

# STAMI-rapport

## Minimering av støv og vibrasjoner

Prosjekt i IA-bransjeprogram for bygg og anlegg:

Utvikling og testing av tekniske løsninger som reduserer helseskadelig kvartsstøv og vibrasjoner ved fjellboring

Thomas Clemm<sup>1</sup>

Hans Lindell<sup>2</sup>

Karl Christian Nordby<sup>1</sup>

1) STAMI

2) RISE, Research Institute of Sweden



inkluderende arbeidsliv  
Bransjeprogram for bygg og anlegg

**STAMI**

**Sitering av rapporten:**

*STAMI* (2025). Minimering av støv og vibrasjoner. STAMI-rapport, årgang 26, nr. 3, Oslo: Statens arbeidsmiljøinstitutt

**Rapporten kan lastes ned fra [stami.no](https://stami.no)**

Denne rapporten er skrevet av  
Thomas Clemm, STAMI; Hans Lindell, RISE; Karl-Christian Nordby, STAMI

Det redaksjonelle arbeidet ble avsluttet  
[21.02.2025]  
Serie: STAMI-rapport  
Nr. [3], Årgang [26] (2025).  
Dato: 21.februar 2025

Arbeidsmedisin og epidemiologi  
Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI)  
Postboks 5330 Majorstuen  
0304 Oslo

ISSN nr. 1502–0932

## FORORD

Minimering av støv og vibrasjoner er et utviklingsprosjekt som er blitt til i samarbeid mellom STAMI, Rise Institute og entreprenørene Mesta AS, Nordisk fjellsikring, Stetind entreprenør, Linja AS og BKK. Statens vegvesen, BaneNor og Statnett har bidratt som deltakere i referansegruppen.

Prosjektet har mottatt bidragsfinansiering fra IA bransjeprogram for bygg og anlegg.

Takk til alle arbeidstakerne i ovennevnte entreprenører som har testet ut prototyper på dempeutstyr og bidratt med evalueringer.

Februar 2025

Thomas Clemm

## Innhold

---

<b>1. SAMMENDRAG</b> .....	<b>4</b>
<b>2. BAKGRUNN</b> .....	<b>4</b>
<b>3. MÅL</b> .....	<b>7</b>
<b>4. METODE</b> .....	<b>7</b>
<b>5. ETISKE ASPEKTER</b> .....	<b>9</b>
<b>6. BUDSJETT OG FINANSIERING</b> .....	<b>9</b>
<b>7. RESULTATER</b> .....	<b>10</b>
7.1 <i>OMFORENTE LØSNINGER MELLOM</i> .....	<i>10</i>
<i>BYGGHERRE OG ENTREPRENØR</i> .....	<i>10</i>
7.2 <i>UTVIKLING AV TEKNISKE LØSNINGER</i> .....	<i>10</i>
7.2.1 <i>Støvsuger</i> .....	<i>11</i>
7.2.2 <i>Dempehåndtak</i> .....	<i>12</i>
7.2.3 <i>Dempehåndtak til Atlas Copco BBC16</i> .....	<i>13</i>
<i>knematerbor</i> .....	<i>13</i>
7.2.4 <i>Dempehåndtak til Montabert T18 og T21</i> .....	<i>13</i>
7.2.5 <i>Dempelodd</i> .....	<i>14</i>
7.2.6 <i>Fjærdemper til håndjekk</i> .....	<i>14</i>
7.3 <i>RESULTATER, MÅLINGER AV DEMPEEFFEKT</i> .....	<i>15</i>
7.3.1 <i>Montabert T18</i> .....	<i>16</i>
7.3.2 <i>Atlas Copco BBC 16 knematerbor</i> .....	<i>18</i>
7.3.3 <i>Atlas Copco SRD 25</i> .....	<i>19</i>
7.3.4 <i>Montabert T21 helskiftmålinger</i> .....	<i>20</i>
7.4 <i>EVALUERINGER FRA ARBEIDSTAKERE</i> .....	<i>21</i>
7.5 <i>KOMMERSIALISERING AV PROTOTYPER</i> .....	<i>22</i>
<b>8. DISKUSJON</b> .....	<b>24</b>
<b>9. REFERANSER</b> .....	<b>26</b>
<b>10. APPENDIX 1</b> .....	<b>28</b>

---

# 1. SAMMENDRAG

---

Mekaniske vibrasjoner og kvartsstøv som oppstår i forbindelse med fjellboring kan føre til yrkessykdom i hendene og lungene. Prosjektet «Minimering av støv og vibrasjoner» har hatt som mål å videreutvikle og evaluere tekniske løsninger for å redusere eksponeringen for kvartsstøv og mekaniske vibrasjoner ved fjellboring. De tekniske løsningene ble utviklet i fase 1 av prosjektet og i dette prosjektet (fase 2) er løsningene forbedret i samarbeid med byggherrer, entreprenører og brukere og tilpasset deres krav. Å legge til rette for kommersialisering av utstyret var en viktig målsetting. Arbeidet er et samarbeid mellom Statens Arbeidsmiljøinstitutt (STAMI), RISE Institute, og flere entreprenører og byggherrer. Prosjektet er finansiert av IA-bransjeprogram for bygg og anlegg.

Gjennom prosjektet ble det utviklet og testet flere prototyper, inkludert vibrasjonsdempende håndtak, fjærdempere, vektlodd med integrert demping og en spesialtilpasset støvsuger for fjellbor. Målinger viste at vibrasjonsnivået ble redusert med 50–80 %, og at støvsugeren effektivt ledet steinstøv bort fra arbeidstakernes pustesone. Dette bidrar til å redusere risikoen for yrkessykdommer som hånd-arm vibrasjonssyndrom (HAVS) og lungesykdommer forårsaket av kvartsstøv.

Tilbakemeldinger fra arbeidstakere som testet utstyret var overveiende positive. Samtlige opplevde redusert vibrasjonsnivå, og flertallet rapporterte om mindre støv i pustesonen. Noen opplevde at det krevde tilvenning og justering av arbeidsteknikk, men de fleste ønsket å fortsette å bruke utstyret.

Prototypene har blitt kommersialisert gjennom TM Verkstad, Glose 820, 442 73 Kärna, Sverige. Verktøyprodusenter vurderer videreutvikling av teknologien, inkludert implementering av avansert demping i nye borhammerdesign. Prosjektet har også bidratt til økt bevissthet blant byggherrer og entreprenører, og det pågår initiativ for å innlemme krav til støv- og vibrasjonsdemping i anbudsprosesser.

På lengre sikt kan tiltakene bidra til redusert sykefravær, færre tilfeller av yrkessykdom, mindre belastningsskader og et tryggere arbeidsmiljø i bygg- og anleggsbransjen.

## 2. BAKGRUNN

---

Dette prosjektet har hatt fokus på to ulike typer helseskadelige eksponeringer som oppstår ved boring eller meisling i fjell og betong: Mekaniske vibrasjoner og kvartsstøv. Prosjektet bygger på utviklingsarbeidet som ble gjort i fase 1 av dette prosjektet («Ingen dårlige vibber, vibrasjons-eksponering i bygg og anleggsbransjen») som ble slutført i 2023 (19).

### Mekaniske vibrasjoner

De fleste kraftdrevne verktøy genererer mekaniske vibrasjoner under bruk, som overføres til fingrene og hendene til operatøren. Dette kan gi stor fysisk belastning på blodårer og nerver og medfører risiko for å pådra seg plager i fingre, hender og armer og i noen tilfeller sykdom forenlig med yrkessykdommen hånd-arm vibrasjonssyndrom (HAVS)[1-10]. Mer enn en

fjerdedel av bygg og anleggsarbeidere i Norge opplyser at de er utsatt for vibrasjoner og mineralstøv minst ¼ av arbeidsdagen [17] og anslagsvis 15 000 arbeidstakere er eksponert for kraftige vibrasjoner fra trykkluftboring [18].

I Norge er det blitt avdekket at halvparten av arbeiderne som fikk diagnosen HAVS falt tidlig ut av arbeidslivet; og blant dem som hadde jobbet i bygg og anlegg var andelen over 60% (studie fra 2014) [11]. I perioden 2010-2023 har antallet utredninger for HAVS vært stigende i Norge, og hånd-arm vibrasjoner var i 2023 den nest vanligste eksponeringsfaktoren ved utredning av mistenkt yrkesrelatert sykdom ved de arbeidsmedisinske avdelingene i Norge. En gruppe arbeidstakere som er spesielt utsatt, er de som jobber med håndholdte eller håndstyrte bormaskiner og meiselhammere, som blant annet benyttes i forbindelse med fjellsikring, fjellsprengning, kraftutbygging og betongarbeid. Studier viser at arbeidstakere som jobber med sikring av fjell i Norge er utsatt for høy vibrasjonseksponering (målinger utført i perioden 2012-2018) [15]. Liknende bormaskiner brukes av kraftutbyggere i forbindelse med montering av høyspentmaster, og av entreprenører i forbindelse med betongarbeid og grunnarbeid. Tiltaks og grenseverdi for daglig vibrasjonsnivå er lovbestemt i Norge (og EU) til henholdsvis 2,5 m/s<sup>2</sup>A8 og 5 m/s<sup>2</sup>. Ved bruk av håndstyrte fjellbor kan det være stor risiko for at både tiltaks og grenseverdier overskrides.

Automatisering av arbeidsoppgaver er i mange tilfeller et foretrukket tiltak for å spare arbeidstakere for skadelige eksponeringer. Dette er imidlertid ikke mulig å gjennomføre for alle arbeidsoppgaver blant annet fordi arbeidet kan foregå i områder som er utenfor rekkevidde av mobilkran eller fjernstyrte borerigger som for eksempel ved:

- Kraftutbygging
- Sprengningsarbeid
- Fjellsikring

#### Kvartsstøv

Det er godt kjent at eksponering for kvarts kan føre til lungesykdom som KOLS, silikose og lungekreft. Når man borer eller meisler i fjell og betong så produseres steinstøv som ofte har høyt innhold av kvarts. Eksponeringer over maks tillatt nivå (grenseverdi) forekommer [14]. Kvartsinnhold i fjell kan variere mye, og andelen kvarts i fjell som bearbeides har ofte mer å si for helsefaren enn den totale mengden steinstøv som arbeidstakerne eksponeres for. Dette betyr at relativt lave nivåer av steinstøv i luften kan likevel medføre høy helserisiko hvis andelen kvartsstøv er høy. I STAMI Rapport 3/2014: «Støveksponering ved bergboring i dagen» ble det avdekket at arbeidstakere som ikke er i umiddelbar nærhet til selve bore-aktiviteten også risikerer å være høyt eksponert. En studie publisert i 2020 viste at norske arbeidstakere som jobbet med boremaskiner på anlegg i friluft hadde nedsatt lungefunksjon og tegn på økt risiko for alvorlig lungesykdom [16]. I 2022 ble grenseverdien for kvarts som gjelder i Norge og EU halvert fra 0,1 mg/m<sup>3</sup> til 0,05 mg/m<sup>3</sup>. Kvartsstøv er en arbeidsmiljøfaktor som er svært utbredt innen bygg og anlegg, og så mange som anslagsvis 50 000 arbeidstakere er eksponert for mineralstøv som kan inneholde kvarts [17].

