




**Statens vegvesen**

**Kryssing av Masfjorden**

**Forprosjekt hengebru**

|  |                               |            |           |           |           |
|--|-------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
|  |                               |            |           |           |           |
|  |                               |            |           |           |           |
|  |                               |            |           |           |           |
|  |                               |            |           |           |           |
|  |                               |            |           |           |           |
|  | Grunnlag for anslagsprosessen | 31/10-2016 | bjoris    | kriber    | bjoris    |
| Revisjon   | Revisjonen gjelder            | Dato       | Utarb. av | Kontr. av | Godkj. av |
| Prosjekt<br><b>Kryssing av Masfjorden</b><br><b>Forprosjekt hengebru</b> |                               |            |           |           | Revisjon  |

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 2          |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

## Innhold


|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Innledning.....</b>                       | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Forutsetninger .....</b>                  | <b>3</b> |
| 2.1      | Målsetting.....                              | 3        |
| 2.2      | Alternative løsninger.....                   | 3        |
| 2.3      | Veglinje og vegstandard .....                | 3        |
| 2.4      | Grunnforhold .....                           | 4        |
| 2.5      | Prosjekteringsforutsetninger.....            | 4        |
| 2.6      | Gjenstående utredninger og avklaringer ..... | 4        |
| <b>3</b> | <b>Hengebru .....</b>                        | <b>5</b> |
| 3.1      | Brustedet .....                              | 5        |
| 3.2      | Hengebrukonseptet .....                      | 5        |
| 3.2.1    | Beregninger.....                             | 7        |
| 3.3      | Utførelse av byggearbeidene .....            | 11       |
| 3.4      | Usikkerhet i prosjektet .....                | 14       |
| 3.5      | Masseoppsett.....                            | 15       |

### VEDLEGG 1:

- Geologiske kart fra NGU

### VEDLEGG 2:

- Oversiktstegning K120
- Prinsipptegning for bærekabelforankring K121

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 3          |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

## 1 Innledning

På oppdrag fra Statens vegvesen Region vest (Vegavdeling Hordaland) har Vegdirektoratets bruseksjon, kontor for bru-utvikling, utarbeidet forprosjekt for hengebru over Masfjorden på fylkesveg 570.

I denne omgang (oktober 2016) skal forprosjektet benyttes som grunnlag for anslagsprosessen, som skal gjennomføres den 10. november 2016. Dette forprosjektet gir grunnlag for et anslag med en usikkerhet på  $\pm 40\%$  (kanskje  $\pm 25\%$ ).

Denne versjonen av forprosjektrapporten inneholder:

1. Beskrivelse av forutsatte tekniske løsninger for hengebrua
2. Beskrivelse av byggemetode og anleggstekniske aspekter
3. Oversiktstegning
4. Mengdeberegning som grunnlag for kostnadsberegning (anslag)

## 2 Forutsetninger

### 2.1 Målsetting

Målsettingen med planleggingen har vært å utforme en optimal brukryssing med hensyn til funksjonalitet, kostnad og total ressursbruk, samtidig som estetiske hensyn ivaretas. Ved valg av tekniske løsninger er helse, miljø og sikkerhet både i bygge- og driftsfasen vektlagt.

Utforming og formgivning skal være preget av nøkternhet, og det skal legges til rette for rasjonell utførelse og kostnadseffektivt vedlikehold.

### 2.2 Alternative løsninger

I dette forprosjektet er det bare vist én brutype for kryssing av Masfjorden. Andre aktuelle brukonsept utredes parallelt med hengebru.


Utforming og detaljering av hengebrua vil til en viss grad kunne diskuteres i prosjekteringsfasen, men hovedgrepet for hengebrukonseptet ligger fast.

### 2.3 Veglinje og vegstandard

Den viste hengebruløsningen er basert på vegstandard gitt av Region vest.

Vegen er planlagt i dimensjoneringsklasse H1:

- To kjørefelt med bredder 3,75 m samt gang- og sykkelveg med bredde 3,00 m
- Fartsgrense 60 km/t
- ÅDT < 4.000

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 4          |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

## 2.4 Grunnforhold

Grunnundersøkelser på brustedet er ikke utført, og den viste løsningen er basert på én stedlig befaring og data fra Norges geologiske undersøkelse (NGU). Se vedlegg 1.

