

Vurdering av sikkerhetssone for VA-tunneler og bergrom i Bergen kommune

Sweco Norge AS	Organisasjonsnr. 967032271
Prosjekt	Rammeavtale ingeniørgeologi Bergen Vann
Prosjektnummer	10214568
Kunde	Bergen kommune/Bergen Vann
Opprettet av	Åse Hestnes
Dato	05.02.2025
Dokumentreferanse	

Revisjonshistorikk

Rev	Dato	Beskrivelse av endringen	Utarbeidet av	Godkjent av
01	23.04.2026	Endelig utgave	NOHEAS	NOOYOP, NOSASK
00	16.06.2025	Første versjon: Til gjennomsyn Bergen Vann	NOHEAS	NOOYOP, NOSASK

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	3
1 Innhold og formål.....	4
2 Regelverk og krav ifm. sprengning	4
2.1 Vibrasjoner	5
2.2 Konstruksjonsskade	7
3 Påvirkningsfaktorer.....	8
3.1 Bergteknisk situasjon	8
3.1.1 Bergoverdekning og bergkvalitet	8
3.1.2 Innlekkasjer i tunneler/ bergrom	10
3.1.3 Mulighet for inspeksjon	11
3.2 Egenskaper til undergrunnsanlegget	11
3.2.1 Type VA-anlegg og eksisterende infrastruktur	11
3.2.2 Anleggets tilstand og eksisterende bergsikring	12
3.3 Planlagt tiltak.....	12
3.3.1 Omfang og varighet av det planlagte tiltaket	12
3.3.2 Uttaksmetode og gjennomføring av berguttak	12
4 Sikkerhetssoner.....	13
4.1 Definisjon	13
4.2 Relevante standarder og føringer fra andre aktører	13
4.3 Sikkerhetssoner for Bergen vann sine undergrunnsanlegg.....	13
4.4 Anbefalte sikkerhetssoner.....	14
4.4.1 Generell sikkerhetssone	14
4.4.2 Indre sikkerhetssone.....	15
4.4.3 Utvidet sikkerhetssone (høydebasseng)	15
4.5 Kostnader for geologisk prosjektering og bergsikringsarbeid	15
5 Referanser.....	16

Sammendrag

Sweco er engasjert av Bergen Vann til å angi en sikkerhetssone for deres tunneler og bergrom i forbindelse med bygge- og anleggsvirksomhet i nærheten (hovedsakelig berguttak med sprengning og pigging), som kan forårsake skader på undergrunnsanleggene med tilhørende installasjoner i form av blokkutfall eller (i ytterste konsekvens) tunnelkollaps. Denne sikkerhetssonen er ment som veiledning til kommunens saksbehandlere vedrørende om det skal stilles krav til geologisk vurdering dersom tiltak skal utføres nært eksisterende VA-tunneler og bergrom. Notatet er basert på et litteraturstudium og Swecos egne vurderinger.

Ved berguttak innenfor en «**generell sikkerhetssone**» på **50 m** (skråavstand/korteste avstand) fra eksisterende tunnel/ bergrom, anbefales det å stille krav til tiltakshaver om visuell inspeksjon og kvalitetssikret vurdering av personell med dokumentert geologisk/ bergteknisk kompetanse før berguttak påbegynnes. For **høydebassenger** anbefales det å utvide den generelle sikkerhetssonen til **100 m**.

Den «**indre sikkerhetssonen**» gjelder berguttak nærmere enn **15 m** fra tunnelkonturen eller **to ganger tunnelens spennvidde/ høyde** (der største verdi av disse velges). Her anbefales det krav om at den geologiske vurderingen også må inkludere reduksjon i bergmassekvaliteten/stabiliteten som følge av antatte spenningsendringer rundt tunnelen. Det anbefales også at vurderingen gjennomgås og godkjennes av Bergen Vanns ansvarlige geolog før tiltaket påbegynnes.

Dersom det planlegges berguttak nærmere enn **10 m** fra tunnelkontur, anbefales det i tillegg krav om vurdering av behovet for eventuelt avbøtende tiltak for å hindre skade på tunnel/ bergrom som følge av mulig forskyving/ støt av bergmasse inn mot tunnel/ bergrom. Dette kan f.eks. omfatte kompletterende sikring av bergmassen, kombinert med forsiktig berguttak med mer skånsomme metoder enn sprengning og pigging (f.eks. vaiersaging og mekanisk kiling).

Ved byggverk og installasjoner **etablert i dagen** (pumpehus o.l.), anbefales det også at det foretas en bygningsbesiktigelse (iht. NS8141-4:2021) dersom sprengningstiltaket er nærmere enn 50 m hvis byggverket er fundamentert på berg eller komprimerte steinmasser inntil 2 m tykkelse, og nærmere enn 100 m hvis byggverket er fundamentert på løsmasser. Likeledes anbefales det at geolog engasjeres ved berguttak nærmere enn 10 m fra byggverket.

Det anbefales at Bergen Vann etterspør skriftlig dokumentasjon av geologisk inspeksjon av bergrommet og vurdering av tiltakets påvirkning på bergrommet, inkludert opplegg for vibrasjons-/rystelsesmålinger.

Vibrasjonsmålinger skal i tunnel/ bergrom utføres trekket og slik som angitt i NS8141-1:2022 og P-828:2023. Vibrasjonsmålere av riktig type må etableres av fagkyndig personell, og plassering utføres iht. gjeldende krav og bransjepraksis. Det må presiseres at Bergen Vann skal varsles både i forkant og underveis med berguttaket, dette for å kunne ivareta planlegging og personsikkerhet for eventuelt personell som arbeider i tunnel/ bergrom.

Bergen Vann må samtidig opplyse tiltakshaver/ utførende entreprenør angående eventuelle tilleggskrav til rystelser for teknisk utstyr og installasjoner (f.eks. rør, ev. sensorer o.l.) som finnes i anlegget. Dette fordi slike installasjoner kan være styrende for rystelseskrav utover det som spesifiseres for selve byggverket eller bergrommet.