Arbeidstakere innen bygg og anlegg behøver ikke å bli eksponert for skadelige nivåer av kvartsstøv eller vibrasjoner. Nye metoder og ny teknologi kan bidra til stor reduksjon av disse eksponeringene.

#### Forbedring av prototyper utviklet i fase 1 av prosjektet

Som en del av prosjektet i IA-programmet: «Ingen dårlige vibber» (19) ble det utviklet prototyper på eksterne dempemekanismer som kan koples til eksisterende fjellbor. Under kontrollerte målinger oppnådde man dempeeffekter på 50 – 80 %. Når utstyret ble testet av arbeidstakere

så det også ut til å fungere effektivt, men det var utfordringer knyttet til ergonomi og konstruksjonen tålte ikke i tilfredsstillende grad påkjenningsene fra et fjellbor i drift. I løpet av dette prosjektet ble det også utviklet en prototype på en liten passiv (ikke kraftdrevet) støvsuger tilpasset fjellbor. Denne støvsugeren ga lovende resultater ved å effektivt lede støvet bort fra pustesonen til arbeidstakeren, men konstruksjonen var sårbar for skader ved mekaniske påkjenninger. Fase 1 av prosjektet viste altså at prinsippene bak dempemekanismene for vibrasjoner og steinstøv fungerte svært bra. I dette prosjektet var det en målsetting å vise at prototypene kan fungere i solide konstruksjoner som tåler de harde belastningene ute på en anleggsplass.

For å videreutvikle prototypene kreves testing av utstyret ute på anlegg under ordinære arbeidsforhold av arbeidstakere som har god erfaring med å benytte fjellbor. En systematisk evaluering av utstyret utført av arbeidstakerne var viktig for å vurdere om utstyret kan fungere i praksis, og om arbeidstakerne opplever at det er mindre vibrasjoner, mindre støv og mer komfortabelt å jobbe. En bedre dokumentasjon av effekt, samt tilbakemeldinger fra arbeidstakere (brukere) kan bidra til å øke oppmerksomheten og viljen blant entreprenørene til å investere i slikt utstyr. Det vil kunne legge til rette for kommersialisering av dempeutstyr.

#### Involvering av byggherre og leverandør

Involvering av både byggherresiden og leverandørsiden kan legge et godt grunnlag for at det skapes et marked for utstyr som tar bort store deler av disse skadelige arbeidsmiljøeksponeringene.

«Forskrift om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser» (byggherreforskriften) er en sentral forskrift som skal påvirke samhandlingen mellom byggherre og entreprenør. Risikoforhold skal inngå i tilbudsgrunnlaget til entreprenøren (§6) og byggherren skal sørge for at det utarbeides en plan (SHA-plan) for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø før arbeidet igangsettes (§7). I forskriften er det blant annet krav om en beskrivelse av de spesifikke tiltakene som er nødvendige for å redusere fare for liv og helse forbundet med «arbeid som innebærer fare for helseskadelig eksponering for støv, gass, støy eller vibrasjoner» (§8 c pkt.13).

Ved risiko for støveksposering og vibrasjonseksposering skal det på prosjekteringsstadiet utarbeides planer for å fjerne eller redusere risikoforholdene (§5 b). Det kan være beskrivelser av maskiner eller tekniske løsninger som reduserer eksponeringen. Bakgrunnen kan for eksempel være målte nivåer av kvarts i fjellet, eller vurderinger av fjellets beskaffenhet med bakgrunn i geologiske rapporter. Dette er forhold som kan påvirke nivået av kvartsstøv og mekaniske vibrasjoner som genereres under arbeidet. Utførende entreprenør vil alltid ha et selvstendig ansvar for egne arbeidstakere og deres arbeidsmiljø under utførelsen av selve arbeidet. I «Forskrift om utførelse av arbeid» er dette ansvaret spesifisert for en rekke ulike arbeidsoperasjoner. Det betyr blant annet at lovbestemte grenseverdier knyttet til kvartsstøv og mekaniske vibrasjoner må overholdes. Byggherren har altså et ansvar for å kartlegge risikoforholdene og planlegge tiltak i en tidlig fase. Resultatene av kartleggingen og identifiserte tiltak skal inngå i tilbudsdokumentene. Utførende entreprenør har et hovedansvar for helse miljø og sikkerhet under selve utførelsen av arbeidet.

Hvis byggherren kan legge føringer for hva slags utstyr som kan brukes så vil dette sikre rettferdig konkurranse mellom seriøse aktører, og det kan også bidra til å øke etterspørselen etter dempeutstyr som IA-prosjektet har vist kan være svært effektive. Dette vil øke sannsynligheten for at leverandører blir tilbydere av slikt utstyr slik at tilgjengeligheten blir bedre.

En slik spesifisering av tekniske løsninger kan bidra til en bedre arbeidshverdag, trygghet mot helseskade og dermed også større stabilitet og mindre turnover i arbeidsstyrken.

## 3. MÅL

---

Generelle mål med både fase 1 og fase 2 av prosjektet var å bidra med kunnskap og løsninger som kan være med på å redusere sykefravær og frafall blant arbeidstakere i bygg og anleggsbransjen som arbeider med støvgenererende og vibrerende verktøy ved å:

- Øke kunnskap hos byggherrer, entreprenører og arbeidstakere om helserisiko knyttet til støveksposering og vibrasjonseksposering som oppstår ved boring i fjell
- Spre kunnskap som viser at eksponering for støv og vibrasjoner ved boring i fjell eller betong er en unødvendig helserisiko
- Bidra med nye enkle tekniske løsninger som reduserer eksponering for støv og vibrasjoner til godt under grenseverdi for kvartsstøv og tiltaksverdi for mekaniske vibrasjoner.
- Bidra med økt kunnskap til forskningsfeltet og verktøysprodusenter ved å dokumentere effekter av vibrasjonsreducerende tiltak.
- Bidra til omforente løsninger mellom byggherre og entreprenører som fører til redusert eksponering for støv og vibrasjoner.

De konkrete målsettingene for fase 2 av prosjektet var å:

- Videreutvikle støvsugerløsning tilpasset pneumatiske fjellbor montert på arbeidsplattform (Hybeco)
- Videreutvikle vektlodd med integrert demping og håndtak til bruk ved håndholdt vertikalboring
- Måle og kvantifisere effekten bruk av dempeutstyr har på det daglige vibrasjonsnivået. Dette gjøres blant annet med personlige dosimetre som logger eksponeringstid over flere arbeidsskift
- Videreutvikle prototyper på dempehåndtak utviklet i fase 1 av prosjektet slik at det kan tåle flere års bruk på anleggsplassen
- Kartlegge brukererfaringer og opplevd effekt på helse blant arbeiderne som benytter dempemekanismene for støv og vibrasjoner under ordinært arbeid
- Legge til rette for at det utviklede dempeutstyret for støv og vibrasjoner blir kommersielt tilgjengelig for entreprenørene

## 4. METODE

---

### Planlegging og oppfølging av aktiviteter

En arbeidsgruppe bestående av Thomas Clemm (Statens Arbeidsmiljøinstitutt og Mesta AS), Karl-Christian Nordby (Statens Arbeidsmiljøinstitutt), Hans Lindell (Rise Institute) og representanter for Mesta AS, Linja AS, BKK, Stetind Entreprenør AS og Nordisk Fjellsikring har samarbeidet om utvikling og testing av prototyper på dempemekanismer. I referansegruppen har byggherresiden vært representert med Statens Vegvesen, Bane Nor, Statnett og Oslo Kommune, Arbeidstilsynet og leverandører av anleggsutstyr: Oslo trykkluft og Terox. IA bransje-programmet ved Knut Aaneland har også vært representert i referansegruppen. Gruppen har blitt informert og kommet med innspill i møter underveis i prosjektet.



### Teknisk utvikling

Alle laboratoriemålinger og teknisk utviklingsarbeid ble utført i Sverige av RISE under ledelse av Hans Lindell. Prototyper på nytt dempeutstyr ble utviklet på bakgrunn av innspill fra entreprenører og ble designet ved hjelp av 3D modellering. Komponentene til prototypene er satt sammen av kommersielt tilgjengelige standardkomponenter samt en del spesialtilpassede metalleder produsert ved TM Verksted i Sverige; i tillegg er enkelte deler 3-D printet i komposittmateriale på RISE i Sverige. Det ble utført laboratorietester av styrke, funksjon og dempeeffekt før utstyret ble testet ut på arbeidsplassen.

### Testing av utstyr og målinger ute på arbeidsplassen

Det ble av praktiske årsaker gjort kvasi-eksperimentelle målinger av vibrasjoner ute på arbeidsplassen. Det betyr at det ble foretatt målinger av dempeutstyr når det ble brukt av arbeidstakere under bore-aktiviteter som tilsvarte ordinære arbeidsoperasjoner. Målesensorene var koplet til måleapparatet via kabler, og måleapparatet var koplet til en bærbar PC. Et slikt oppsett er for skjørt til å benyttes utendørs under helt ordinære arbeidsbetingelser. Måleinstrumentene som ble benyttet oppfyller kravene i instrumentstandarden ISO 8041-1/2 [12]. Alle målte vibrasjoner er oppgitt i  $m/s^2$  med frekvensveiekurve  $W_h$  og tidsveking i henhold til ISO Standard 5349-1 [13]. Målingene er utført med tri-akselerometer av typen PCB 356A04 PCB Piezotronics, 3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043-2495, USA). Akselerometrene ble festet med spesialkitt og industritape så nær gripesonen som mulig på verktøyenes håndtak. Det ble gjort simultane målinger på dempehåndtak, og på udempet område av konstruksjonen for å vurdere dempeeffekt. Måleperiodene varierte stort sett mellom 1 – 2 minutter og måleresultatene er oppgitt med hele målebredde innenfor 80 percentilverdi. Dette er gjort for å synliggjøre den store variasjonen under en boreoperasjon. Datainnsamling ble gjort med Compactdac mod. 9234 fra National Instruments (11500 N Mopac Expwy Austin, TX 78759-3504, USA), og analyse ble utført i LabView software, National Instruments.