Områdestabilitet og rasfare har ikke vært diskutert i forbindelse med kryssing av Masfjorden, og det antas at dette heller ikke er en relevant problemstilling.

## 2.5 Prosjekteringsforutsetninger

Valgte løsninger og overslagsberegninger er basert på Eurokode og reglene i Statens vegvesens håndbok N400 *Bruprojektering*:2015.

Det forutsettes materialkvalitet B45 for betong og B500 NC for armering. Stålkvalitet i avstivningsbærer er vanlig konstruksjonsstål i henhold til R762 *Prosesskode 2*, tabell 85.11-2, med normverdi for flytegrense fra 355 MPa til 460 MPa. Bærekabler og hengestenger utføres med lukket, spiralslått kabel.

Det forutsettes fuktisolering av overkant stålkasse med prefabrikkert membran, belegningsklasse A3-2. Dimensjonerende belegningsvekt på stålkassen:

- 2,0 kN/m<sup>2</sup> i henhold til N400, punkt 5.2.2.2 – gjelder også g/s-veg.

Dimensjonerende belegningsvekt på viaduktene:

- 3,5 kN/m<sup>2</sup> i henhold til N400, punkt 5.2.2.2.

Det er tatt høyde for at parsellen kan bli dimensjonert for spesialtransporter.

Seilløpet på 80 m x 30 m er basert på HAT = 0,93 meter for Masfjorden kommune (med referanse til middelvann MV). Data om vannstands nivå er hentet fra [www.sehavniva.no](http://www.sehavniva.no).


## 2.6 Gjenstående utredninger og avklaringer

Kryssingsløype fra Kystverket er ikke dokumentert.

Håndbok N400, punkt 5.4.3.2, krever at det utføres vindmålinger på brustedet. Disse målingene må som et minimum strekke seg over en kontinuerlig periode på 2 år – gjerne 3 til 5 år.

Geotekniske og geologiske forutsetninger er ikke rapportert, og grunnundersøkelser ikke gjennomført. Dette følges opp i prosjekteringsfasen, hvor fundamenteringsløsninger vil bli detaljert. Det samme gjelder fyllinger/skrånninger ved landkar og tilkomst til forankringskammer og forankringsklosser.

Håndbok N400, punkt 12.7.6.2, krever utredning av tekniske og økonomiske forhold rundt el-kabler og ledninger som eies av andre enn Statens vegvesen. Dette kan være aktuelt for kryssing av Masfjorden.

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 5          |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

## 3 Hengebru

### 3.1 Brustedet

Fylkesveg 570 krysser Masfjorden, og i veglinja har fjorden en bredde på ca 700 meter og moderat dybde. På begge sider stiger terrenget svakt, og vegen går inn i en krapp venstrekurve ved begge tårn.

På Skarvetangen er det store områder med berg i dagen (utsprengt skjæring), og ellers på Masfjordnes antas det løsmasser med liten dybde til berg. Geologisk kartlegging er ikke utført, men en generell vurdering av området tyder på gode fundamenteringsforhold på gneis – se vedlegg 1.

### 3.2 Hengebrukonseptet

Hengebru med betongtårn, stålkasse avstivningsbærer og betong-viadukter er valgt. Brua er vist på tegning K120.

Det er to kjørefelt med føringsavstand 7,5 m og en g/s-veg med føringsbredde 3,0 m. Gang- og sykkelvegen er også nødvendig av hensyn til framtidig drift og vedlikehold. Høyden av avstivningsbæreren er valgt til 2,5 m og den totale bredde av stålkassen fra spiss til spiss blir dermed 14,4 m.

