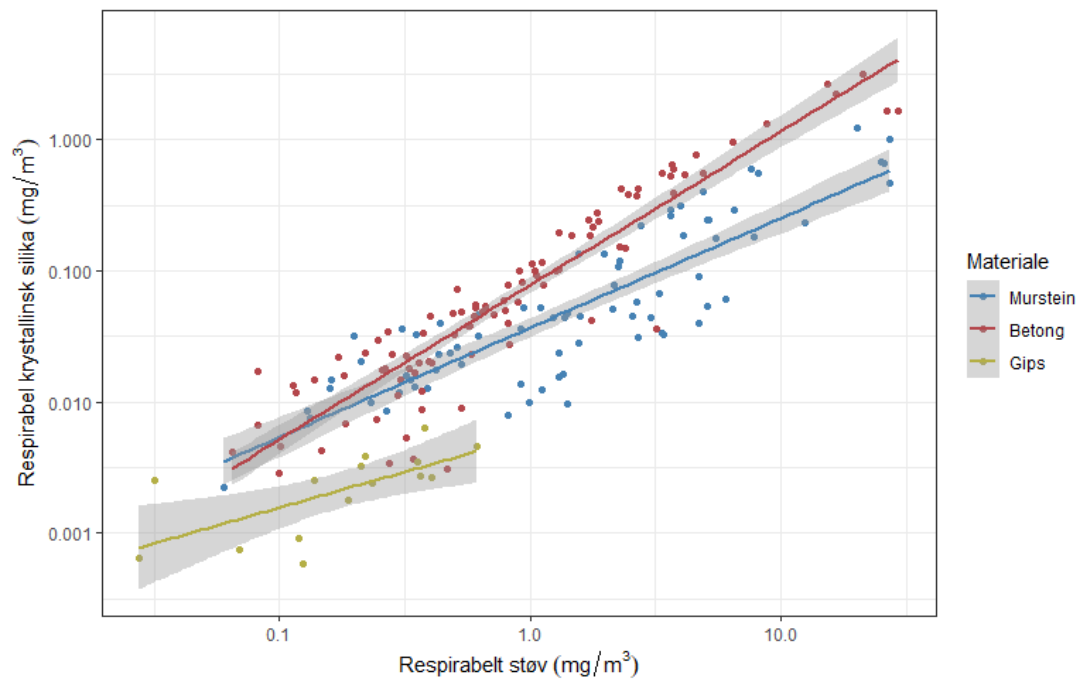


Figur 10: Ventilasjonsvifte med tilhørende støvpose. FOTO: STAMI

Figur 11 viser forholdet mellom respirabel kvarts og respirabelt støv. Det er en god sammenheng mellom respirabel kvarts og respirabelt støv for de materialene som inneholder kvarts (betong og murstein). Prosentandel kvarts i støvet fra betong og teglstein inneholdt henholdsvis 10-20% og 1-8 %.

Materialprøvene som ble knust ned og analysert for kvartsinnhold viste vektprosent av kvarts i noen tilfeller over 40%. Når det kommer til murstein inneholdt mørtelen en høyere andel kvarts enn selve mursteinen. Materialprøvene inneholdt alltid høyere andel kvarts enn støvet. Forholdet mellom kvartsinnhold i støv og material kan påvirkes av hvor mange andre materialer det arbeides med samt arbeidsavstand fra selve materialet. Arbeidere som jobber maskinelt og direkte med materialet kan være eksponert for en høyere andel kvarts enn ved rydding og kasting. Ved rydding og kasting fortynnes støvet med andre typer støv. En av grunnen til at støvprøvene inneholder lavere kvartsandel enn materialet kan være at komponentene som utgjør hydrert sement er mykere enn kvarts og kan lettere brytes til mindre partikler [10]. Å vite noe om kvartsinnhold som finnes i materialene det skal arbeides med er viktig før arbeidet starter.

I artikkelen *Characterization of dust and crystalline silica exposure during indoor demolition* diskuteres størrelsesfordelingen og støvkaraktistikkene ved fem av lokasjonene [27].



Figur 11: Respirable kvartskonsentrasjoner plottet mot respirable støvkonstrasjoner, fordelt på arbeid med tre forskjellige materialtyper.