### Målinger av hele arbeidsskift under ordinært arbeid

For måling av vibrasjonseksposering over hele arbeidsskift ble måleutstyret R-link benyttet (Reactec Ltd, Vantage Point, 3 Cultins Rd, Edinburgh, EH11 4DF UK). R-link er personlig måleutstyr som måler personlig eksponering over hele arbeidsskift og kommuniserer trådløst via 2G-nettet slik at all data lastes automatisk opp til en analyseplattform. Akselerometeret i R-link er festet med armbånd som bæres rundt handledet som en klokke. Det betyr at målingene ikke gjøres i kontaktflaten mellom fingre/hånd og det vibrerende utstyret. Derfor tilfredsstillers ikke utstyret ISO 8041-1/2 eller metoden beskrevet i ISO 5349-1. Fordelen med dette utstyret er at det er enkelt å måle/overvåke vibrasjoner over hele arbeidsskift uten at måleutstyret forstyrrer eller kommer i veien for arbeidet.

Målesystemet R-Link har ingen loggefunksjon som viser variabiliteten, men man får gjennomsnittlig måleverdi i tillegg til eksponeringstid (triggertid) for hele arbeidsskift. Det ble gjort forsøk på sammenliknende målinger mellom R-link og det standardiserte måleutstyret for å få mer kunnskap om usikkerhet knyttet til metoden. Dette ble imidlertid ikke fullført etter planen på grunn av manglende informasjon fra Reactec om virkemåte og overføringsfunksjoner som er bygget inn i R-link.

### Evaluerings av utstyr

Det ble utarbeidet spørreskjemaer (Annex 1) i samarbeid med deltakende bedrifter og arbeidstakere for å sørge for at de som er eksponert for kvartsstøv og vibrasjoner kunne gi individuelle tilbakemeldinger, påvirke og bistå i utviklingsprosessen. Skjemaene ble formidlet både i papirform og digital versjon, etter ønske fra entreprenørene

## 5. ETISKE ASPEKTER

Deltakelse i prosjektet var frivillig. Deltakere ble informert om formålet med prosjektet og innhenting av tilbakemeldinger ble gjort ved hjelp av spørreskjema. Prosjektet inneholder ingen personidentifiserende informasjon og håndterer ingen helseopplysninger.

## 6. BUDSJETT OG FINANSIERING

Prosjektet mottok prosjektmidler fra IA-bransjeprogrammet for bygg og anlegg på kr. 2 800 000. Totale kostnader for prosjektet var beregnet til kr. 6 158 000,- En stor del av kostnadene var knyttet opp mot deltakende bedrifters interne kostnader; hovedsakelig i forbindelse med testing og bruk av nytt modifisert utstyr.

post	Budsjett	Delsum 2023	Delsum 2024	Totalt
1	Støvsuger til pneumatisk fjellbor på arbeidsplattform (Hybeco): Prototypeutvikling	200 000	200 000	400 000
2	Støvsuger til pneumatiske fjellbor på arbeidsplattform (Hybeco): Tilvirkning av fem eksemplarer som testes ut i bedriftene		150 000	150 000
3	Videreutvikling/innkjøp/produksjon av 20 sett med dempehåndtak, fjærdemper + støvsuger til håndjekkbor til uttesting	600 000		600 000
4	Videreutvikling/innkjøp/produksjon av 10 sett med dempehåndtak til knematerbor	150 000		150 000
5	Vektlodd med dempehåndtak og integrert demping: Prototypeutvikling	150 000	50 000	200 000
6	Vektlodd med dempehåndtak og integrert demping: Tilvirkning av 10 eksemplarer som testes ut i bedriftene		50 000	50 000
7	Yrkeshygieniske målinger av dempeeffekt ute på anlegg	50 000	200 000	250 000
8	Måleutstyr	400 000		400 000
9	Prosjektkoordinator	150 000	450 000	600 000
10	Interne kostnader for deltakende bedrifter	750 000	2 608 000	3 358 000
	<b>Totalt</b>	<b>2 450 000</b>	<b>3 708 000</b>	<b>6 158 000</b>

## 7. RESULTATER

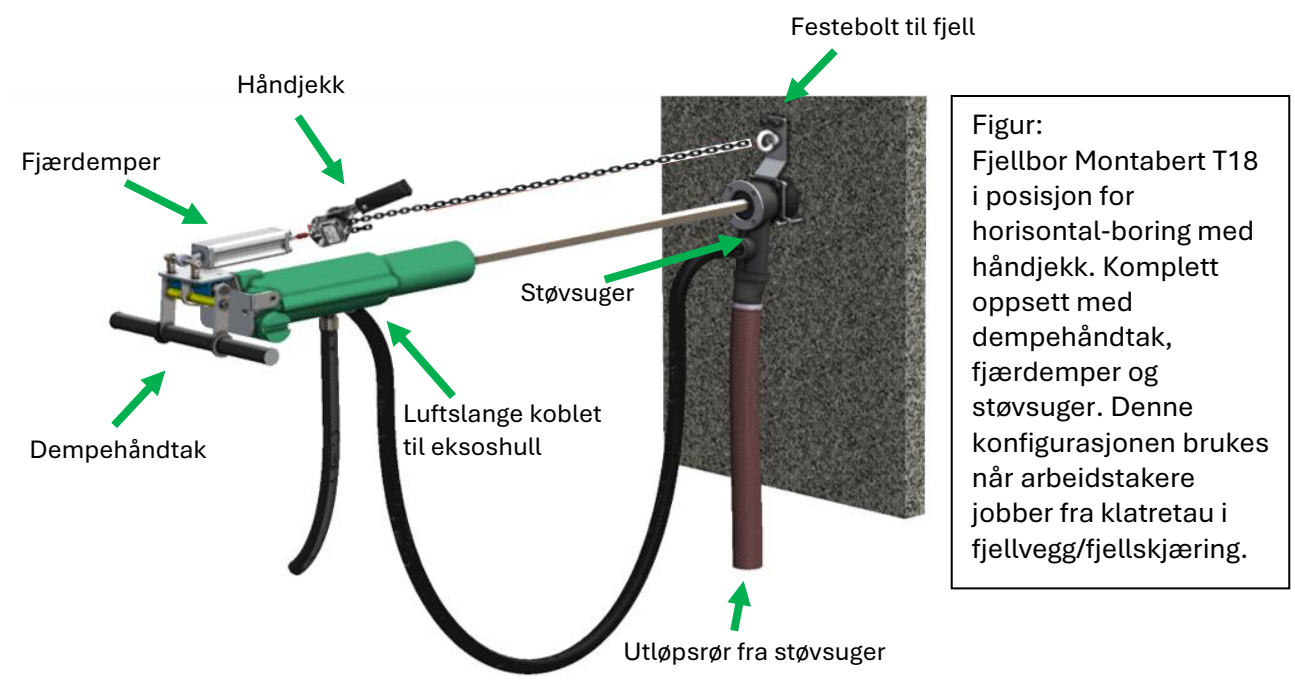
### 7.1 OMFORENTE LØSNINGER MELLOM BYGGHERRE OG ENTREPRENØR

Byggherrer (Statens Vegvesen, BaneNor, Statkraft og Oslo Kommune) har deltatt på prosjektmøter og bidratt med innspill til prosjektet. Prosjektet har hatt som en målsetting å gjøre byggherrens tiltaksplanlegging i en tidlig fase enklere og mer målrettet. Prosjektet har gitt både entreprenørene og byggherrene kunnskap om utfordringer knyttet til støv og vibrasjonseksposering i bygg og anleggsbransjen og samtidig bidratt til å belyse aktuelle tiltak som byggherren kan vurdere å implementere som kravspesifikasjoner i en anbudsprosess. Det har også gitt entreprenøren en større verktøykasse med tiltak som kan redusere eksponeringene.

Det er startet et samarbeidsprosjekt mellom IA-Bransjeprogrammet for Bygg og anlegg, STAMI og de store byggherrene (Statens Vegvesen, BaneNor, Nye Veier og Statkraft) for utvikling av en egen byggherreveileder for å redusere kvartseksponering på arbeidsplassen. Prosjektet er pågående per februar 2025.

På «Fjellsikringsdagen» arrangert av EBA den 19. november 2024 ble det informert om prosjektet «Minimering av støv og vibrasjoner» overfor entreprenører og byggherrer. I kjølvannet av denne konferansen har Fjellsikringsutvalget gitt uttrykk for at risiko og tiltak knyttet til støv og vibrasjoner kommer til å følges tett opp fremover. En representant fra prosjektgruppen er invitert til å delta på møter i fjellsikringsutvalget fremover for å bistå i prosessen.

### 7.2 UTVIKLING AV TEKNISKE LØSNINGER



## 7.2.1 Støvsuger

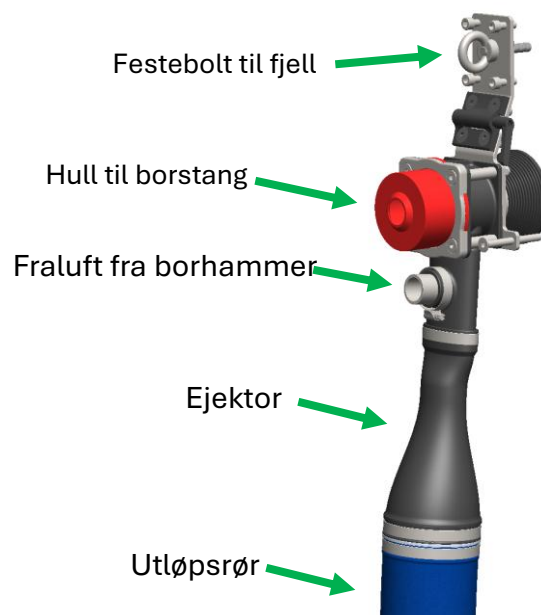
En del anleggsplasser i tilknytning til montering av kraftmaster eller sikring av høye fjellvegger har en beliggenhet som gjør det tungvint å benytte støvsugere med ekstern kraftforsyning. For eksempel ved fjellsikringsarbeid der arbeidstakerne må arbeide i klatretau, er det svært utfordrende å få kontroll over kvartseksposeringen.

Dette var bakgrunnen for utvikling av en liten og lett «passiv» støvsuger som benytter samme kraftkilde og lufttilførsel som det pneumatisk fjellboret. Når arbeidstakeren arbeider fra klatretau og sikrer fjell i en vertikal fjellvegg, benyttes en håndjekk til å jekke borstangen inn i fjellet. Kjetting eller tau til håndjekken festes da med en ekspansjonsbolt som bores fast i fjellet før selve boringen kan begynne.

