

Fv. 828 Herøysundbrua

VEILEDNING FOR VIRBRASJONER FRA SPRENGNINGSARBEIDER

ALLE OMRÅDER

	Beskrivelse	Fase
Prosjekt	Fv. 828 Herøysundbrua	-
Klient		-
Dokument ID		-

Dokumentets status og historikk		
Revisjon	Beskrivelse av de viktigste endringene	Dato
00	Første utgave	11.03.2022

	Forfatter	Utg.
Skrevet	CAPONI SIMONE	00
Verifisert	STEFANO PESA	00
Godkjent	MICHELE CIVIERO	00

Dette dokumentet tilhører SWS og kan bare brukes til det formålet det leveres til. Hel eller delvis reproduksjon eller bruk av informasjonen i dokumentet er strengt forbudt uten uttrykkelig skriftlig tillatelse fra SWS
SWS-mal versjon01

INDEKS

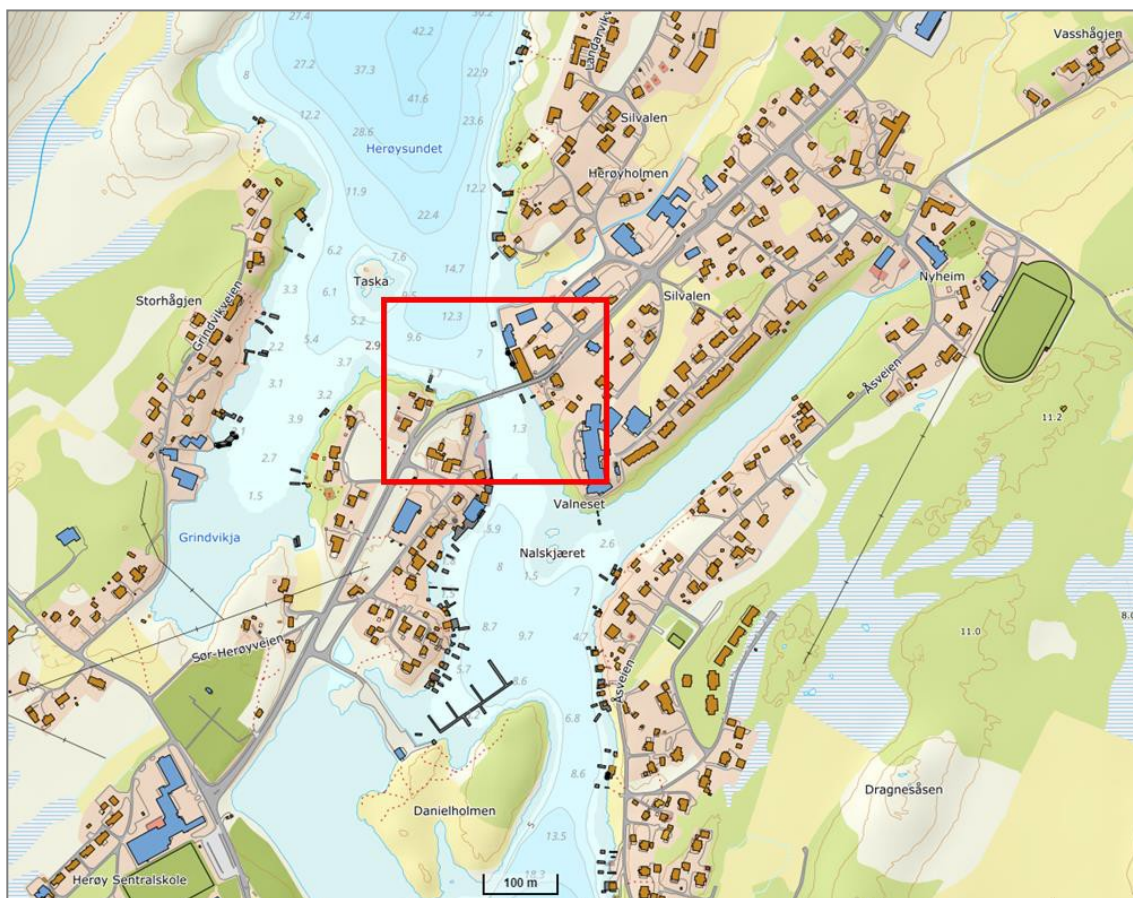
1	INTRODUKSJON	5
2	REFERANSER	7
2.1	Lover og standarder	7
2.2	Andre reguleringer	7
3	STANDARDER	8
3.1	Norsk standard NS 8141	8
4	KRAV TIL VIBRASJONSKONTROLL	10
4.1	Generell	10
4.2	Byggingnspeksjon	10
4.2.1	<i>Kartlegging av spesielle forhold</i>	10
4.3	Vibrasjonsmålingsutstyr	11
4.3.1	<i>Installasjon av måleutstyr</i>	11
4.3.2	<i>Krav til måleutstyr</i>	11
4.3.3	<i>Rapportering</i>	11
4.4	Luftstøt og flysteiner	11
5	BESTEMMELSE AV VIBRASJONSKRAV	13
5.1	Grunnforhold og geologi.....	13
5.2	Beregning og evaluering av vibrasjonsgrenseverdier	13
6	UBEHAGELIGE VIBRASJONER	15
7	Konklusjon	
	VEDLEGG A - NS 8141:2001 FAKTORER	17
7.1	Grunnlagsfaktor.....	17
7.2	Konstruksjonsfaktor.....	17
7.2.1	<i>Strukturfaktor</i>	17
7.2.2	<i>Materialfaktor</i>	17
7.2.3	<i>Konstruksjonsfaktor</i>	18
7.3	Avstandsfaktor	18
7.4	Kildefaktor	18