Det anbefales at Bergen Vann får nettbasert tilgang til vibrasjonsmålinger i forbindelse med arbeidene, samt at Bergen Vanns kontaktperson varsles (f.eks. pr. sms) dersom grenseverdier overskrides i måleperioden. Ved ev. overskridelse av grenseverdier, anbefales det besiktigelse(r) og dokumentering med foto/video m.m. for å undersøke om arbeidet har medført noe skader på tunnelen og installasjoner.

1 Innhold og formål

Sweco er forespurt om å vurdere og definere en generell 'sikkerhetssone' for Bergen kommune sine vann- og avløpstunneler og bergrom. Dette sett i sammenheng med tiltak (grunnarbeid og bergguttak), som kan medføre skader på Bergen Vann sine undergrunnsanlegg og tilhørende installasjoner (rør o.l.). Hovedfokus med notatet er derfor på tunneler og bergrom, og ikke byggverk i dagsonen. Denne sikkerhetssonen er ment som veiledning til kommunens saksbehandlere vedrørende om det skal stilles krav til geologisk vurdering dersom tiltak skal utføres nært kommunens eksisterende VA-tunneler og bergrom.

Notatet baseres på et litteraturstudium fra kilder som bl.a. Norsk Standard, Q-systemet for bergmasseklassifisering (NGI), Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk samt offentlige aktører som Bane NOR og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.

Notatet presenterer Sweco sine vurderinger og må anses som et levende dokument som ev. kan endres dersom nye forhold, opplysninger, standardkrav etc. fremkommer.

2 Regelverk og krav ifm. sprengning

I forbindelse med sprengning er det behov for å ivareta omgivende byggverk/ konstruksjoner (herunder også bergrom) mht. vibrasjoner og detalj- og totalstabilitet (blokkutfall og i verste fall tunnelkollaps). Det henvises bl.a. til Eksplosivforskriftens kap. 10 Bergsprengning (§§ 79-93) [1] samt veiledning til Eksplosivforskriftens kap. 10 (DSB) [2].

Før det settes i gang med sprengning, skal det iht. Eksplosivforskriftens § 83 og § 90 utarbeides plan for bl.a. informasjon og varsling til berørte parter, som Bergen Vann og eksempelvis beboere, bedrifter, politi og andre aktuelle, offentlige myndigheter.

Det henvises til plan- og bygningsloven § 28-2:

«Bygge- eller rivingsarbeid, graving, sprenging eller fylling kan ikke igangsettes uten at de ansvarlige på forhånd har truffet nødvendige tiltak for å sikre mot at skade kan oppstå på person eller eiendom, og for å opprettholde den offentlige trafikk»

Samtidig henvises det til Grannelova, bl.a. §2, §5, §6 og §9 [3]:

«Ingen må ha, gjera eller setja i verk noko som urimeleg eller uturvande er til skade eller ulempe på granneeigedom. Inn under ulempe går òg at noko må reknast for farleg.»

«Ingen må setja i verk graving, bygging, sprenging eller liknande, utan å syta for turvande føregjerder mot utrasing, siging, risting, steinsprut, lufttrykk og anna slikt på granneeigedom.»

«Når nokon vil gå i gang med planting, graving, bygging, industriverksemd eller anna tiltak som kan verta til skade eller ulempe på granneeigedom, skal han varsle grannen i rimelig tid føreåt.»

«Det økonomiske tapet nokon lid av skade eller ulempe i strid med nokor føresegn i §§ 2-5 er den ansvarlege skyldig til å bøta, anten han sjølv eller nokon han svarar for, har gjort seg skuldig i aktløyse eller ikkje. Det gjeld og skade eller ulempe av tiltak som er fremja i samsvar med avgjerder etter § 7, jf. § 8, eller av tiltak med slik oreigningsrett som nemnt i § 10 første stykket bokstav (b) eller som er lovleg etter forurensingslova av 13. mars 1981 nr. 6»

Videre henvises det til Norsk Standard, NS8141-1:2022 (*Vibrasjoner og støt – Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk – Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt på byggverk, inkludert tunneler og bergrom*) [4], kap. 4, hvor det står at:

«Før bygge- og anleggsarbeider starter opp, skal det utføres en forhåndsvurdering av forhold som påvirker fastsettelse av grenseverdier for byggverk, som gitt i NS8141-4.»

«Bygge- og anleggsarbeider skal planlegges på en slik måte at vibrasjoner og lufttrykkstøt ikke overskrider de beregnede grenseverdiene. Overskridelse medfører økt sannsynlighet for at skade kan oppstå.»

I tillegg henvises det til P-828:2023 *Veiledning til NS8141 – Vibrasjoner fra sprengning og annen anleggsvirksomhet* [5]. Det gjøres oppmerksom på at det ikke er direkte lovpålagt å bruke NS8141-1:2022 ved sprengningsarbeid, men at standarden iht. normal bransjepraksis benyttes som et verktøy for vurdering og dokumentering av vibrasjoner ifm. sprengningsarbeid m.m.

Oppsummert finnes det flere bestemmelser i både plan- og bygningsloven og grannelova som avgrenser grunneiers mulighet til å gjennomføre tiltak som negativt kan påvirke undergrunnsanlegg. Det må imidlertid påpekes at bestemmelsene i stor grad er skjønnsmessige.

2.1 Vibrasjoner

Ifølge norsk standard NS 8141-1:2022 [4] skal forhold som påvirker fastsettelse av grenseverdier for byggverk forhåndsvurderes før bygge- og anleggsarbeider starter opp. Standarden fastsetter en metode for å bestemme veiledende grenseverdier for anlegg- og grunnarbeider slik som sprengning, pigging, peling, graving o.l. Grenseverdiene i standarden bygger på erfaring om sammenhengen mellom vibrasjonshastighet og virkning på ulike byggverk i Norge. Merk at grenseverdiene iht. standarden ikke er ment å oppfattes som skadegrenser, men angir vibrasjonsverdier som byggverk forutsettes å tåle, med god sikkerhetsmargin og gjentatt eksponering.