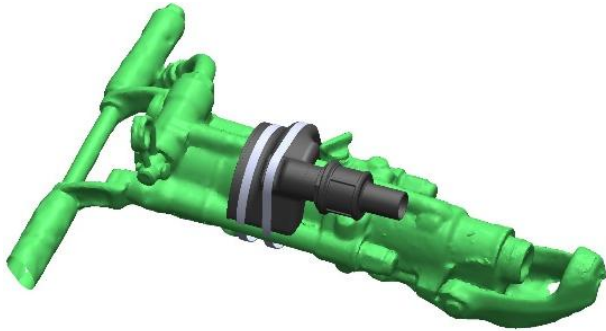
Støvsugeren er koplet med luftslange til eksoshullet (fra-luften) på borhammeren og hektes på ekspansjonsbolten. Fra-luften fra borhammeren ledes inn i en kåpe og belg som tetter rundt borehullet, og ledes videre i en to meter lang slange som henger vertikalt ned fra borehullet. Luftstrømmen som ledes forbi borehullet skaper et undertrykk under boringen som suger ut steinstøvet og leder det vekk fra arbeidstaker og reduserer på den måten eksponeringen. Ytterligere fordeler er en reduksjon av eksponering for oljetåke som skapes av maskinolje som følger trykkluften samt en viss reduksjon av lydnivå.

Ved horisontal boring gjøres startforløpet mer ergonomisk fordi borkronen støttes opp av støvsugeren inntil det er boret en grop/hull i fjellet som omslutter borstangen. I denne fasen er det vanlig at operatøren må styre selve borstangen med hånden noe som leder til veldig høy vibrasjonseksponering. Denne eksponeringen vil følgelig også reduseres ved hjelp av støvsugeren.

Støvsugerkroppen er 3-D printet på RISE Institute og festemekanismen er laget av rustfritt stål på TM Verkstad i Sverige. De andre delene er kommersielt tilgjengelige deler som ble kjøpt inn. Støvsugeren ble tilpasset tre typer fjellbor. Eksoshullene varierer mellom ulike modeller, derfor ble ulike overganger mellom luftslangen og fjellboret laget.



Bilde: Støvsuger montert på en Montabert T18 borhammer satt opp for vertikalboring



Bilde: Støvsugerfeste til Montabert T21 SRD25



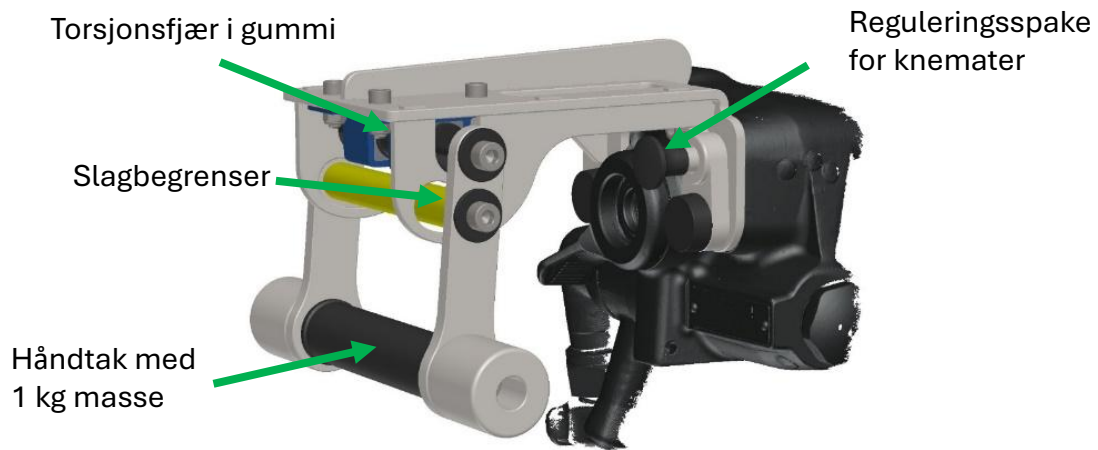
Bilde: Støvsugerfeste til Atlas Copco

## 7.2.2 Dempehåndtak

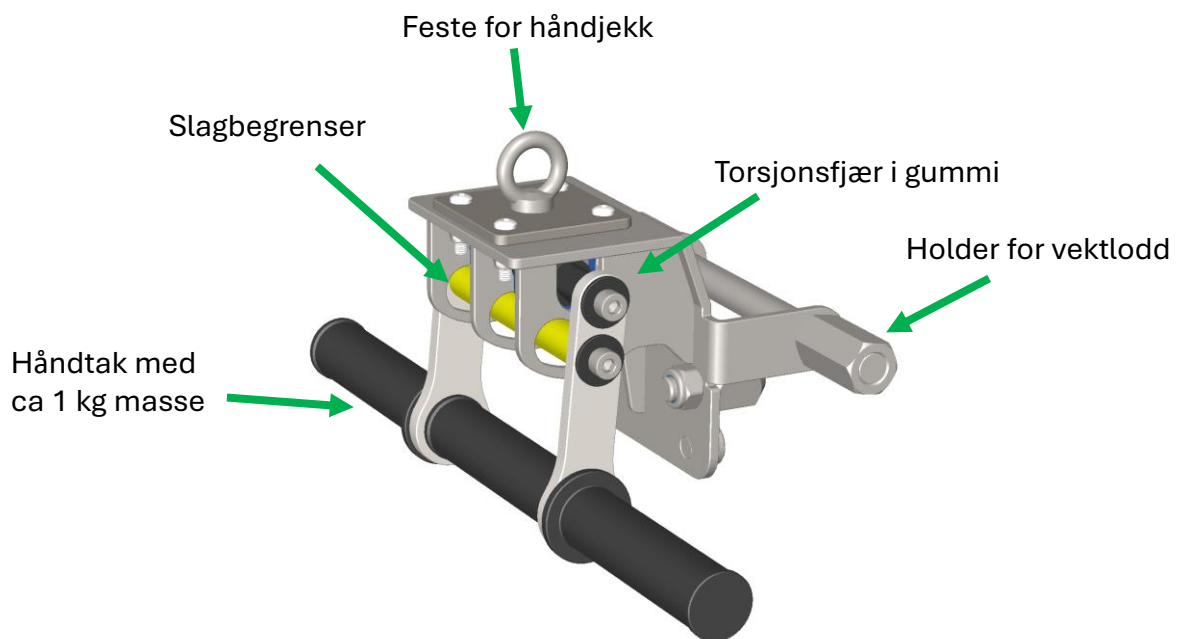
Dempehåndtakene er designet for hovedsakelig å isolere vibrasjoner i slagretningen, som er parallell med borstangen og er den klart mest dominerende retningen for vibrasjoner. Isolasjonen er utført som et massefjærsystem og konstruert ved å benytte torsjonsfjærer bestående av gummiisolatorer og en omkringliggende stållamme. Isolatorene som brukes er av typen ROSTA. Massen består av selve håndtaket med en vekt på omtrent 1 kg. Kombinasjonen av masse, torsjonsstivhet og avstand mellom torsjonsfjær og håndtak er designet slik at resonansfrekvensen for håndtakssystemet er godt under halvparten av maskinens slagfrekvens.

Dempehåndtakene er tilpasset slik at operatøren kan kontrollere maskinen, men ikke for å påføre tilførselskraft til selve boreprosessen. Matekraften må gjøres enten med håndjekk, knemater (matesylinder) eller vektlodd. Dempehåndtakene til Montabert T18 og T21 er nær identiske, men med ulik festeanordning tilpasset de to fjellborene. Det ble utviklet en prototyp på et håndtak som ble testet ut i IA-prosjektet «Ingen dårlige vibber». Dette håndtaket viste god dempeeffekt, men hadde dårlig holdbarhet og tålte ikke de kraftige vibrasjonene fra et fjellbor. Håndtakene i dette prosjektet bygger på disse, men er forsterket for å tåle belastningene over tid på en ordinær bygge- og anleggsplass.

### 7.2.3 Dempehåndtak til Atlas Copco BBC16 knematerbor



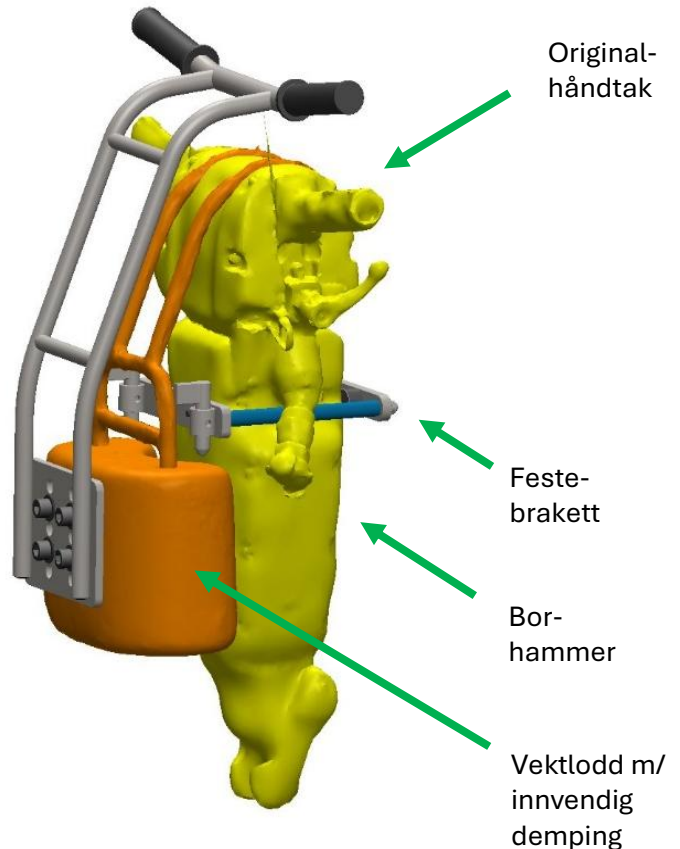
### 7.2.4 Dempehåndtak til Montabert T18 og T21



## 7.2.5 Dempelodd

Det er utbredt bruk av lodd som henges over boremaskinen ved vertikalboring. Loddene veier vanligvis rundt 15 kg og sørger for ekstra matetrykk som kommer i tillegg til vekten fra selve bormaskinen på ca 20 – 25 kg. Det er dempefjærer innebygget i vektloddet som sørger for at vibrasjonene som kommer fra bøylen som henger over borhammeren blir dempet inne i vektloddet.