1 INTRODUKSJON

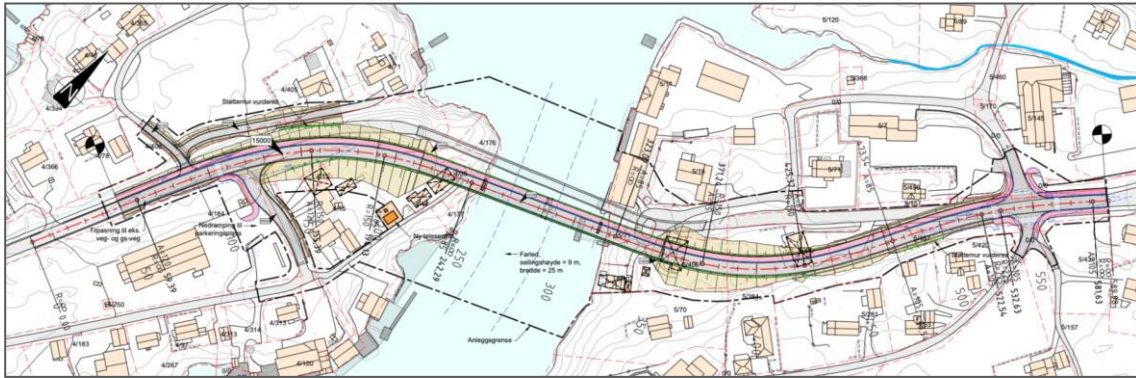
Herøysundbrua går over sundet som forbinder de to øyene Nord-Herøy og Sør-Herøy, og som utgjør bygda Silvalen (eller Herøyholmen) i administrasjonssenteret i Herøy kommune i Nordland fylke Figur 1.

I 2020 startet Nordland fylkeskommune planleggingsarbeidet for ny bru, like sør for eksisterende bru. Den nye brua har som mål å øke framkommeligheten og ivareta trafiksikkerheten. Veiprojektet vil gi ca 550 meter ny vei, der ca 135 meter er ny bru over Herøysundet Figur 2.

Siden byggingen av brufundamentene vil kreve fjellsprenningsarbeider, har dette dokumentet som mål å gi retningslinjer for vurdering av vibrasjonsgrensene på konstruksjonene som blir involvert, gi indikasjoner for prosedyrer og overvåking som skal gjennomføres under sprengningsarbeider. Det gis også et foreløpig anslag av grenseverdiene for sprengningsvibrasjoner.



Figur 1 – Herøysundbrua.



Figur 2 – Herøysundbrua. Oversikt.