4. Oppsummering

Eksponeringsmålingene viser at det i noen bygg blir høye støv- og kvartskonsentrasjoner ved riving- og renoveringsarbeid. Disse byggene er ofte lukkede og har begrenset naturlig og mekanisk ventilasjon. De mest støvete arbeidsoperasjonene involverer ofte arbeid med maskinelt verktøy i betong og murstein og påfølgende rydding og kasting av disse materialene.

Randsonepersonell som jobber i nærheten til støvete arbeidsoperasjoner eller i andre deler av bygget, kan være utsatt for bakgrunnskonsentrasjoner av kvarts over den gjeldende grenseverdi. Denne gruppen er ofte oversett, og de er heller ikke klar over omfanget av sin egen eksponering. Det er derfor viktig at randsonepersonell inkluderes i eksponeringskartlegginger.

Resultatene fra randsonepersonell og fra de direktevisende instrumentene viser at bakgrunnseksponering bidrar vesentlig til den totale eksponeringen ved riving- og renoveringsarbeid. Selv om støvmaske brukes under spesifikke arbeidsoppgaver kan arbeidstakere bli eksponert gjennom dagen ved at den generelle luften på arbeidsplassen er forurenset. Det er derfor viktig at støvet som dannes under de mest støvgenerende arbeidsoperasjonene fjernes effektivt. Små partikler kan holde seg svevende lenge om de ikke fjernes. I tillegg kan støv og inntørket slam på bakken bli oppvirvlet av arbeidstakere som utfører andre oppgaver. Dette understreker viktigheten av å gjennomføre heldagsmålinger i stedet for kun oppgavebaserte målinger.

I de innsamlede støvprøvene ble det også undersøkt hvilke andre mineraler som var til stede. Kunnskap om disse mineralene kan gi verdifull innsikt i støvkildene, mulige interferenser i kvartsbestemmelsen, og kan indikere tilstedeværelsen av andre potensielt helseskadelige komponenter i støvet. Rietveld-analyse ble benyttet til dette formålet.

5. Konklusjon

Dette prosjektet har vist at det er utfordringer knyttet til støv- og kvartseksponering for de som jobber med riving og renovering av bygninger. Disse utfordringene gjelder både for de som utfører rivningsarbeidet og for randsonepersonell som befinner seg i nærheten eller i andre deler av bygget. Det er spesielt viktig å sikre tilstrekkelig ventilasjon og effektiv fjerning av støv. Selv om bruk av støvmaske kan beskytte arbeidstakerne under de mest støvete arbeidsoperasjonene, vil det ikke alltid være en tilstrekkelig løsning.

Utfordringene knyttet til eksponeringskartlegginger i byggebransjen, som ble tatt opp innledningsvis i denne rapporten, understreker viktigheten av å tilegne seg kunnskap om støvnivåer i ulike arbeidssituasjoner. Dette gjør det mulig å planlegge hvilke støvreduserende tiltak som kan iverksettes i forkant av arbeidet. Det vil som oftest være behov for flere tiltak. Kunnskap og opplæring er avgjørende i arbeidet med å kontrollere støv- og kvartskonsentrasjoner i denne bransjen.

Det er viktig at bransjen i fremtiden retter mer fokus mot denne problemstillingen, også i de tidlige fasene av byggeprosjektene.