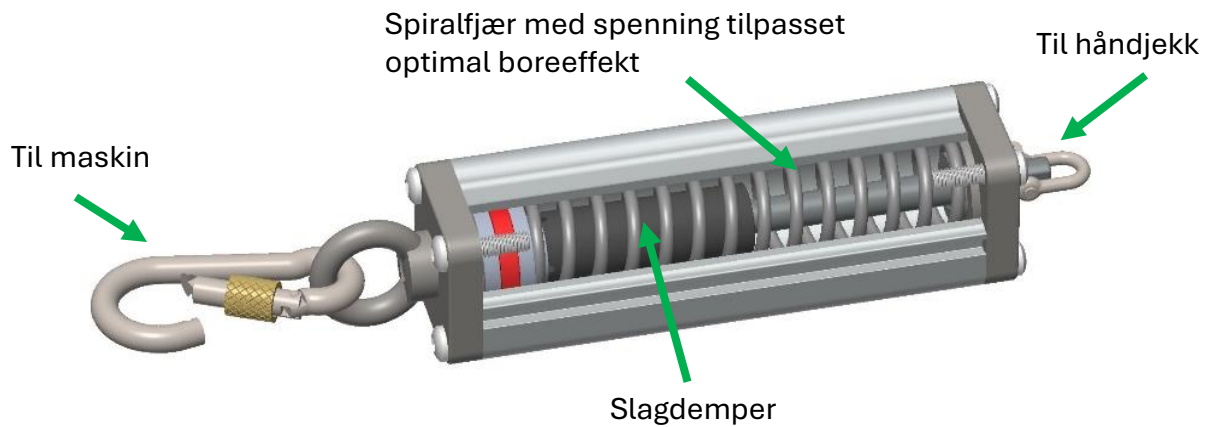
Arbeidstakere velger ofte å hvile hendene på loddet på grunn av mye lavere vibrasjoner. Dette var bakgrunnen for å feste et håndtak til vektloddet og optimalisere dempefjærene i loddet slik at arbeidstakeren kan få best mulig effekt fra dempingen av loddet, og samtidig ha god kontroll over borhammeren. For å opprettholde god kontroll ble det utviklet festbraketter som ble montert direkte på borhammeren slik at vektloddet fikk to nye festepunkt.



## 7.2.6 Fjærdemper til håndjekk

Fjærdemperen ble utviklet i IA-prosjektet «Ingen dårlige vibber» og er en integrert del av oppsettet med dempehåndtak når det bores horisontalt av operatør som arbeider fra klatretau; derfor beskrives dette utstyret også i denne prosjektrapporten. Fjærdemperen er plassert mellom håndtaket på fjellboret og håndjekken som er koblet til fjellet via kjetting eller wire (se illustrasjon på side 11). Vibrasjonene i håndjekken reduseres kraftig fordi fjæren isolerer mot maskinens vibrasjoner samtidig som den er stivt koblet til fjellet. I teorien skal maskinens vibrasjoner også reduseres fordi den ikke lenger er stivt koblet til fjellet og boringen kan bli mer effektiv fordi matekraften på boret blir jevnere. Fjærdemperen består i utgangspunktet av en fjær med en stivhet som er tilpasset for å gi en matekraft som gir optimal boreeffektivitet for det valgte boret (se illustrasjon på neste side). Når det gjelder Montabert T18, gir fjæren omtrent 400 N under drift. Kraftigere maskiner må ha økt fjærkraft, og for Montabert T21 anslås 600-800 N å være egnet. Fjæren er innelukket i en aluminiums innkapsling med tetninger for beskyttelse og forhindring skade ved et eventuelt brudd på kjetting eller wire.

Illustrasjon: Fjærdemper med snitt som viser dempemekanismen



## 7.3 RESULTATER, MÅLINGER AV DEMPEEFFEKT

Det ble gjort målinger av dempeeffekt på fire forskjellige fjellbor: Montabert T18, Atlas Copco SRD 25, Atlas Copco BBC16 W og Montabert T21. På sistnevnte fjellbor ble det gjort målinger av hele arbeidsskift med ordinært fjellsikringsarbeid ved hjelp av vibrasjonsklokker (R-Link). På de andre tre fjellborene ble det gjort målinger av kortere varighet under kontrollerte forhold (simulering av ordinære arbeidsoppgaver).

### Viktig bakgrunnsfakta:

Den skadelige energien i mekaniske vibrasjoner er eksponentiell til tallverdien av vibrasjonstyrken ( $m/s^2$ ). I praksis betyr det at hvis eksponeringen fra et fjellbor reduseres fra for eksempel  $20 m/s^2$  til  $10 m/s^2$ , altså med 50%, da reduseres den skadelige energien med 75%.

Dette forholdet er reflektert i den tiden det tar før tiltaks og grenseverdi for daglig eksponering inntreffer ved et gitt vibrasjonsnivå:

Vibrasjonsnivå	Varighet av eksponering til tiltaksverdi inntreffer (tiltaksverdi: $2,5 m/s^2 A8$ )*	Varighet av eksponering til grenseverdi inntreffer (grenseverdi: $5 m/s^2 A8$ )*
$20 m/s^2$	7,5 minutter	30 minutter
$10 m/s^2$	30 minutter	2 timer

\* Benevnelsen  $m/s^2 A8$  står for daglig eksponering (eksponering midlet over en 8 timers arbeidsdag) Metoden for å karakterisere daglig vibrasjonseksponering er gitt i ISO 5349-1



### 7.3.1 Montabert T18

Det ble gjort målinger ved vertikalboring med og uten dempehåndtak og vektlodd, samt horisontalboring med og uten fjærdemper montert mellom borhammer og håndjekk.



Bilde til venstre:  
Vertikalboring med Montabert T18 med dempehåndtak, uten vektlodd (gult lodd i bakgrunnen)

Bilde til høyre :  
Arbeidstaker borer med Montabert T18 satt opp for horisontalboring med håndjekk. Dette er et vanlig oppsett når det bores i fjellvegg eller bratte heng der eneste tilkomst er med klatretau.

I forgrunnen er et Montabert T18 satt opp med dempehåndtak og fjærdemper mellom håndtak og håndjekk. Fjærdemperen reduserer vibrasjoner fra håndjekken.



#### Vertikal boring uten dempeutstyr:

Vertikalboring med originalhåndtak og uten vektlodd ga et vibrasjonsnivå på  $35 \text{ m/s}^2 - 40 \text{ m/s}^2$ , med vibrasjonsdempet håndtak ble vibrasjonsnivået redusert til  $14 \text{ m/s}^2 - 18 \text{ m/s}^2$ .

Ved  $40 \text{ m/s}^2$  er varighet til tiltaksverdi og grenseverdi for daglig vibrasjonseksposering inntreffer henholdsvis 1 minutt og 7 minutter. Ved  $18 \text{ m/s}^2$  øker det til henholdsvis 9 minutter og 37 minutter.

Vertikal boring m/lodd:

Et ordinært vektlodd har en positiv effekt på vibrasjonsnivået. Ved vertikal boring ble vibrasjonene målt til  $26 \text{ m/s}^2 - 28 \text{ m/s}^2$  med originalhåndtak og  $9 \text{ m/s}^2 - 12 \text{ m/s}^2$  med vibrasjonsdempet håndtak.

Ved  $28 \text{ m/s}^2$  er varighet til tiltaksverdi og grenseverdi for daglig vibrasjonseksposering inntreffer henholdsvis 3 minutter og 15 minutter. Ved  $12 \text{ m/s}^2$  øker det til henholdsvis 20 minutter og 83 minutter.

Horisontal boring med håndjekk:

Ved boring horisontalt ble det målt  $38 \text{ m/s}^2 - 44 \text{ m/s}^2$  på originalhåndtakene og  $39 \text{ m/s}^2 - 42 \text{ m/s}^2$  på spaken til håndjekken. Med fjærdemper ble vibrasjonsnivået målt til  $8 \text{ m/s}^2 - 9 \text{ m/s}^2$ .

Ved  $42 \text{ m/s}^2$  er varighet til tiltaksverdi og grenseverdi for daglig vibrasjonseksposering inntreffer henholdsvis 1 minutt og 6 minutter. Ved  $9 \text{ m/s}^2$  øker det til henholdsvis 37 minutter og 148 minutter.

**Tabell 1 Effekt av dempeutstyr på Montabert T18**

Boring med Montabert T18	Orginalhåndtak ( $\text{m/s}^2$ )*	Vib.dempet håndtak ( $\text{m/s}^2$ )*	Håndjekk ( $\text{m/s}^2$ )*	Håndjekk m/fjærdemper ( $\text{m/s}^2$ )*	Produsentoppgitt vibrasjonsnivå ( $\text{m/s}^2$ )**
Vertikal boring uten utstyr	35 - 40	14 - 18	-	-	22
Vertikal boring m/lodd	26 - 28	9 - 12	-	-	-
Horisontal boring med håndjekk	38 - 44	12 - 15	39 - 42	8 - 9	-

\* måleresultatene er oppgitt med hele målebredden innenfor 80 percentilverdi (for å synliggjøre variasjonen)

\*\*Produsenten plikter å oppgi vibrasjonsnivå målt på orginalhåndtaket. Vanligvis benyttes en standardisert laboratoriemåling (ISO 28927-10). Montabert gir ingen henvisninger til målestandard eller informasjon om måleoppsett.

Støvsuger

Det ble observert at støvsuger ledet støvet effektivt vekk fra arbeidstaker. Den kunne benyttes både ved horisontalboring og ved vertikalboring. Ved horisontalboring gjorde tyngdekraften at utblåsningrøret til støvsugeren hang rett ned slik at støvet ble frigjort et par meter under pustesonen til arbeidstaker. Når det var tilnærmet vindstille, ble støvet likevel ført ned av trekk langs fjellside.

Ved vertikalboring så ble støvet fra støvsugeren mer utsatt for skiftende trekk eller vind, men støvsugerslangen kunne lett vinkles i 360 grader rundt arbeidstaker, så det var i praksis enkelt å innrette støvsugerslangen etter forholdene.

Ved noen anledninger løsnet slangen fra eksoshullet på Montabert T-18. Dette ble notert som forbedringspunkt. Det må gjenges opp eller benyttes industri tape for å sikre at slangen ikke løsner. Dette var ikke et problem på Atlas Copco SRD 25 eller Montabert T-21.

Det var lett observerbart at alt synlig støv ble ledet bort fra arbeidsstedet slik at støvet ikke la seg som en sky rundt operatøren. De fleste arbeidstakerne ga tilbakemelding om at de opplevde langt mindre steinstøv under arbeidet og opplevde det som langt mer komfortabelt å jobbe med bruk av støvsuger.

### 7.3.2 Atlas Copco BBC 16 knematerbor



Bilde til venstre:

Atlas Copco BBC 16 knematerbor. Denne type borhammer er montert på en kolonne (mate-sylinder) som støttes mot bakken. Kolonnen er luftdrevet og skyver borhammeren mot fjellveggen.

Målesensor er festet med hvit industri tape rett ved gripesonen på håndtaket. Rundt arbeidstakers høyre håndledd er vibrasjonsklokken av typen R-link.