2 REFERANSER

Dette kapitlet presenterer referansedokumentene som er brukt til å utarbeide dette dokumentet.

2.1 Lover og standarder

[1] **NS 8141: 2001**

Vibrasjoner og støtmåling av svingehastighet og beregning av veiledende grenseverdier for å unngå skade på byggverk

[2] **NS 8141-1: 2012 + A1: 2013**

Vibrasjoner og støt – Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk – Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt fra sprengning på byggverk, herunder tunneler og bergrom.

[3] **NS 8141-2: 2013**

Vibrasjoner og støt – Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk – Del 2: Virkning av vibrasjoner på byggverk fra andre anleggsvirksomheter enn sprengning, og fra trafikk

[4] **NS 8141-3: 2014**

Vibrasjoner og støt – Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk – Del 3: Virkning av vibrasjoner fra sprengning på utløsning av skred i kvikkleire

[5] **Veiledning til NS 8141-1 og 8141-2**

Vibrasjoner fra sprengning og annen anleggsvirksomhet – Veiledning til NS 8141-1:2012+A1 og NS 8141-2:2013. P-741.

2.2 Andre reguleringer

[6] **BS 7385-2:1993**

Evaluering og måling av vibrasjoner i bygninger – Del 2: Veiledning om skadenivåer fra jordledede vibrasjoner

[7] **Din 4150-3:2016-12**

Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen ("Vibrasjoner i bygninger – Del 3: Virkninger på konstruksjoner")

[8] **SN 640312:2013-12**

Erschütterungen - Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke.SR 12025/2:

3 STANDARDER

3.1 Norsk standard NS 8141

De veiledende vibrasjonsgrenseverdiene for konstruksjon, gruvedrift og trafikk er presentert i NS 8141 og er publisert fra 2012 til 2014 i tre deler:

- Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt fra sprengning på byggverk, inkludert tunneler og bergrom. Dette ble utgitt i 2012 med endringer i 2013 (ref. til [2]).
- Del 2: Virkning av vibrasjoner på byggverk fra andre anleggsvirksomheter enn sprengning, og fra trafikk. Denne ble utgitt i 2013 (ref. til [3]).
- Del 3: Virkning av vibrasjoner fra sprengning på utløsning av skred i kvikkleire. Denne ble utgitt i 2014 (ref. til [4]).

Den reviderte standarden introduserte frekvensvektet vibrasjonsmåling, som betyr at den målte verdien av lavfrekvente vibrasjoner forsterkes, og høyfrekvente vibrasjoner reduseres tilsvarende. Lavfrekvente vibrasjoner er mer skadelig for bygninger enn vibrasjoner ved høyere frekvenser. Når en frekvensveid vibrasjonsmåling brukes, avhenger grenseverdien bare av konstruksjonens egenskaper.

I tillegg ble den triaksiale målingen innført når avstanden mellom sprengningsstedet og målepunktet er mindre enn 10 m.

Kort tid etter innføringen av NS 8141-1:2013 var tilbakemeldingene fra frekvensvektede målinger av sprengningsvibrasjoner ikke som forventet i noen tilfeller. Spesielt for sprengning nær bergfundamenterte konstruksjoner ble det målt vibrasjoner som var betydelig høyere enn forventet. Dette resulterte i en innstramming av vibrasjonsgrensene sammenlignet med forrige NS 8141:2001[1].

I stedet for i del 2 og 3 av standarden fungerte bruken av frekvensfilteret som forventet.

På bakgrunn av disse oppdagelsene gjorde Standard Norge NS 8141:2001 gyldig igjen og, etter en periode med overlapping av de to standardene, fra 1. oktober 2016 opphevet den NS 8141-1:2013 og gjorde kun NS 8141:2001 gyldig.

Derfor er følgende versjoner av NS 8141 gyldige:

- NS 8141: 2001
- NS 8141-2:2013
- NS 8141-3:2014

I praksis betyr dette at for sprengningsarbeider skal NS 8141:2001 benyttes.

For byggearbeider som ikke involverer eksplosjoner anbefaler vi NS 8141-2: 2013, og derfor frekvensvektede vibrasjonsgrenseverdier, selv om 2001-versjonen også kan brukes. Det anbefales å bruke bare én standard i samme prosjekt for å unngå forvirring. For dette

prosjektet anbefales det å bruke NS 8141: 2001 som grunnlag for å definere grenseverdiene for byggverkene.