Brutårna er plassert i sjøkanten på begge sider. Dette gir en spennvidde på 710 m. Mer nøyaktige grunnundersøkelser kan vise at tårnene kanskje kan flyttes ytterligere utover i sjøen, og dette vil gi reduserte kostnader. Det kan også bli nødvendig å flytte tårn lenger inn på land, og det vil gi økte kostnader. Det er betongviadukter på begge sider av hengebrua med lengder på henholdsvis ca. 50 m på Masfjordnes (to spenn) og ca. 80 m på Skarvetangen (tre spenn). Lengdene på viaduktene bør i prosjekteringsfasen optimaliseres i kombinasjon med sprengsteinsfylling.

Seilløpet er 80 m bredt og minst 30 m høyt over HAT.

Fundamenter for tårn, viaduktsøyler og landkar antas utført som såle på berg.


Tårnene er ca. 110 m høye og har tre rigler på følgende høyder (OK rigel):

- Topprigel +101,0
- Midtrigel +61,9
- Planumsrigel +21,0

Tårnbeina er slakkarmerte, og riglene er spennarmerte.

Forankringsklossene for bærekablene ligger på utsprengt bergflate. Forutsetninger rundt adkomst til forankringsklossene og forankringskamrene er diskutert i kapittel 3.3, side 11. Se også prinsipp for bærekabelforankring på tegning K121.

Forankringskamrene er utsprengte bergrom med ei støpt betongplate der spennarmeringen forankres, og adkomst til forankringskamrene må etableres som anleggsvei i tunnel fra utsida. Forankringskamrene

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 6          |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

ligger over havnivå på Masfjordnes, men på Skarvetangen kommer forankringskamrene trolig under havnivå. Stigningen på anleggsveien bør begrenses til 12-15 %.

Bærekablene bygges opp som 2 x 8 spiralslåtte, lukkede kabler med diameter 136 mm. Over tårntopp legges kablene i sadler, som skal overføre vertikalkraften fra kabler til tårn.

Tårnsadlene utføres av tykke stålplater med maskinerte spor til bærekablene, og bunnplata fordybles i betongen. I bunn av sadelen er det ei øvre glidelagerplate som ligger an mot ei nedre glidelagerplate, og dette sjiktet kan gli under montering av bærekablene.

I forankringsklossen forankres bærekablene i plater og stag av ordinært valset plate- og stangstål, se Figur 1 nedenfor.




Figur 1 Forankring av bærekabler i plater og stag, som er montert på forankringskloss

Mellom forankringskloss og forankringskammer er berget forsterket med spennkabler. I forankringskammeret er spennkablene forankret i ei støpt betongplate.

Øvre hengestangsfester utformes med T-formede tverrsnitt i smidd eller støpt stål. Hengestangsfestene plasseres over bærekablene og festes med bøylor rundt kablene. Hengestangsfestet veier ca. 750 kg.

Hengestengene er av typen lukkede, spiralslåtte kabler med diameter ca. 55 mm og er plassert med 12 meters avstand langs brua. Det er til sammen 116 hengestenger med en total lengde på ca. 4.000 m.

Bruas avstivningsbærer utføres som en 2,5 m høy og 14,4 m bred oppsveist, lukket stålkasse med spisse hjørner og innvendige tverrskott for hver fjerde meter. Det legges membran av typen Safegrip eller tilsvarende på kjørebanelene og i g/s-vegen.

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 7          |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

Avstivningsbæreren har fritt opplegg på pendellager og sideveis fastholdning til planumsrigel på hvert tårn. På den ene siden er den fastholdt i bruas lengderetning med en demper. I overgangen til viaduktene har brua flerementfuger, og det er dermed ingen kraftoverføring mellom avstivningsbærer og viadukter.

Viaduktene utføres som plasstøpte, spennarmerte betongplatebruer med fastholding i landkar og glidelagre på planumsrigel. Landkarene forutsettes fundamentert på berg.

Avstivningsbæreren er malt på utsiden. Avfuktingsanlegg etableres inne i avstivningsbærer og i tårntopp (rundt sadler).

Tårnene utstyres med spiraltrapp eller tilsvarende i det ene tårnbeinet og leder i det andre, og på planumsrigler er det trapper som gir adkomst inn i avstivningsbæreren. Utvendig på avstivningsbæreren skal det være inspeksjonsvogn, se N400, punkt 12.8.3.1.