Vibrasjonsnivået på Atlas Copco BBC 16 ble redusert fra 24-27 m/s<sup>2</sup> til 10-13 m/s<sup>2</sup>. Ved 24 m/s<sup>2</sup> inntreffer grenseverdi etter allerede 20 minutters boring. Ved 10 m/s<sup>2</sup> inntreffer grenseverdi etter 2 timer med sammenhengende boring. Knematerboret ble ikke testet med støvsuger. I teorien er det mulig å benytte støvsugeren utviklet i dette prosjektet også til knematerboret. Da må det bores en 8 mm ekspansjonsbolt i fjellet å henge støvsugeren på til hvert hull som bores. Dette vil være en ekstra arbeidsoperasjon (men tar mindre enn ett minutt) i motsetning til boring med håndjekk der 8 mm bolten som settes i fjellet er en del av den ordinære arbeidsoperasjonen.

**Tabell 2 Effekt av dempeutstyr på Atlas Copco BBC 16 (knematerbor)**

Boring med Atlas Copco BBC 16	Originalhåndtak (m/s <sup>2</sup> )*	Vib. dempet håndtak (m/s <sup>2</sup> )*	Produsentoppgitt vibrasjonsnivå (m/s <sup>2</sup> )**
Horisontal boring	24 – 27	10 - 13	17

\* måleresultatene er oppgitt med hele målebredden innenfor 80 percentilverdi (for å synliggjøre variasjonen)

\*\*Atlas Copco oppgir bruk av ISO 5349-2 til produsentoppgitt vibrasjonsnivå. Dette er en standard for måling på arbeidsplassen, men ikke en standardisert laboratoriemåling (ISO 28927-10). Måleforholdene er derfor ikke kjent.

### 7.3.3 Atlas Copco SRD 25

Målingene av Atlas Copco SRD 25 med og uten vektlodd ble gjort med to ulike operatører på to ulike anlegg. De store variasjonene i målingene har sannsynligvis sammenheng med at de originale dempehåndtakene som er standard fra produsent er svært følsomme for individuelle arbeidsteknikker. Håndtakene må presses ned med jevnt og riktig trykk for at man skal oppnå dempeeffekt. Med hendene på originalhåndtaket varierte vibrasjonsnivået ganske likt i samme område med og uten vektlodd, med henholdsvis 14-28 m/s<sup>2</sup> og 14-25 m/s<sup>2</sup>. Med hendene på håndtaket som var montert direkte på vektloddet ble vibrasjonsnivået målt til 6 – 10 m/s<sup>2</sup>.

Ved 28 m/s<sup>2</sup> er varighet til tiltaksverdi og grenseverdi for daglig vibrasjonseksposering inntreffer henholdsvis 3 minutter og 15 minutter. Ved 10 m/s<sup>2</sup> øker tiden til henholdsvis 30 og 120 minutter.



Bilde:  
Boring med Atlas Copco SRD 25 med påhengt vektlodd modifisert med håndtak, samt støvsuger.

**Tabell 3 Effekt av dempeutstyr på Atlas Copco SRD25**

Boring med Atlas Copco SRD25	Orginalhåndtak (m/s <sup>2</sup> ) **	Håndtak på vektlodd (m/s <sup>2</sup> )	Produsentoppgitt vibrasjonsnivå (m/s <sup>2</sup> )*
Boring uten vektlodd	14 – 25 **	-	12 *
Boring med vektlodd	14 – 28 **	6 - 10	-

\*Målestandard ISO 28798-10 for laboratoriemålinger er benyttet. Oppgitt vibrasjonsnivå inkluderer måleusikkerhet

\*\*Orginalhåndtaket på SRD25 er vibrasjonsdempet fra produsent, men må trykkes ned med jevnt statisk trykk under boring for at dempemekanismen skal fungere. Den store variasjonen i måleverdiene kan være forårsaket av at arbeidstaker ikke har holdt jevnt trykk.

#### Støvsuger:


Støvsugerløsningen hadde god effekt. Den var like effektiv til Atlas Copco SRD25 som til Montabert T18. Det var lett observerbart at alt synlig støv ble ledet bort fra arbeidsstedet slik at støvet ikke la seg rundt operatøren (se bilde over).



### 7.3.4 Montabert T21 helskiftmålinger

Tabell 4 viser hvordan måleverdiene fremkommer i analyseplattformen til R-link. Der er daglig eksponeringsnivå  $m/s^2(A8)$  vist som eksponeringspoeng. 100 eksponeringspoeng tilsvarer tiltaksverdi på  $2,5 m/s^2(A8)$  og 400 poeng tilsvarer grenseverdi på  $5 m/s^2(A8)$ .



I tabellen ser vi at dagen det ble brukt dempeutstyr så var vibrasjonseksponeringen fra fjellboret på henholdsvis  $10,1 m/s^2$  og  $11,5 m/s^2$  (gule søyler). På dagen det ble arbeidet uten dempeutstyr var vibrasjonseksponeringen på henholdsvis  $15,9 m/s^2$  og  $17,2 m/s^2$  (røde søyler).

**Tabell 4: Effekt (eksponeringspoeng) av dempeutstyr på daglig eksponering (hele arbeidsskift) med Montabert T21 borhammer**

  
 STAMI National Institute of Occupational Health in Norway

Arbeidstaker 1		Vib $m/s^2$	Exposure Points	Trigger Time (Hours)
Date	Day	10.1		117
07/01/2025	Tue		Total	117
				0.5756
		15.9		1018
08/01/2025	Wed		Total	1018
				2.0194
				2.0194

Arbeidstaker 2		Vib $m/s^2$	Exposure Points	Trigger Time (Hours)
		11.5		121
07/01/2025	Tue		Total	121
				0.4553
		17.2		988
08/01/2025	Wed		Total	988
				1.6789
				1.6789

I tabell 5 er daglig eksponering regnet om til  $m/s^2(A8)$  for lettere å sammenlikne med tiltaks og grenseverdier slik det fremkommer i Forskrift om tiltaks og grenseverdier.

**Tabell 5 Effekt ( $m/s^2 A8$ ) av dempeutstyr på daglig eksponering (hele arbeidsskift) med Montabert T21 borhammer målt med R-link**

Vertikal boring med Montabert T21 med og uten dempehåndtak	Målt vibrasjonsnivå gjennomsnitt ( $m/s^2$ )**	Produsentoppgitt vibrasjonsnivå ( $m/s^2$ )*	Eksponeringstid (minutter)	Daglig eksponering ( $m/s^2 A8$ )
Dempehåndtak Arbeidstaker 1	10,1	35	34	2,7
Dempehåndtak Arbeidstaker 2	11,5	35	27	2,7
Originalhåndtak Arbeidstaker 1	15,9	35	120	8,0
Originalhåndtak Arbeidstaker 2	17,2	35	100	7,9

\*Produsenten plikter å oppgi vibrasjonsnivå målt på originalhåndtaket. Vanligvis benyttes en standardisert laboratoriemåling (ISO 28927-10). Montabert gir ingen henvisninger til målestANDARD eller informasjon om måleoppsett.

\*\*R-link måler vibrasjoner på håndleddet, ikke på maskinen. Det gir større usikkerhet til målingene

Målingene over hele arbeidsskift ble gjort på samme borhammer som ble delt av to arbeidstakere. Resultatene viser ganske like vibrasjonsnivåer mellom de to arbeidstakerne, noe som tyder på at de har arbeidet under like forhold med lik arbeidsteknikk. På dag 2 ble dempehåndtak erstattet med originalhåndtaket. Resultatene viser at dempehåndtakene reduserte det gjennomsnittlige vibrasjonsnivået fra borhammeren fra 15,9 m/s<sup>2</sup> og 17,2 m/s<sup>2</sup> til henholdsvis 10,1 m/s<sup>2</sup> og 11,5 m/s<sup>2</sup>, sammenliknet med boring med originalhåndtaket.

På dagen det ble boret uten dempehåndtak ble daglig vibrasjonsnivå for de to arbeidstakerne på 7,9 m/s<sup>2</sup>(A8) og 8,0 m/s<sup>2</sup>(A8). Dette er nivåer langt over grenseverdi på 5 m/s<sup>2</sup>(A8). Det var også lang eksponeringstid for arbeidstakerne denne dagen, på 100 og 120 minutter.

Det er viktig å merke seg at om eksponeringstiden hadde vært 120 minutter den dagen det ble brukt dempehåndtak, da hadde også grenseverdi blitt overskredet, men i mindre grad.

## 7.4 EVALUERINGER FRA ARBEIDSTAKERE

Det ble levert inn 12 evalueringer fra arbeidstakere som testet ut dempeutstyr under ordinære arbeidsbetingelser ute på anlegg. Tre evalueringer av dempehåndtak til knematerbor og ni evalueringer av dempehåndtak til standardbor. Ved standardboring ble dempehåndtak testet ut i kombinasjon med støvsuger i syv tilfeller og håndjekk i ett tilfelle.

Tilbakemeldingene var overveiende positive. Samtlige ni som benyttet dempehåndtak opplevde at dempeutstyr for vibrasjoner reduserte vibrasjonsnivået, og fem av syv som benyttet støvsuger rapporterte om mindre støv i pustesonen.

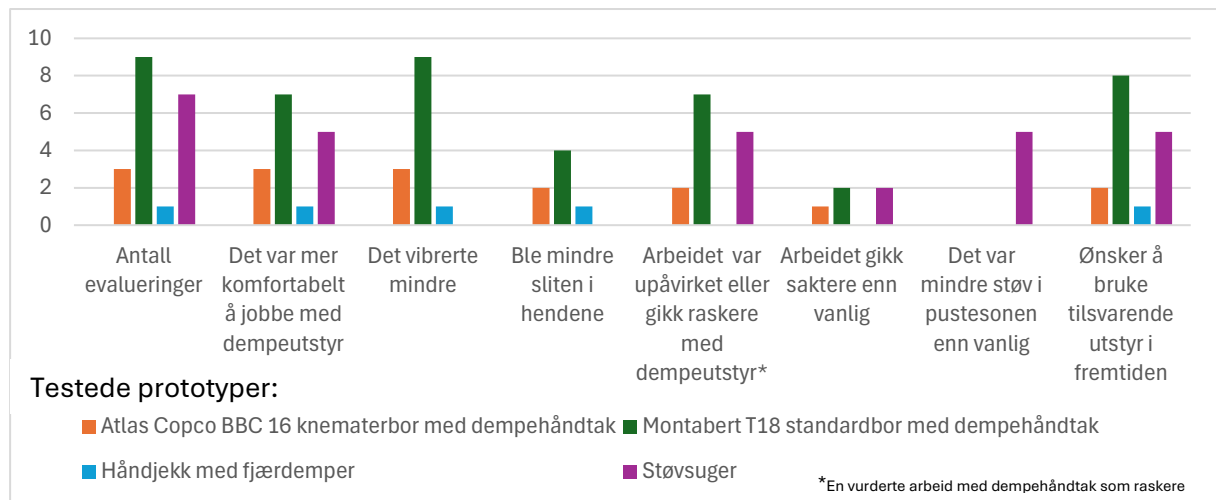
De fleste opplevde at arbeidet var minst like effektivt, men to arbeidstakere opplevde at arbeidet tok lenger tid og en arbeidstaker opplevde dempehåndtak som ukomfortabelt å jobbe med.