For steder der det finnes kvikkleire, skal NS 8141-3 brukes.

Grenseverdiene som er utviklet i henhold til de angitte standardene, er veiledende og basert på erfaringer med sammenhengen mellom vibrasjoner og påvirkningen på konstruksjoner av flere typer og forhold i Norge. Formålet med å fastsette grenseverdier er å hindre at sprengning eller andre byggevirksomheter forårsaker skade på bygninger. Grenseverdiene beregnet i henhold til standardene skal inneholde en god sikkerhetsmargin opp til verdier som det kan forventes skader på bygninger ved. Veiledende grenseverdier er derfor ikke ment som skadegrenser. I henhold til standarden skal sprengning planlegges på en slik måte at de beregnede grenseverdiene ikke overskrides ved sprengning. Å overgå dem øker sannsynligheten for at det oppstår skade.

4 KRAV TIL VIBRASJONSKONTROLL

4.1 Generell

Sprengningsarbeider skal planlegges slik at vibrasjoner ikke forårsaker skade på omkringliggende bygninger og konstruksjoner.

I byggeperioden skal det sikres at sprengningsarbeider utføres på en slik måte at grenseverdiene for tillatte vibrasjoner på bygninger og konstruksjoner ikke overskrides.

Vibrasjonskravene skal dimensjoneres for alle bygninger og konstruksjoner minst 100 m fra vibrasjonskildene.

Planlagt sprengningsarbeid skal ta hensyn til potensielle skader på grunn av lufttrykk, fallende steinblokker og vibrasjoner.

4.2 Bygginspeksjon

En kartlegging av bygningenes nåværende tilstand skal utføres slik at det er en referanse som skal brukes ved skader forårsaket av sprengningsaktivitet. Kartleggingen brukes som en registrering av hvordan forholdene var før sprengningsarbeidet startet.

I henhold til standarden skal omkringliggende bygninger og andre konstruksjoner som kan påvirkes av sprengningsarbeid, inspiseres før sprengningsarbeidet begynner. Standarden anbefaler å inspisere bygninger som er innenfor 50 meter fra sprengningsstedet hvis bygningen er fundamentert på berg og innenfor 100 meter hvis bygningen er fundamentert på løsmasser.

Hvis det foreligger kunnskap om spesielle grunnforhold, eller det er omfattende sprengningsarbeid, kan det være aktuelt å utvide området for inspeksjon. Omvendt kan inspeksjon vurderes i mindre grad for mindre sprengningsarbeider.

Inspeksjonen skal utarbeide en rapport. Rapporten skal inneholde opplysninger om bygningenes tilstand, fundament og konstruksjon. Rapporten bør også så godt som mulig dokumentere eksisterende skader og svakheter i bygningsmassen. God dokumentasjon på dette vil gjøre det lettere å vurdere eventuelle skader som følge av sprengningsarbeidet.

Standarden krever at bygningsinspeksjonen skal fullføres, og tilstanden rapporteres, før sprengningsarbeidet begynner.

Det er viktig at ansvarsfordelingen mellom entreprenørene, leverandørene og byggherren avklares, f.eks. hvem som følger opp eiernes krav ved påståtte skader på bygninger.

4.2.1 KARTLEGGING AV SPESIELLE FORHOLD

Før alle sprengningsarbeider skal det foretas en foreløpig vurdering av faktorene som påvirker vibrasjon og luftsjokk, og leverandørene skal være oppmerksomme på disse og eventuelle spesielle forhold som må vurderes i utførelsen. Dette kan gjelde:

- Geologiske og geotekniske forhold: Dersom det er masser eller områder med lav stabilitet i nærheten av sprengningsstedet, skal det tas hensyn til om vibrasjonene kan utløse jordras eller forårsake settinger,

- Spesielle forhold i nabobygninger: Det skal avklares om det er forhold som krever spesielle hensyn og forsiktig sprengning. Dette kan for eksempel gjelde dersom det finnes bygninger som krever arkitektonisk beskyttelse eller vibrasjonsfølsomt utstyr;
- Infrastruktur: rørnettverk samt alle underjordiske konstruksjoner skal kartlegges, og det skal gis opplysninger om eventuelle spesielle vibrasjonsgrenser.
- Det må avklares om det er naboselskaper som krever spesielle varsler eller kan bli nødt til å stoppe arbeidet når sprengning pågår.