Referanser

1. *Faktabok om arbeidsmiljø og -helse*. 2025. **årgang 25** (nr. 7) Statens arbeidsmiljøinstitutt Oslo
2. IARC, *Silica dust, crystalline, in the form of quartz or cristobalite*. 2012, International Agency for Research on Cancer: Lyon, France
3. Brüske, I., et al., *Respirable quartz dust exposure and airway obstruction: a systematic review and meta-analysis*. *Occup Environ Med*, 2014. **71**(8): p. 583-9.
4. *Grunnlag for fastsettelse av grenseverdi for respirabelt krystallinsk silika, Påfølgende revisjon av direktiv 2017/2398/EU*. 2021 Arbeidstilsynet Trondheim
5. Tuomi, T., et al., *Managing Quartz Exposure in Apartment Building and Infrastructure Construction Work Tasks*. *Int J Environ Res Public Health*, 2023. **20**(8).
6. Karlsson, A. and B. Christensson, *Effektive åtgärder mot damm på byggarbetsplatser 2008* IVL Svenske Miljöinstitutet, Stockholm
7. Flanagan, M.E., et al., *Silica exposure on construction sites: results of an exposure monitoring data compilation project*. *J Occup Environ Hyg*, 2006. **3**(3): p. 144-52.
8. Sauvé, J.-F., et al., *Silica Exposure During Construction Activities: Statistical Modeling of Task-Based Measurements from the Literature*. *The Annals of Occupational Hygiene*, 2012. **57**(4): p. 432-443.
9. Antonsson, A.-B. and B. Sahlberg, *Referensmätningar för kvartsexponering vid ROT-arbeten inom byggindustri*. B 2364, 2019 IVL Svenske Miljöinstitutet, Stockholm
10. Chisholm, J., *Respirable Dust and Respirable Silica Concentrations from Construction Activities*. *Indoor and Built Environment*, 1999. **8**(2): p. 94-106.
11. Tjoe Nij, E., et al., *Dust control measures in the construction industry*. *Ann Occup Hyg*, 2003. **47**(3): p. 211-8.
12. Tjoe Nij, E., et al., *Variability in quartz exposure in the construction industry: implications for assessing exposure-response relations*. *J Occup Environ Hyg*, 2004. **1**(3): p. 191-8.
13. Meeker, J.D., et al., *Engineering control technologies to reduce occupational silica exposures in masonry cutting and tuckpointing*. *Public health reports* (Washington, D.C. : 1974), 2009. **124** (Suppl 1): p. 101-111.
14. Shepherd, S., et al., *Reducing Silica and Dust Exposures in Construction During Use of Powered Concrete-Cutting Hand Tools: Efficacy of Local Exhaust Ventilation on Hammer Drills*. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2008. **6**(1): p. 42-51.
15. Grahn, K. and Lewné, *Hur höga är kvartsnivåerna inom byggbranschen i Stockholm - en orienterande kartläggning 2016-2017* 2017 Centrum för arbets-och miljömedicin
16. Thorpe, A., et al., *Measurements of the effectiveness of dust control on cut-off saws used in the construction industry*. *The Annals of Occupational Hygiene*, 1999. **43**(7): p. 443-456.
17. Riala, R., *Dust and quartz exposure of finnish construction site cleaners*. *The Annals of Occupational Hygiene*, 1988. **32**(2): p. 215-220.
18. Kirkeskov, L., D.J.A. Hanskov, and C. Brauer, *Total and respirable dust exposures among carpenters and demolition workers during indoor work in Denmark*. *Journal of occupational medicine and toxicology* (London, England), 2016. **11**: p. 45-45.
19. Beaudry, C., et al., *Occupational exposure to silica in construction workers: a literature-based exposure database*. *J Occup Environ Hyg*, 2013. **10**(2): p. 71-7.
20. IRSST, *Exposure of Construction Workers to Crystalline Silica: Review and Analysis*. 2011, Canada
21. Stacey, P., *A study to assess the performance of an "X-ray powder diffraction with Rietveld" approach for measuring the crystalline and amorphous components of inhalable dust collected on aerosol sampling filters*. *Powder Diffraction*, 2019. **34**(3): p. 251-259.

22. Stacey, P., A. Simpson, and S. Hambling, *The Measurement of Wood in Construction Dust Samples: A Furnace Based Thermal Gravimetric Approach*. Annals of Work Exposures and Health, 2019. **63**(9): p. 1070-1080.
23. *NIOSH method 7500, Silica, crystalline, by XRD (filter redeposition)* 2003, NIOSH Manual of Analytical Methods NMAM.: Cincinnati, OH, USA.
24. Halvorsen, J.Ø., et al., *Measurements of dust and respirable crystalline silica during indoor demolition and renovation*. Annals of Work Exposures and Health, 2024. **69**(1): p. 48-58.
25. Halvorsen, J.Ø., et al., *Application of X-ray diffraction with Rietveld refinement to quantify mineral composition including crystalline silica in respirable dust*. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2025. **22**(4): p. 248-258.
26. Olsson, P.Q. and R.L. Benner, *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change By John H. Seinfeld (California Institute of Technology) and Spyros N. Pandis (Carnegie Mellon University)*. Wiley-VCH: New York. 1997. \$89.95. xxvii + 1326 pp. ISBN 0-471-17815-2. Journal of the American Chemical Society, 1999. **121**(6): p. 1423-1423.
27. Halvorsen, J.Ø., et al., *Characterization of dust and crystalline silica exposure during indoor demolition*. Annals of Work Exposures and Health, 2025. **69**(6): p. 641-651.