Det gjøres også oppmerksom på at vibrasjonsgrenser for ev. følsomme installasjoner/utstyr (som rør, sensorer etc.) i eller på byggverk og i tunneler/grøfter kan være styrende foran beregnede grenseverdier for selve byggverket og tunnelen.

Vanlige (kommuniserte) vibrasjonsgrenser for installasjoner er ifølge en norsk kilde [6]:

- VA-rør: 20 mm/s for gamle rør og 50 mm/s for stål-/betongrør i god stand. Fra internasjonal litteratur [7] ble det ved sprengning nær trykksatte rør i grunnen gitt en «sikker terskelverdi» som er høyere enn dette (for grad B eller bedre stålrør og for SDR 26 eller bedre PVC rør), noe som kan antyde at rørene i praksis tåler mer enn 50 mm/s. Det som gir størst sjanse for skader på rør var ifølge [7] heller direkte støt/forskyvning av bergmasse inn mot rørene ved kort avstand til sprengstedet, og ikke vibrasjonene i seg selv.
- For gamle ståltanker er det ofte satt 20 mm/s, mens det for nyere glassfibertanker er 40 mm/s.
- Trafostasjoner har normalt 20 mm/s (10 mm/s for eldre trafoer med viklinger) [6].
- For sprengning nær plasstøpt betong under avbinding og herding er det gitt veiledende toppverdier av uveid svingehastighet avhengig av herdetid [5]:
 - o 0-4 timer (herdetid): 200 mm/s.
 - o 4-14 timer: 10 mm/s.
 - o 14-24 timer: 40 mm/s.
 - o 1-7 døgn: 100 mm/s.

- o Over 7 døgn: grenseverdier som beregnet iht. NS8141-1.

Vibrasjonsgrenser for ev. følsomme installasjoner/teknisk utstyr i undergrunnsanleggene (f.eks. UV-anlegg, pumper o.l.) må formidles av Bergen Vann til tiltakshaver, slik at dette kan hensyntas av utførende sprengningsentreprenør. Leverandører av det tekniske utstyret bør kunne oppgi eventuelle vibrasjonsgrenser på produktene som er installert.

Dersom fastsatte vibrasjonsgrenser overskrides, kan det være hensiktsmessig å være klar over at vibrasjoner under 70 mm/s utgjør vanligvis ingen fare for skader (sprekker og pussfall) på bygninger [8]. Ifølge [8] er rundt 85 mm/s et usikkert område som kan medføre finsprekker og pussfall, mens 120 mm/s og høyere verdier ofte kan forbindes med sprekkskader. Samtidig vil langt mindre vibrasjoner kunne oppleves negativt for mennesker. Så lite som 1 mm/s er lett merkbart, 6 mm/s kan føles ubehagelig, og 19 mm/s fremstår som kraftige vibrasjoner for mennesker.

For alminnelige byggverk i dagen beregnes den uveide grenseverdien for vibrasjoner, v (i mm/s), ved empirisk valgte størrelser, vektet med nedenforliggende formel, og der input-verdier velges iht. tabeller gitt i standarden [4]:

$$v = v_0 * F_g * F_b * F_m * F_f * F_d * F_k$$

der

v_0 Ukorrigert toppverdi av vertikal svingehastighet i millimeter per sekund, fastsatt til 20 mm/s.

F_g Grunnforholdsfaktor, som tar hensyn til grunnforholdene der byggverket står.

F_b Byggverksfaktor, som er avhengig av type, utforming og tilstand av byggverket.

F_m Material- og bygningsdetaljfaktor, som tar hensyn til hovedmaterialene i byggverket.

F_f Fundamenteringsfaktor, som er avhengig av hvordan byggverket er fundamentert i relasjon til grunnforholdene.

F_d Avstandsfaktor, som tar hensyn til avstanden mellom vibrasjonskilden og målepunktet.

F_k Kildefaktor, som tar hensyn til egenskapene til vibrasjonskilden.

Resultatet, v , fra beregningen skal avrundes til nærmeste heltall i mm/s.

For tunneler og bergrom er fastsatte basisverdier for toppverdi av uveid svingehastighet avhengig av bergkvalitet og bergsikring gitt i Tabell 1, hentet fra [4].

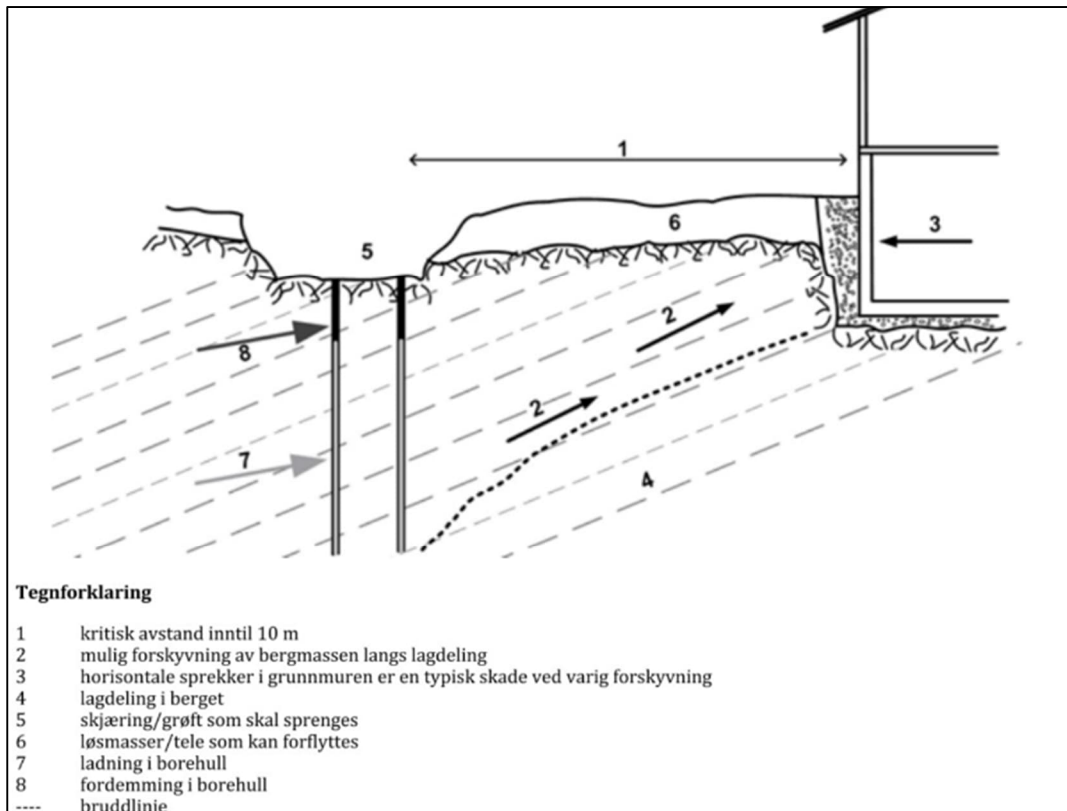
Tabell 1 Basisverdier for toppverdi av uveid svingehastighet, avhengig av bergkvalitet og sikringsnivå, for tunneler/bergrom [4].