Disse negative tilbakemeldingene kan ha sammenheng med at det blir mer utstyr å håndtere og ta med seg på anleggsplassen. Det ble også avdekket at arbeidsteknikk kan påvirke effekten av dempehåndtakene. Hvis arbeidstaker benytter mye håndkraft kan dette føre til at dempeeffekten blir redusert og i teorien kan opphøre. Derfor er det viktig at ved kommersialisering av dempeutstyr må det medfølge en brukermanual som beskriver rett bruk for å oppnå best mulig dempeeffekt.

Ti av tolv arbeidstakere ønsket å fortsette å bruke dempehåndtak hvis mulig, og fem av syv arbeidstakere ønsket å benytte støvsuger i fortsettelsen hvis mulig. Dette er positive tall. Med enda bedre informasjon, opplæring og med litt tilvenning er det rimelig å anta at enda flere ville ønsket å bruke utstyret i fremtiden.

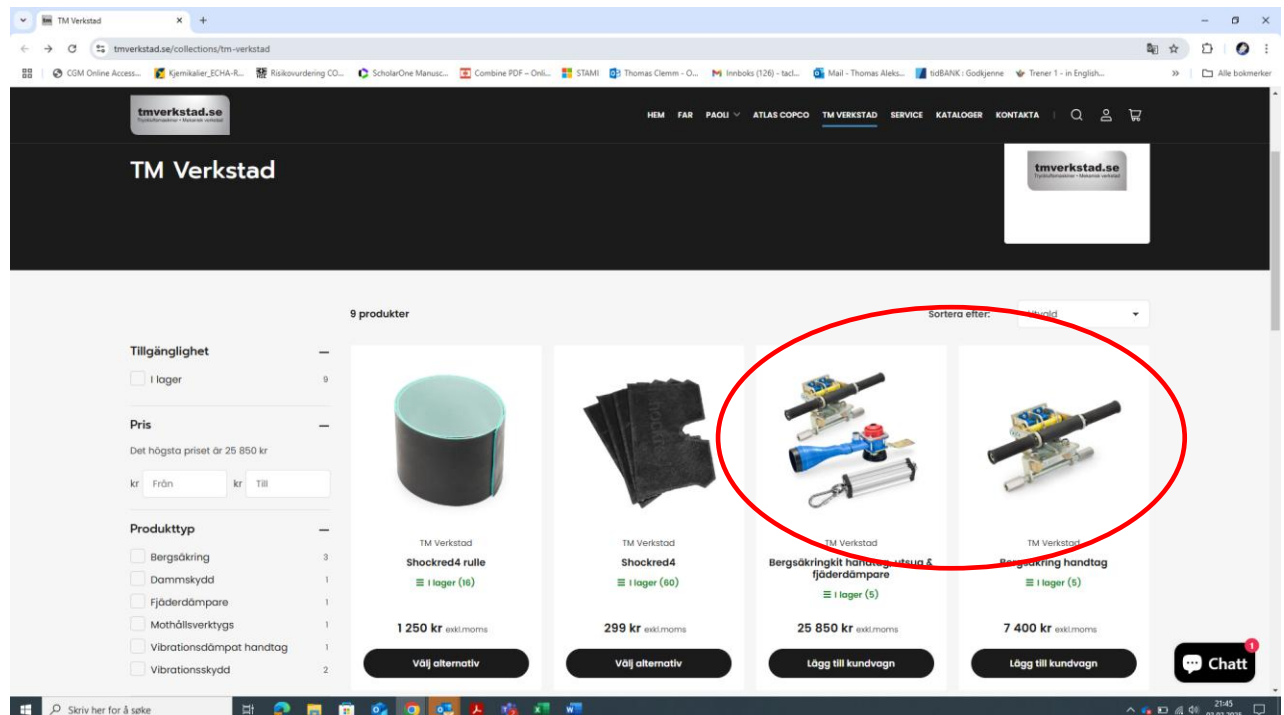
Arbeidstakerne kom med tilbakemeldinger på konkrete tekniske/ergonomiske endringer for å gjøre utstyret mer brukervennlig. Disse tilbakemeldingene ble videreformidlet til produsenten som jobber med kommersialisering av utstyret.

## Diagram: Evalueringer av utstyr for demping av støv og vibrasjoner



## 7.5 KOMMERSIALISERING AV PROTOTYPER

TM Verkstad har produsert prototypene som er testet ut i prosjektet og har besluttet å starte salg av produktene gjennom sin nettbutikk <https://tmverkstad.se/collections/tm-verkstad>.



Dempemekanismene og støvsugerløsningene kan skreddersys og tilpasses nye maskiner og applikasjoner. Dempéhåndtak og støvsugerløsninger er ikke patentbeskyttet slik at entreprenører og/eller leverandører står fritt til å videreutvikle konseptene til eget bruk.

I IA-prosjektet «Ingen dårlige vibber» ble et fjellbor bygget om med ATVA (active tuned vibration attenuator) dempeteknologi. Denne teknologien baserer seg på et lodd som er balansert slik at det slår i motsatt retning av borstangen og på den måten demper slag/vibrasjoner svært effektivt. Potensialet til denne teknologien er stort og ved å integrere denne teknologien i et helt nytt borhammerdesign er det mulig å produsere fjellbor med lavere vekt, mindre vibrasjoner, men med bevart effektivitet. I løpet av dette prosjektet ble det tatt kontakt med verktøysprodusentene Montabert, Atlas Copco og Oprema for å lodde interessen for testing/utvikling av teknologien i egen produktportefølje.

Den slovenske produsenten Oprema har kunngjort at de skal utvikle både en meiselhammer med ATVA-teknologi, og et fjellbor (som i størrelse legger seg mellom Montabert T18 og T21).

Utviklingsarbeidet er allerede i gang og kommer som et resultat av arbeidet som ble lagt ned i IA-bransjeprogram prosjektet «Ingen dårlige vibber».



Montabert T18 bygget om med ATVA



Prototype utvikling: Oprema med integrert ATVA



## 8. DISKUSJON

---

I dette prosjektet er det utviklet, testet og forbedret prototyper for reduksjon av eksponering for steinstøv og mekaniske vibrasjoner. Brukerne har gitt positive tilbakemeldinger og flere av de tekniske løsningene er kommersialisert. Prosjektet har lyktes med de fleste og viktigste målsettingene.

Målinger av dempeeffekt viser en reduksjon av mekaniske vibrasjoner på 50 - 80% under realistiske forhold, og mye av steinstøvet fjernes fra pustesonen til operatøren. Prototypene er relativt enkle og rimelige konstruksjoner. Dette er utstyr som kan være aktuelle tiltak i situasjoner der det er for kostbart eller praktisk vanskelig å eliminere eksponering ved hjelp av automatisering (som f.eks bruk av fjernstyrt borerigg). Målingene av reduksjon i vibrasjonsnivå bekreftet målingene fra fase 1 av prosjektet. Denne gangen ble målingene gjort under mer realistiske forhold enn i det forrige prosjektet.

Alle arbeidstakerne på et stort sikringsprosjekt langs Sørlandsbanen ble utstyrt med R-link (vibrasjonsklokker): På grunn av endringer i fremdriftsplan og delvis på grunn av dårlig vær, ble det lite fjellboring i den aktuelle perioden og færre målinger enn planlagt. De målingene som ble gjennomført ga imidlertid interessante svar. Det ble gjort målinger over to hele arbeidsdager på to arbeidstakere. Alle målingene ble gjort på samme fjellbor på samme arbeidssted med bruk av dempehåndtak den ene dagen og uten den andre dagen. Det betyr at potensiell usikkerhet knyttet til bruk av ulike bormaskiner og ulike arbeidssteder ble redusert. Målingene ble gjort på to forskjellige arbeidstakere, noe som reduserer usikkerheten knyttet til påvirkningen av ulike arbeidsteknikk mellom arbeidstakere. Målingene indikerte en svært god effekt ved bruk av dempehåndtak. Det er usikkerhet knyttet til målemetoden som benyttes med R-link der målingene gjøres på arbeidstakers håndledd i stedet for på maskinen. Det er imidlertid ikke sannsynlig at den store forskjellen begge måledager og hos begge arbeidstakere kan skyldes andre forhold enn reelle forskjeller i vibrasjonsnivå.

Tilbakemeldingene fra arbeidstakerne som ble gitt i evalueringsskjemaene bekreftet det som ble målt. Samtlige arbeidstakere som benyttet dempehåndtak opplevde at vibrasjonene ble redusert, og et stort flertall opplevde at det var mer komfortabelt å jobbe med disse og ønsket å bruke slikt utstyr i fremtiden. Dette er viktige tilbakemeldinger fordi utstyret krever noe tilvenning og endring i arbeidsteknikk fra arbeidstakerne. Ergonomien på handtakene er litt annerledes, kraftbruken krever mer oppmerksomhet, og når det gjelder fjærdemper og støvsuger så er det «en ekstra gjenstand» som arbeidstakerne må frakte med seg. Særlig for dem som arbeider fra tau kan dette oppleves som upraktisk. Derfor var de positive tilbakemeldingene fra arbeidstakerne viktige. Det ble også formidlet forbedringsforslag som blir vurdert i forbindelse med kommersialisering av produktene.

Videreutvikling av støvsugerløsning for bruk til borhammer montert på Hybeco lift var en av målsettingene. Dette ble prioritert bort fordi andre utviklingsområder krevde mer ressurser enn forventet. Blant annet så krevde ulik utforming og plassering av eksoshull på forskjellige modeller av fjellbor forskjellige tilkoblingsløsninger for støvsugeren. Dette arbeidet ble prioritert og det ble utviklet tilkopplingsløsning til tre forskjellige fjellbor.

Det er viktig å være klar over at i mange sammenhenger er ikke de tekniske løsningene som er utviklet i dette prosjektet tilstrekkelig som eneste tiltak. De to heldagsmålingene illustrerer dette godt. Vibrasjonsnivået som ble målt ved arbeid med dempehåndtak ville ført til at grenseverdi hadde blitt overskredet om man la den lengste målte eksponeringstiden til grunn, dette til tross for at dempehåndtaket reduserte vibrasjonseksponeringen. Det tyder på at

akkurat dette arbeidet burde vært utført med en borerigg. Alternativt kunne flere arbeidstakere rotert på boringen.