4.3 Vibrasjonsmålingsutstyr

4.3.1 INSTALLASJON AV MÅLEUTSTYR

Vibrasjonsmålere skal festes til fundamentet eller til konstruksjonselementene nær fundamentet. Sensorene skal installeres vertikalt, og avvikene fra den vertikale måleretningen skal ikke være større enn 5°. Sensorene må festes på en slik måte at resonanser på grunn av installasjon ikke påvirker målingen og er utenfor det relevante målefrekvensområdet, dvs. over 1000 Hz.

Et dokument med plasseringen av installerte instrumenter bør utarbeides før sprengningen begynner.

4.3.2 KRAV TIL MÅLEUTSTYR

Registreringen skal være kontinuerlig i sprengningsperioden. Instrumentet skal ikke omplasseres/endres i løpet av sprengningsperioden.

For detaljerte krav skal det vises til vedlegg A i NS 8141: 2001.

4.3.3 RAPPORTERING

Det skal utarbeides en målerapport. Denne rapporten skal, i henhold til [1], inneholde:

- a) Sted for måling, dato og hvem som utførte målingen
- b) Type måleinstrument som er brukt, dato for siste inspeksjon og kalibrering
- c) Beskrivelse av vibrasjonskilden.
- d) Beskrivelse av installasjon og plassering av utstyret, bakgrunnsvibrasjon med valgt utløsernivå.
- e) Avstand mellom målepunktene og vibrasjonskilden
- f) Beskrivelse av konstruksjon, fundament og geologiske forhold. Andre forhold som kan være viktige for målingene.
- g) Angivelse av de målte verdiene og deres plassering.
- h) Korrelasjon mellom måleresultatene og de beregnede grenseverdiene.

4.4 Lufttrykk og steinsprut.

For alle sprengningsarbeider skal det brukes matter for å unngå steinsprut.

I den nevnte standarden[2] er referansegrensen for luftsjokkverdien fra sprengningsarbeider målt i bygninger $p_0 = 500$ Pa (reflektert topptrykk). Det reflekterte trykket er alltid større enn det innkommende trykket, og det avhenger av mengden eksplosivt sprengstoff som detoneres og av avstanden til kilden.

Når en sprengning utføres i nærheten av en bygning, er det nødvendig å måle nivået av lufttrykkstigning.

5 BESTEMMELSE AV VIBRASJONSKRAV

5.1 Grunnforhold og geologi

I henhold til de geologiske kartene som NGU har levert, er berggrunnen i området klassifisert som kalsittmarmor. Fra observasjonen av innskjæringene langs kysten virker berget solid og kompakt, uten eller med lavt nivå av frakturering (ett diskontinuitetssett).

I hele interesseområdet, både Sør-Herøy og Nord-Herøy-sidene, er berggrunnen grunn eller overfladisk, med en største registrert dybde på ca. 2,5 m. Løsmassene som finnes kan regnes som friksjonsmasser, og varierer fra sandgrusmateriale til sandgrusmateriale ved sandgrus-silt.

Ingen kvikkleire er identifisert, og sprøtt materiale er bare påvist i et borehull utført i havet (bunnen av havbunnen).

Det er derfor rimelig å anta at alle bygninger i interesseområdet har grunne bergfundamenter.

5.2 Beregning og evaluering av vibrasjonsgrenseverdier

I henhold [1] til grensene for toppverdien av vibrasjoner kan bestemmes som:

$$v = v_0 \cdot F_g \cdot F_b \cdot F_d \cdot F_k$$

Hvor:

v_0 er den ukorrigerede toppverdien av den vertikale svingningshastigheten i millimeter per sekund og satt til 20 mm/s;

F_g er en faktor som tar hensyn til forholdene i grunnen der konstruksjonen er fundamentert.