Beskrivelse av tilstanden til tunnel/bergrom		$V_{\text{tunnel}}^{a, b}$ [mm/s]
Bergkvalitet	Bergsikring	
Dårlig berg	Kun spredt bolting eller ingen forsterkning, eller uarmert sprøytebetong	30
	Armert sprøytebetong sikret med bolter	50
	Sikring med full utstøping	100
Godt berg	Kun spredt bolting eller ingen forsterkning, eller uarmert sprøytebetong	50
	Armert sprøytebetong sikret med bolter	100
a) Dersom tunnelen eller bergrommet ikke er i bruk, kan det vurderes å heve de angitte grenseverdiene med en faktor på 1,25. b) Tekniske installasjoner i tunneler kan være styrende for grenseverdien. Data for teknisk utstyr i tunnelen eller bergrommet kan innhentes fra teknisk regelverk eller fra leverandør.		

2.2 Konstruksjonsskade

I tillegg til mulige vibrasjonsskader på byggverk kan det foreligge fare for å påføre setningsskader, forårsake skredhendelser fra høyereliggende terreng eller utglidninger som følge av vibrasjoner eller utgang av sprenggasser i bergsprekker. Ved sprengning nærmere enn 10 m fra byggverk er de fleste skader relatert til løft eller forskyving av bergmasse inn mot eller under byggverk (ev. blokkutglidning/tap av skjæringskontur inn mot eller under byggverk), noe som kan være mer kritisk mht. konstruksjonsskade enn selve rystelsene [5] (Figur 1).

Det kan også foreligge fare for generelt negativ menneskelig opplevelse, f.eks. i forbindelse med langvarig pigging og peling.



Figur 1 Forskyvning av bergmasse ved sprengning i dagsone, der avstand inntil 10 m fra sprengsted til konstruksjon er ansett som kritisk mht. mulig forskyvning/støt/løft av bergmasse inn mot eller under konstruksjonen [5], ev. også tap av skjæringskontur i form av at større volum av berg glir ut inn mot eller under konstruksjonen. I slike tilfeller anbefales det vurdering av avbøtende tiltak i form av for eksempel bergsikring før berguttaket, eller bruk av alternative berguttaksmetoder (som avbøtende tiltak brukes det til informasjon ofte sømboring i kombinasjon med steile forbolter).

3 Påvirkningsfaktorer

Sårbarheten til Bergen vann sine berganlegg vil bl.a. avhenge av bergteknisk situasjon, status og tilstand til anlegget samt plassering og gjennomføring av planlagt tiltak.

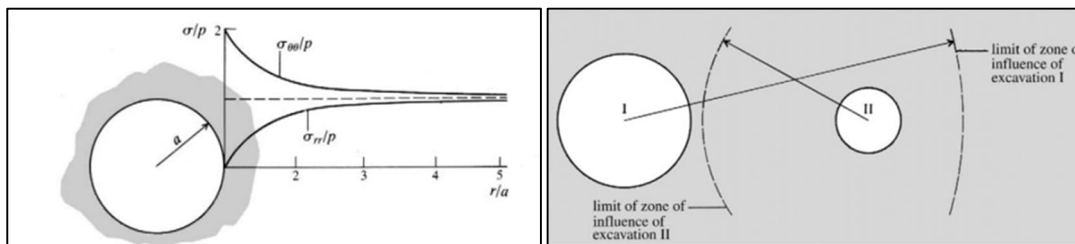
3.1 Bergteknisk situasjon

3.1.1 Bergoverdekning og bergkvalitet

Bergrommets stabilitetsforhold vil i stor grad være avhengig av bergoverdekning og avstand til planlagt berguttak for tiltaket. Det vises til flere «tommelfingerregler» for minste overdekning av tunnel, som f.eks. 1,5-2,5 av spennvidden til tunnelen, eller minimum overdekning lik tunnelens spennvidde, men det foreligger etter det Sweco kan se ingen klare føringer for disse antagelsene. Det må samtidig presiseres at stabiliteten i tillegg til overdekningen vil avhenge av andre geologiske forhold som bergmassens oppsprekingsgrad, sprekkeorienteringer, vannforhold m.m. Teoretiske beregninger av Brady & Brown [9], angående influenssoner til bergrom, samt en praktisk beregningsmetode i Q-systemet til NGI [10] for klassifisering av bergmasseklasse gir likevel anslag angående spenningsforholdene rundt bergrom.

Brady & Brown, 2006

Beregninger av spenningsforhold rundt et forutsatt hydrostatisk spenningsfelt og sirkulære tunneltverrsnitt av lik dimensjon, viser at spenningen (σ) i et hydrostatisk spenningsfelt med magnitude p er tilnærmet ubetydelig dersom senteravstanden mellom berggrommene (D) er mer enn seks ganger radiusen til berggrommet [9]. Tunneler som er plassert utenfor hverandres influenssone vil derfor ikke være påvirket av hverandre.