Støvsugeren bør heller ikke vurderes som eneste tiltak på en anleggsplass. Hvis arbeidet utføres på en stor anleggsplass så må man vurdere risikoen for at steinstøvet ledes i retning av andre arbeidstakere. På en liten anleggsplass, for eksempel i forbindelse med montering av en kraftmast eller sikring av fjell, er ikke dette et like stort problem, likevel så kan tilleggsrisikoer oppstå. For eksempel: Under testingen observerte vi at arbeidstakere som benyttet støvsugeren lot være å bruke støvmaske fordi de opplevde at støvet var borte fra pustesonen. Til tross for at støvet ledes bort, så er det ikke eliminert, og man kan bli forledet av at det fineste kvartsstøvet som faktisk er det som trenger lengst ned i lungene ikke er synlig for det blotte øyet. Man bør altså fortsatt bruke støvmaske.

Fortsatt utvikling er viktig. For eksempel bør det undersøkes om det er mulig å samle opp støvet i en pose. Dette vil være vanskelig når det arbeides fra tau, men på bakken eller i en korg kan det være mulig. Det bør også undersøkes om det er mulig å forsyne støvsugeren med vann (vanntåke). Det kan bidra til å binde de fineste støvpartiklene slik at de faller raskt til bakken.

Resultatene fra prosjektet viser at i mange tilfeller kan enkle og rimelige tiltak effektivt redusere eksponering for steinstøv og mekaniske vibrasjoner. Dette gjør det enklere både for byggherren å planlegge tiltak i planleggings og prosjekteringsfasen, og det gjør det lettere for utførende entreprenør å vurdere tiltak under utførelsen av arbeidet.

En god kartlegging av risikoforhold på planleggingsstadiet med tilhørende planer for håndtering av risikoen kan gi betydelig reduksjon i risikoen på arbeidsplassen. Arbeidstilsynet oppsummerer på en god måte fordelene i en kommentar til §6 i byggherreforskriften:

*«Ved at planene med tiltak angis i tilbudsgrunnlaget, vil tilbydere kunne vurdere risikoforholdene og sette de mer detaljerte nødvendige risikoreducerende tiltakene inn i prisbærende poster. Byggherren vil dermed få et bedre grunnlag for å kunne ta stilling til de innkomne tilbudene. På denne måten oppnås to ting: sikkerhets-, helse- og arbeidsmiljøtiltak blir ikke et konkurranseaspekt for tilbyderne, og byggherren må ta standpunkt til hvilke tiltak som skal benyttes med de kostnader tiltakene medfører.»*

Byggherren kan for eksempel i tilbudsgrunnlaget angi at det må iverksettes konkrete tiltak for å redusere eksponering for kvartsstøv og mekaniske vibrasjoner. I noen tilfeller kan det være aktuelt å stille krav til hva slags utstyr som skal benyttes. Hvis det for eksempel skal sikres fjell i en stor fjellskjæring over en lengre periode, så vil det ikke være mulig å utføre denne jobben med håndholdt eller håndstyrte fjellbor uten at både kvartsstøv og mekaniske vibrasjoner blir en uakseptabel stor arbeidshelserisiko for arbeidstakerne. Ved å kreve at arbeidet må utføres med fjernstyrte borerigger eller vibrasjonsdempet og støvdempet utstyr unngår man at tilbydere kan prise seg lavt på bekostning av et akseptabelt arbeidsmiljø.

I SHA-planen skal tiltakene i større grad konkretiseres. Under gjennomføring har utførende entreprenør ansvar for at selve arbeidsutførelsen gjennomføres i samsvar med Forskrift om utførelse av arbeid. Entreprenøren har hele tiden et selvstendig ansvar for at egne arbeidstakere har et forsvarlig og trygt arbeidsmiljø, og nye risikoer som oppstår underveis må kontinuerlig vurderes. Byggherren må påse at tiltakene som entreprenøren iverksetter er i tråd med SHA-planen god dialog og samhandling med byggherren vil gjøre det lettere for begge parter å ivareta sine plikter med hensyn til å redusere helserisiko knyttet til faktorer i arbeidsmiljøet.

Et større fokus fra både utførende entreprenør og byggherre på tiltak for å redusere steinstøv og mekaniske vibrasjoner kan føre til at det blir et marked for hjelpemidler slik som er utviklet i dette prosjektet. Dempehåndtak, fjærdemper og støvsugerløsning som ble utviklet i dette prosjektet er per i dag (når denne rapporten skrives) kommersielt tilgjengelig for entreprenørene. Forhåpentligvis blir dette standardutrustning ved utbygging av kraftlinjer og ved sikring av fjell fremover. På lengre sikt kan det hende at kraftige fjellbor med integrert ATVA-dempemekanisme og lavere vekt kan komme på markedet. Dette vil kunne bidra til å skape en ny arbeidshverdag med lavere fysiske belastninger for mange arbeidstakere i anleggsbransjen, mindre risiko for vibrasjonsskader og mindre risiko for lungesykdom.

Slike tiltak kan på sikt bidra til mindre sykefravær og frafall blant arbeidstakere som arbeider med fjellboring. Og i siste instans at arbeid i anleggsbransjen får en bedret arbeidsmiljøstandard som også tiltrekker seg og beholder kompetent arbeidskraft.

## 9. REFERANSER

---

1. Nilsson, T., J. Wahlstrom, and L. Burstrom, *Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases-A systematic review and meta-analysis*. PLoS One, 2017. **12**(7): p. e0180795.
2. Brammer, A.J., *Dose-response relationships for hand-transmitted vibration*. Scand J Work Environ Health, 1986. **12**(4 Spec No): p. 284-8.
3. Bovenzi, M., et al., *Exposure-response relationship for vibration-induced white finger among forestry workers*. Cent Eur J Public Health, 1996. **4**(1): p. 69-72.
4. Bovenzi, M., *Exposure-response relationship in the hand-arm vibration syndrome: an overview of current epidemiology research*. Int Arch Occup Environ Health, 1998. **71**(8): p. 509-19.
5. Griffin, M.J., M. Bovenzi, and C.M. Nelson, *Dose-response patterns for vibration-induced white finger*. Occup Environ Med, 2003. **60**(1): p. 16-26.
6. Futatsuka, M., T. Ueno, and T. Sakurai, *Cohort study of vibration-induced white finger among Japanese forest workers over 30 years*. Int Arch Occup Environ Health, 1989. **61**(8): p. 503-6.
7. Pelmeur, P.L., *Epidemiology of Hand-Arm Vibration Syndrome*, in *Hand-Arm Vibration*, O. Press, Editor. 1998, OEM Health Information Inc: Beverly Farms, Massachusetts, USA. p. 103-126.
8. Sakakibara, H., M. Hirata, and N. Toibana, *Impaired manual dexterity and neuromuscular dysfunction in patients with hand-arm vibration syndrome*. Ind Health, 2005. **43**(3): p. 542-7.
9. Sauni, R., et al., *Dose-response relationship between exposure to hand-arm vibration and health effects among metalworkers*. Ann Occup Hyg, 2009. **53**(1): p. 55-62.
10. Taylor, W., *The hand-arm vibration syndrome--diagnosis, assessment and objective tests: a review*. J R Soc Med, 1993. **86**(2): p. 101-3.
11. Buhaug, K., B.E. Moen, and A. Irgens, *Upper limb disability in Norwegian workers with hand-arm vibration syndrome*. J Occup Med Toxicol, 2014. **9**(1): p. 5.
12. International\_Organization\_for\_Standardization, *ISO 5349-1 & 2:2001 Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to and-transmitted vibration - Part 1: General requirements - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace*
13. International\_Organization\_for\_Standardization, *ISO 8041-1:2017 Human response to vibration -Measuring instrumentation -Part 1: General purpose vibration meters*. 2017.
14. Bakke, B. et al., *Støveksponering ved bergboring i dagen*. STAMI-rapport nr.3. 2014: p. 1-27

- <https://stami.no/content/uploads/2015/03/STAMI-rapport-nr-3-2014-Bergboring.pdf>
15. Clemm, T., et al., *Dose-response relationship between hand-arm vibration exposure and vibrotactile thresholds among roadworkers*. *Occup Environ Med*, 2020: p. 1-6.
  16. Ulvestad, B. et al., *Pulmonary function and high-resolution computed tomography in outdoor rock drillers exposed to crystalline silica*. *Occup Environ Med*, 2020; p.77:611-616.
  17. STAMI, N., LKU (Levekårsundersøkelsen 2019), *NOA / Norsk overvåkning av arbeidsmiljø*. 2020, STAMI: Oslo, Norway.
  18. Utdanning.no (basert på tall fra SSB). Nettside: <https://utdanning.no/yrker/beskrivelse/fjell-og-bergverksarbeider>. Aksess 19.04.23
  19. Nordby, K.N., Clemm, T, *Ingen dårlige vibber, vibrasjonseksponering i bygg- og anleggsbransjen*, STAMI-rapport nr.4 2023 p

## 10. APPENDIX 1

### Spørreskjema for vurdering av dempeutstyr + støvsuger

Navn:

Uke (dato):

Firma:

Beskrivelse av arbeidet:

Sett ring rundt det som stemmer (eller slett det som ikke stemmer): Ja, nei eller IR» (ikke relevant)

Jobbet du med:	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
Knemater (vanlig)	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei
Knemater med dempehåndtak	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei
Standardbor (vanlig)	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei
Standardbor med demping	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei
Håndjekk (vanlig)	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei
Håndjekk med demping	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei
Støvsuger	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei
Tid (ca) jeg jobbet med boring per dag	0-1 timer 1-3 timer 3-8 timer	0-1 timer 1-3 timer 3-8 timer	0-1 timer 1-3 timer 3-8 timer	0-1 timer 1-3 timer 3-8 timer	0-1 timer 1-3 timer 3-8 timer	0-1 timer 1-3 timer 3-8 timer	0-1 timer 1-3 timer 3-8 timer
Arbeidet gikk raskere enn vanlig	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei
Arbeidet gikk saktere enn vanlig	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei	ja/nei
Det var mer komfortabelt å jobbe med vibrasjonsdemping	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR
Jeg ble mindre sliten i hendene	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR
Det vibrerte mindre	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR
Det var mer komfortabelt å jobbe med støvsuger	Ja/nei/IR	Ja/nei/IR	Ja/nei/IR	Ja/nei/IR	Ja/nei/IR	Ja/nei/IR	Ja/nei/IR
Med støvsuger var det mindre støv i pustesonnen enn vanlig	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR	ja/nei/IR

Erfaringer med dempeutstyret:

Positivt:

Negativt:

Forbedringsforslag:

Erfaringer med støvsugeren:

Positivt:

Negativt:

Forbedringsforslag:

Ønsker du å fortsette å bruke tilsvarende dempeutstyr og/eller støvsuger i fremtiden? Ja/Nei