F_b er en konstruksjonsfaktor som avhenger av konstruksjonens type og materiale, samt fundamentssystemet. Det bestemmes ved formelen:

$$F_b = k_b \cdot k_m \cdot k_f$$

Hvor:

k_b er en faktor som avhenger av konstruksjonstypen;

k_m er en faktor avhengig av konstruksjonsmaterialet;

k_f er en faktor avhengig av typen fundament.

F_d er en avstandsfaktor som tar hensyn til avstanden mellom vibrasjonskilden og målepunktet.

F_k er en kildefaktor som tar hensyn til vibrasjonskildens egenskaper.

Foreløpige grenseverdier beregnes ved å gjøre følgende forutsetninger.

Grunnforholdsfaktoren F_g er konservativt antatt lik 2,5 (bergart med en seismisk hastighet på mindre enn 4000 m/s).

Avstandsfaktoren F_d antas å være lik 1,0 (fundamentert på berg);

Kildefaktoren F_k er satt til 1,0 (blåsing).

k_f antas konservativt å være lik 0,7 (Stripefundament, fundamentsokler).

Det forutsettes at bygningene i området har konstruksjonssystem av tre, stål eller armert betong. Derfor er k_m -faktoren lik 1,20.

Tabell 1 viser de foreslåtte foreløpige grenseverdiene for toppverdien av vibrasjoner.

Tabell 1 – Foreløpige vibrasjonsgrenser som en funksjon av konstruksjonsklassen

Grunnmur	Struktur type	Strukturklasse	k_b	Vibrasjonsgrense fra sprengning v [mm/s]
Stein (seismisk hastighet 2000-4000 m/s)	Armert betong, stål, tre	Tunge konstruksjoner, som broer, brygger og beskyttelseskonstruksjoner	1,70	104,1
		Industri- og kontorbygg	1,20	73,5
		Ordinære bygninger	1,00	61,3

Det kan forventes at de beregnede grenseverdiene må ajourføres med de faktiske opplysningene om konstruksjoner og bygninger som vil bli innhentet fra inspeksjonene.

Disse grensene skal også sammenlignes med forskriftene i den involverte kommunen. Også i forhold til tilstedeværelsen av ledninger, rør og konstruksjoner i grunnen.

6 UBEHAGELIGE VIBRASJONER

Sprengning forårsaker vibrasjoner som kan kjennes opptil ca. 1,5 km unna. På avstander under 100 meter oppfattes de tydelig og kan være forstyrrende.

Mennesker er normalt følsomme for vibrasjoner, føler seg ukomfortable og forstyrret selv ved verdier under grenseverdien for skader på bygninger. Noen kan til og med oppfatte dem som dramatiske. Faktisk er grensen for menneskelig følsomhet for vibrasjoner ca. 0,1 mm/s.

Det er derfor spesielt viktig å informere naboene for å redusere den negative opplevelsen av forstyrrelser og angst.

7 KONKLUSJON

Nordland fylkeskommune har lagt opp til bygging av ny bru over Herøysundet i administrasjonssenteret i Herøy kommune i Nordland fylke.

Siden byggingen av brofundamentene vil kreve fjellsprenningsarbeider, har dette dokumentet som mål å gi en retningslinje for vurdering av vibrasjonsgrensene på konstruksjonene som blir involvert, gi indikasjoner for prosedyrer og overvåking som skal gjennomføres under sprengningsarbeider. Det gis også et foreløpig anslag av grenseverdiene for sprengningsvibrasjoner.

Standardene og forskriftene som skal følges, er nevnt og forklart.

Dokumentet inneholder prosedyrene som må være på plass for å overvåke arbeidet og unngå skader på bygninger og mennesker.

Grenseverdien som er rapportert i dokumentet, skal anses som foreløpig, og det må forventes at de må kontrolleres og ajourføres med visse opplysninger om konstruksjoner og bygninger som vil bli innhentet fra inspeksjonene.

VEDLEGG A - NS 8141:2001 FAKTORER

I det følgende rapporteres tabellene med faktorer for å bestemme grensehastigheten for vibrasjon.

Se [1] for mer informasjon.