Figur 2. En tunnels påvirkning på omgivende spenningsfelt er neglisjerbar ved avstand lenger unna enn tilsvarende seks ganger radiusen (a) fra tunnelens midt/senter. For to bergrom med ulike dimensjoner vil det største berggrommet kunne ha påvirkning på spenningsfeltet rundt det mindre berggrommet, dersom dette ligger inn forbi seks ganger radiusen fra det store berggrommet.

Dersom det antas at samme forhold også gjelder mellom tunnel/bergrom og eventuelle inngrep i nærheten (underjordisk eller på overflaten/ i dagen), vil det si at en geologisk vurdering bør gjennomføres av tiltaket dersom tiltaket er innenfor minimum 6 ganger radiusen fra senter av tunnelen. I praksis betyr det at tiltaket må være i en avstand med bergoverdekning minst $2 \times$ (den største av spennvidden eller høyden) til tunnelen for at påvirkningen på bergspenningene rundt tunnel/bergrom skal kunne neglisjeres. Teorien presenteres som axi-symmetrisk, slik at tilsvarende avstander gjelder i samtlige retninger, også i forhold til overdekning.

Q-systemet

Q-systemet [10] er det mest brukte bergmasseklassifiseringssystemet i Norge, hvor bergmassekvaliteten (Q-verdien) kan estimeres ut ifra 6 parametere. En av parametere er spenningsforholdene, som beskrives vha. en spenningsfaktor (Stress Reduction Factor). $SRF = 1$ angir «middels spenninger, gunstige spenningsforhold», og en økning i SRF-verdi medfører redusert verdi for bergmassekvalitet. I kompetent og hovedsakelig massiv bergmasse angis det en økning i SRF-verdi på 2,5 dersom bergartens enaksiale trykkfasthet (σ_c) overstiger hovedspenningen (σ_1) 200 ganger, dvs. ved «Lave spenninger, nær overflaten, åpne sprekker»:

$$\sigma_c / \sigma_1 > 200$$

Grovt forenklet kan man anta at de fleste gneiser og øvrige bergarter innenfor Bergensområdet har enaksial trykkfasthet (UCS) $\sigma_c \geq 75$ MPa. Hvis man i tillegg (konservativt) antar vertikalspenningen som hovedspenning (σ_1), og bruker en antatt generell tyngdetetthet (ρ) på 26 kN/m³ for bergartene, kan man estimere en generell dybde/ overdekning (h) for når forholdet mellom σ_c og σ_1 er større enn 200, og at man da kan sies å være «nær overflaten» iht. Q-systemets kategorisering for bruk av SRF-verdi 2,5:

$$\sigma_c / \rho h > 200$$

$$75 \text{ MPa} / (200 \times 0,026) > h, \text{ som gir } \sim 15 \text{ m}$$

Dvs. at for h (overdekning) som er mindre enn ca. 15 meter, vil man få $\sigma_c / \sigma_1 > 200$, og dermed en økt SRF-verdi til 2,5 som reduserer bergmassekvaliteten iht. Q-systemet.

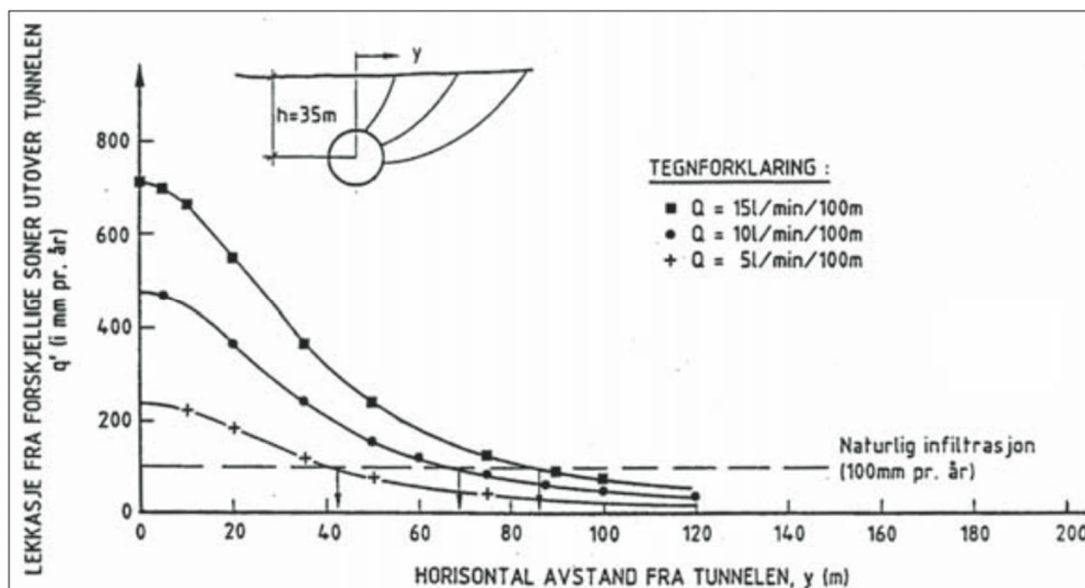
Videre angir Q-systemet at der dybden av hengen under overflaten er mindre enn spennet på tunnelen, altså at bergoverdekningen/-«tykkelsen» (målt fra taket av tunnelen og opp i dagsonen) er mindre enn spennvidden/bredden på tunnelen, så anbefales det å øke SRF-verdi fra 2,5 til 5. En slik økning vil ytterligere redusere bergmassekvaliteten iht. Q-systemet.

3.1.2 Innlekkasjer i tunneler/ bergrom

For Bergen Vann sine tunneler og bergrom, er det særlig for de eksisterende vannbassengene viktig å hindre innlekkasjer som kan kontaminere vannet. Dette kan skje ved endring i vannstrømninger gjennom bergsprekker. Vannbassenger ligger stort sett som høydebassenger, hvor sprengning på lik høyde eller høyde over vannbasseng ofte ikke er aktuelt. Likevel er det viktig å ta hensyn til dette når tiltak planlegges. Utlekkasjer fra vannbasseng vil også kunne forekomme, men antas å ha liten eller ingen innvirkning på vannkvaliteten i bassenget.

Dreneringsforhold i berggrunnen kan endres ved åpning/ lukking av eksisterende og nye sprekker. Sannsynligheten for en slik endring i grunnvannsstrømmer vil variere med avstand til berguttak og uttaksmetode. I Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk (NFF) håndbok om *Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg* vises det sammenheng mellom permeabilitet og innlekkasje i tunnel/bergrom [11, 12]. Infiltrasjon/lekkasje fra forskjellige soner (med ulik permeabilitet) langs en tunnel med 8 m diameter og 35 m overdekning er vist som en funksjon av horisontal avstand fra tunnelaksen. Resultatet viser at målt infiltrasjon/ lekkasje fra overflaten er størst i området like over tunnelen, og minker med økende avstand fra tunnelen. Ved ca. 100 m avstand fra tunnelen, er det målt liten grad av infiltrasjon/ lekkasje i overflaten, nærmest uavhengig av variasjoner i bergets permeabilitet (Figur 3).

Tilgjengelige måledata av grunnvannssenkning i relasjon til avstand fra veitunnelprosjekter på Øst- og Sørlandet [13] viser også at det kun er registrert mindre endringer i grunnvannsnivået ved en avstand på 200-300 m fra tunnelene.



Figur 3. Diagrammet viser lekkasje gjennom overflaten i relasjon til avstand fra tunnelaksen for soner med forskjellige permeabiliteter. Figuren er hentet fra [12].

3.1.3 Mulighet for inspeksjon

Inspeksjonsmulighetene varierer i ulike deler av Bergen Vann sine undergrunnsanlegg, dette grunnet bl.a. varierende tverrsnittsareal, vannføring på sålen istedenfor i rør, og at deler av undergrunnsanleggene er borehull som ikke kan inspiseres fysisk av personell. Dersom inspeksjon ikke er mulig og anlegget vurderes som sårbart/kritisk mht. ev. skader, kan det derfor være behov for å etterspørre en mer konservativ prosjektering av berguttaket og vibrasjonsgrenser for å ta spesielt hensyn til dette. En slik prosjektering bør inkludere vurdering av alternative og mer skånsomme metoder for berguttak enn konvensjonell sprengning og pigging.

3.2 Egenskaper til undergrunnsanlegget

3.2.1 Type VA-anlegg og eksisterende infrastruktur

Enkelte typer anlegg, som for eksempel vannbassenger og UV-anlegg, anses mer sårbare/kritisk (også mht. sekundærkonsekvens) enn eksempelvis en overvannstunnel eller avløpstunnel uten etablerte rør/installasjoner. Ved arbeider tett på vannbasseng kan drenering av grunnvann inn/ut av vannbassenget endres og forårsake innlekkasjer og forurensinger/ending av vannkvalitet.

Type og mengde installasjoner og konstruksjoner i Bergen Vanns undergrunnsanlegg varierer mye, fra overvannstunneler uten installasjoner, tunneler med eksponerte rørtraseer for vann/avløp/ fjernvarme/ strøm etc., til bergrom med store renseanlegg, pumpeanlegg, UV-anlegg samt kritiske vannbasseng (Figur 4). Sårbarheten til infrastrukturen vil derfor kunne variere. Det er dermed viktig å få oversikt over type infrastruktur/ installasjoner i tunneler og bergrom for å vurdere konsekvenser (både primært og sekundært) av det planlagte tiltaket.



Figur 4 Det er stor forskjell på Bergen Vann sine tunnelanlegg, fra tunneler med f.eks. mye rørinstallasjoner (foto til venstre) og f.eks. overvanns/avløpstunneler uten noen installasjoner i (foto til høyre). Dette påvirker også hvor sårbare og kritiske de er for skader fra ev. blokkutfall o.l. som kan forårsakes fra berguttak/sprengning i nærheten.

3.2.2 Anleggets tilstand og eksisterende bergsikring

Det er erfaringsmessig stor variasjon i mengde, tilstand, alder og dokumentasjon på eksisterende sikring i Bergen Vanns undergrunnsanlegg. Noen anlegg kan ha omfattende bergsikring (f.eks. både sprøytebetong og bolting), mens andre anlegg kan ha lite eller ingen bergsikring (f.eks. kun spredt bolting eller usikret). Omfang av etablert bergsikring er viktig å få avklart, siden det har sammenheng med vibrasjonskrav (Tabell 1).

I tillegg er eksisterende sikring stort sett installert med tanke på sjeldent personopphold og med hovedhensikt å beskytte installasjoner mot nedfall. Sikringen er ikke prosjektert og installert med hensikt på å ivareta stabilitet ved for eksempel rystelser under fremtidige anleggsarbeid tett på bergrom.

3.3 Planlagt tiltak

3.3.1 Omfang og varighet av det planlagte tiltaket

Omfang av berguttak vil kunne ha betydning for både varighet og ønskede uttaksmetoder. Eventuell overvåking og nødvendige tilleggsinspeksjoner i forbindelse med anlegget kan trekke ut i tid dersom det planlegges et større inngrep.

3.3.2 Uttaksmetode og gjennomføring av berguttak

Uttaksmetode for berg, men også metode for stabilisering av løsmasser, vil kunne ha betydning for hvor mye rystelser undergrunnsanlegget blir utsatt for. Ved sprengning, men også ved pigging med hydraulisk pigghammer, komprimering, spunting etc., går en del av energien med til å sette omgivelsene i bevegelse. Dette kan skade undergrunnsanlegg så vel som bygninger, installasjoner og andre konstruksjoner i nærheten. Sprengnings- og piggingsarbeidene må derfor planlegges og utføres slik at det ikke oppstår vibrasjonsskader på bygningskonstruksjoner eller andre installasjoner i nærheten. Også rekkefølger på uttak, salveplaner, pallhøyder m.m. vil kunne ha innvirkning på anleggets påvirkning på omgivelsene.