7.1 Grunnlagsfaktor

Faktoren for jordforholdene der konstruksjonen F_g er grunnlagt kan bestemmes ved hjelp av følgende tabell.

Hovedgruppe	Grunnforhold	Grunnforholdsfaktor F_g
Løsmasser	Svært bløte grunnforhold/bløt leire	(0,5) ¹⁾
	Leire, vannrik silt	0,8
	Sand, grus og silt	1,0
	Fast lagret morene, fylling med komprimert sprengstein	1,8
Berg	Tynt avrettingslag over berg	2,5
	Skifer, myk kalkstein, oppsprukket berg (seismisk hastighet 2000-4000 m/s)	2,5
	Granitt, gneis, hard kalkstein, kvartsitt, diabas (seismisk hastighet > 4000 m/s)	3,5

1) Faktor 0,5 er en representativ verdi, men den bør vurderes i hvert tilfelle.

7.2 Konstruksjonsfaktor

7.2.1 STRUKTURFAKTOR

Faktoren for konstruksjonstypen k_b kan bestemmes ved hjelp av følgende tabell.

Type byggverk	Byggfaktor k_b
Tunge konstruksjoner, for eksempel broer, kaier og forsvarsanlegg	1,70
Industri- og kontorbygg	1,20
Vanlige boliger	1,00
Spesielt følsomme bygninger, for eksempel bygninger med høye hvelv eller konstruksjoner med store spennvidder ¹⁾	0,65
Historiske bygninger og ruiner i ømtålig tilstand ¹⁾	0,50

¹⁾ Se også 5.6

7.2.2 MATERIALFAKTOR

Faktoren for typen konstruksjonssystemmateriale k_m kan bestemmes ved hjelp av følgende tabell.

Hovedmateriale	Materialfaktor k_m
Armert betong, stål, tre	1,20
Uarmert betong, tegl, betonghullstein, murverk, lettklinkerbetong og lignende	1,00
Trykkerdet lettbetong og lignende	0,75

7.2.3 KONSTRUKSJONSFAKTOR

Faktoren for konstruksjonstypen k_b kan bestemmes ved hjelp av følgende tabell.

Fundamenteringsmåte	Fundamenteringsfaktor $k_f^{1)}$
Bankett, veggskive, søylefundament ²⁾	0,7
Plate	0,8
Kohesjons- eller friksjonspeler eller pilarer	0,9
Spissbærende peler eller pilarer	1,0

1) Ved vekslende grunnforhold over fundamenteringsarealet bør forholdene vurderes spesielt.
2) Dersom konstruksjonen er støpt direkte på berg, gjelder fundamenteringsfaktor $k_f = 1,0$.

7.3 Avstandsfaktor

Faktoren for avstanden fra vibrasjonskilde F_d kan bestemmes med følgende tabell.

Vibrasjonskilde	Grunnforhold ¹⁾	Avstandsfaktor F_d		
		< 5 m ²⁾	5 – 200 m ³⁾	> 200 m
Sprengning	Berg	1,0	1,0	1,0
Pigging	Løsmasser	1,0	$1,35 \cdot d^{0,19}$	0,5
Peling og spunting med fallodd Riving	Løsmasser	1,0	$0,5 \cdot \left[1 + e^{-\left(\frac{d-5}{3}\right)^2} \right]$	0,5
Peling og spunting med vibrolodd		1,0	1,0	1,0
Vibrokomprimering		1,0	1,0	1,0
Anleggstrafikk		1,0	$1,35 \cdot d^{0,19}$	0,5

1) Grunnforholdene gjelder der byggverket står, se tabell 1.
2) Faren for deformasjonsskader skal vurderes spesielt. Det kan være aktuelt å tillate høyere verdier etter fagkyndig vurdering.
3) d = avstand til vibrasjonskilde i meter og e er grunntallet i den naturlige logaritmen.

7.4 Kildefaktor

Faktoren for typen vibrasjonskilde F_k kan bestemmes ved hjelp av følgende tabell.

Vibrasjonskilde	Kildefaktor F_k
Sprengning Peling og spunting med fallodd Riving Anleggstrafikk	1,0
Peling og spunting med vibrolodd Vibrokomprimering Pigging	0,8