4 Sikkerhetssoner

4.1 Definisjon

Sikkerhetssone er her definert som minimum avstand mellom planlagt tiltak (sprengningslinjen) og eksisterende VA-anlegg (tunnel og bergrom). Avstanden angir hvor det anbefales å sette krav om geologisk vurdering av eventuelle konsekvenser som tiltaket kan ha på undergrunnsanlegget, samt detaljprosjektering av nødvendige tiltak for å ivareta tunnelens stabilitet og funksjon.

4.2 Relevante standarder og føringer fra andre aktører

Sprengning nærmere enn 30 m fra Statnett eller Bane NOR sin infrastruktur krever søknad/ varslings av tiltaket. Disse sikkerhetssonene relateres til sprengningsarbeider, men er ikke nødvendigvis sett i sammenheng med påvirkning av bergrom. Bybanen i Bergen forholder seg også til jernbaneloven, der det refereres til §10:

«Det er forbudt uten tillatelse fra kjøreveiens eier å oppføre bygning, anlegg eller annen installasjon, foreta utgraving eller oppfylling mv. innen 30 meter regnet fra nærmeste spors midtlinje.»

I henhold til NS 8141-1:2022 [4] skal det ved sprengning innenfor en avstand på 50 m fra tunneler og bergrom, utføres en visuell inspeksjon av en person med «*bergteknisk kompetanse for å kartlegge sikringsmetode, omfang og bruk. Etter denne inspeksjonen skal det vurderes om det er nødvendig å gjennomføre en mer grundig kartlegging av tilstanden til tunnelen eller bergrommet*».

I NS 8141-4:2021 [14] er det gitt anbefalinger til bygningsbesiktigelse ved sprengning i dagen der bygninger er fundamentert på berggrunn eller komprimerte steinmasser inntil 2 m tykkelse innen en avstand på 30-50 m, og 50-100 m avstand dersom bygningen er fundamentert på løsmasser. For tunneler/bergrom gjelder besiktigelsen i hele tverrsnittet. Besiktigelsen dokumenteres av kvalifisert personell med video, foto og tekst iht. standardens anvisninger.

4.3 Sikkerhetssoner for Bergen vann sine undergrunnsanlegg

Da Bergen Vann sine tunneler og bergrom har stor variasjon i både tverrsnitt, tilstand, innhold av ev. installasjoner/ konstruksjoner, i tillegg til eksisterende sikring, anbefales det å ta utgangspunkt i en generell og konservativ grense for sikkerhetssonen. Det anbefales derfor å angi en generell sikkerhetssone på 50 m (korteste avstand/skråavstand) fra tunneler og bergrom iht. NS8141-1:2022. Denne avstanden favner om de øvrige kravene og beregningene gitt ovenfor. Dersom det er spesielt viktig å unngå infiltrasjon av forurensing ved innlekkasje av mulig forurenset vann til berganlegget (f.eks. høydebasseng), anbefales sikkerhetssonen utvidet til 100 m.

Dette vil si at det anbefales å sette krav (i den grad det er mulig) til geologisk inspeksjon og vurdering av Bergen Vann sine anlegg dersom tiltak (bergguttak) skal gjennomføres innenfor en avstand ≤ 50 m (≤ 100 m for høydebassenger) fra konturen av eksisterende tunneler/bergrom.

Ved bergguttak nærmere enn 15 m fra tunnelkonturen eller to ganger tunnelens spennvidde eller høyde (der største verdi av disse velges), anbefales det at den geologiske vurderingen også inkluderer reduksjon i bergmassekvaliteten (iht. Q-systemet) som følge av antatte spenningsendringer rundt tunnelen.

Ved bergguttak nærmere enn 10 m (ref. Figur 1), anbefales det i tillegg krav om vurdering av behovet for eventuelt avbøtende tiltak for å hindre skade på tunnel/ bergrom som følge av

mulig forskyvning/ støt /løft av bergmasse inn mot tunnel/ bergrom. Dette kan f.eks. omfatte kompletterende sikring av bergmassen (innenfra tunnelen og/eller fra dagsonen), ev. kombinert med forsiktig berguttak med mer skånsomme metoder.

Geologisk inspeksjon og vurdering skal dokumenteres skriftlig. Dersom tiltaket vurderes å kunne påvirke tunnelen vil det være behov for geologisk rapport som beskriver prosjekterte tiltak, planlagt oppfølging, kontrollklasser og geoteknisk kategori (inkludert tilhørende ekstern kontroll).

Vibrasjonsmålinger skal i tunnel/ bergrom utføres trekket og utføres ellers som angitt i NS8141-1:2022 og P-828:2023. Vibrasjonsmålere av riktig type må etableres av fagkyndig personell, og plassering utføres iht. gjeldende krav og praksis. Det anbefales at Bergen Vann får nettbasert tilgang til vibrasjonsmålinger i forbindelse med arbeidene, samt at Bergen Vanns kontaktperson varsles (f.eks. pr. sms) dersom grenseverdier overskrides i måleperioden.

Eventuell bruk av tunnel/ bergrom under sprengning og pigging bør av sikkerhetshensyn reguleres, avhengig av beregnet eller målt vibrasjonsverdi mot angitt grenseverdi. Det vil også kunne bli kraftig støy ved sprengning eller pigging nært undergrunnsanlegg, så det er viktig å varsle de som oppholder seg i undergrunnsanlegget om sprengningsarbeidet. Bergen Vann anbefales derfor å be om at ansvarlig utførende informerer om sine sprengningsplaner og varsler Bergen Vann i god tid (f.eks. min. 2-3 virkedager) før utførelse av sprengningsarbeid. Dette slik at Bergen Vann får mulighet til å planlegge for at ev. personell ikke oppholder seg i undergrunnsanlegg nært tiltaket under sprengning og pigging.

4.4 Anbefalte sikkerhetssoner

Det spesifiseres at tiltakshaver selv har ansvaret for å ivareta at prosjektet blir gjennomført på en forsvarlig måte etter naboloven/ grannelova §5 *Tiltak*, §6 *Varslingsplikt* og §13 *Eigedomar og anna som tóler særlig lite*, samt eksplosivforskriften. Formålet med sikkerhetssoner i dette notatet er ivaretagelse av Bergen Vanns tunneler og bergrom.

Sweco anbefaler at Bergen Vann setter følgende krav til sikkerhetssone, som definert i kap. 4.1, for tunneler og bergrom:

4.4.1 Generell sikkerhetssone

Ved berguttak innenfor en «generell sikkerhetssone» på 50 m (skråavstand/ korteste avstand) fra eksisterende tunnel/ bergrom, gjennomføres visuell inspeksjon og kvalitetssikret vurdering av personell med dokumentert geologisk/ bergteknisk kompetanse før berguttak påbegynnes.

Bergen Vann må opplyse tiltakshaver/ utførende entreprenør angående eventuelle tilleggskrav til rystelser for teknisk utstyr, som kan være styrende for rystelseskraav utover det som spesifiseres for selve bergrommet i NS8141-1:2022 (ref. tabell 7, gjengitt i tabell 1 her).

Bergen Vann anbefales å kreve dokumentasjon av utført geologisk inspeksjon/ vurdering, inkludert opplegg for rystelsesmålinger, før berguttak påbegynnes.

Bergen Vann varsles både i forkant og underveis med berguttaket, for å kunne ivareta planlegging og personsikkerhet for eventuelt personell som arbeider i tunnel/ bergrom). Det anbefales også å be om digital tilgang til rystelsesmålinger samt umiddelbar (automatisk) varsling dersom grenseverdier overskrides.

4.4.2 Indre sikkerhetssone

Ved gjennomføring av tiltak (alle former for berguttak samt boring, peling, spunting, vibrokomprimering og anleggstrafikk) innenfor den største avstandsverdien av pkt. a og b nedenfor, skal kravene og den geologiske inspeksjonen/ vurderingen (jf. pkt. 1) i tillegg vurderes og godkjennes av Bergen Vanns ansvarlige geolog før tiltaket påbegynnes.

Bergarbeid innenfor denne «indre sikkerhetssonen» forventes å utløse behov for mer detaljert prosjektering av bergarbeidene:

- a) Avstand < 15 m fra eksisterende tunnel/ bergrom.
- b) Avstand < 2 ganger spennvidde/ høyde av tunnel/ bergrom.

Ved berguttak nærmere enn 10 m, anbefales det i tillegg krav om vurdering av behovet for eventuelt avbøtende tiltak for å hindre skade som følge av mulig forskyving/ støt av bergmasse inn mot tunnel/ bergrom, økt innlekkasje m.m. Dette kan f.eks. omfatte skånsomme metoder for berguttak som mekanisk kiling/ hydraulisk sprengning (*drill & split*), sprengsement, vaiersaging, sømboring, bruk av pyroteknisk 'sprengstoff' o.l., og vurdering av behov for supplerende bergsikring i tunnel/ bergrom eller i dagsonen (f.eks. forbolter).

4.4.3 Utvidet sikkerhetssone (høydebasseng)

Ved etablering av tiltak innenfor 100 m fra undergrunnsanlegg som er sårbare for endringer i grunnvannsforhold (hovedsakelig vannbasseng), skal det foretas geologiske vurderinger av hydrogeologiske/ drenerende forhold, samt eventuelle behov for, og prosjektering av tiltak for å ivareta og eventuelt overvåke grunnvannstrømning i forhold til planlagt tiltak (størrelse, type berguttak, beregning av potensielle vibrasjoner iht. NS 8141-1:2022 [4]).

4.5 Kostnader for geologisk prosjektering og bergsikringsarbeid

Kostnader for geologiske vurderinger / prosjektering og eventuelt behov for supplerende bergsikringsarbeid forutsettes i utgangspunktet dekket av tiltakseier.

5 Referanser

- [1] «Forskrift om sivil håndtering av eksplosjonsfarlige stoffer (eksplosivforskriften) - Kapittel 10 Bergsprengning,» [Internett]. Available: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-15-844/KAPITTEL_10#KAPITTEL_10.
- [2] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Bergsprengning: Veiledning til kapittel 10,» [Internett]. Available: <https://www.dsb.no/lover/farlige-stoffer/eksplosiver/veiledning-til-eksplosivforskriften-kap.-10/>.
- [3] «Lov om rettshøve mellom grannar (grannelova),» [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1961-06-16-15>.
- [4] Norsk Standard, NS8141-1:2022 (Vibrasjoner og støt - Veiledende grenseverdier for bygge og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk - Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt på byggverk, inkludert tunneler og bergrom.
- [5] Standard Norge, «P-828:2023 Veiledning til NS 8141 - Vibrasjoner fra sprenging og annen anleggsvirksomhet,» 2023.
- [6] H. Herland, «Temakveld for bergsprengere; Grenseverdier for vibrasjoner og lufttrykkstøt NS8141:2022-1. PP-presentasjon 13.06.2023.,» Multiconsult Norge AS, Kristiansand, 2023.
- [7] D. E. Siskind, M. S. Stagg, J. E. Wiegand og D. L. Schulz, Surface Mine Blasting Near Pressurized Transmission Pipelines, RI9523, United States Department of the Interior; Bureau of Mines, 1994.
- [8] A. Bruland, TBA4150 Anleggsteknikk grunnkurs (kompendium), NTNU, 2016.
- [9] B. H. Brady og E. T. Brown, Rock Mechanics for underground mining, Springer Science & Business Media, 2006.
- [10] NGI, «Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning,» NGI, 2015.
- [11] Norsk forening for Fjellsprengningsteknikk, «Håndbok "Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg",» NFF, 2010.
- [12] Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, «Berginjeksjon,» 2002.
- [13] K. Karlsrud, L. Erikstad og P. Snilsberg, «Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta miljø,» 2003.
- [14] Standard Norge, NS8141-4:2021 Vibrasjoner og støt - Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk - Del 4: Retningslinjer for besiktigelse av byggverk og eiendom før bygge- eller anleggsstart.