Det er kjøresterkt rekkverk på utside av kjørebanelen og mot g/s-vegen. På utsiden av g/s-vegen er det g/s-rekkverk. Det er også rekkverk på tårnrigler og på bærekablene (av typen Latchway eller tilsvarende). Bærekabler i sidespenn skal i tillegg til rekkverk også ha anordninger for å hindre hvirvelavløsningsvingninger (en enkel tverrgående stav som binder de enkelte kablene til hverandre).


Lys/elektro omfatter blant annet innvendig belysning av tårn og avstivningsbærer, vegbelysning, flylys, seilingslys og -merker, kabelbruer og lynavledere.

### 3.2.1 Beregninger

Det er gjort noen enkle beregninger for å estimere materialbehovet.

#### Masseberegning av avstivningsbærer og hovedspenn for øvrig

|                   | <u>Tv.snittsareal (mm<sup>2</sup>)</u> | <u>Antall</u> | <u>Vekt</u>         |
|-------------------|--|---------------|---------------------|
| Topplate          | 178 304                                | 1             | 1 399,7 (kg/m)      |
| Øvre skråplate    | 27 153                                 | 2             | 426,3 (kg/m)        |
| Nedre skråplate   | 55 464                                 | 2             | 870,8 (kg/m)        |
| Bunnplate         | 66 352                                 | 1             | 18,4 (kg/m)         |
| Rør 273 x 12,5    |  | 2             | 160,6 (kg/m)        |
| Stivere topplate  |  | 20            | 650,0 (kg/m)        |
| Trapesstivere     |  | 18            | 590,4 (kg/m)        |
| Bulb 120x8        |  | 2             | 18,4 (kg/m)         |
| <b>Tverrsnitt</b> | <b>360 771 600</b>                     | <b>178</b>    | <b>710,0 (kg/m)</b> |
| Spoiler           |  | 1             | 40,7 (kg/m)         |
| Ledeskovler       |  | 2             | 94,0 (kg/m)         |
| Festebraketter    |  | 1040          | 20,5 (kg/m)         |

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 8          |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

|                           |                                      |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Hengestangsfester         | 133,3 (kg/m)                         |
| Rekkverksfester           | 27,0 (kg/m)                          |
| Lysmastfester             | <u>1,4</u> (kg/m)                    |
| Stål i avstivningsbærer   | 5 161,5 (kg/m)                       |
| Fuktisolering og slitelag | 2,0 kN/m <sup>2</sup> 2 242,6 (kg/m) |
| Rekkverk                  | 183,0 (kg/m)                         |
| Lysmaster                 | 5,0 (kg/m)                           |
| Div. elektro              | <u>50,0</u> (kg/m)                   |
| Totalt                    | 7 642,1 (kg/m)                       |

Avstivningsbærerens egenvekt er beregnet til 7.650 kg/m. Bærekablene i hovedspennet har en egenvekt på 868 kg/m per kabelplan, og hengestengene med øvre hengestangsfeste har en egenvekt på 100 kg/m per kabelplan.

Brua har 2 kjørefelt og dimensjoneres for trafikklast i henhold til NA-rundskriv 07/2015 *Trafikklast i håndbok N400 Bruprosjektering*. Alle lastvirkninger med influenslengder under 500 m dimensjoneres etter NS-EN 1991-2 *Trafikklast på bruer*, som for hengebru over Masfjorden gir en linjelast på:

$$9 \text{ kN/m}^2 \times 0,6 \times 3 \text{ m} + 2,5 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 \times 3 \text{ m} + 2,5 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 \times 1,5 \text{ m} + 2,5 \text{ kN/m}^2 \times 3,0 \text{ m} = \underline{34,95 \text{ kN/m}}$$

De tre første bidragene er LM1-modellen, og det siste bidraget er gang- og sykkeltrafikk.

Lastvirkninger med influenslengde over 500 m (bærekabel, bærekabelforankringer og tårn) kan dimensjoneres med trafikklast definert slik i NA-rundskriv 07/2015:

$$9 \text{ kN/m per kjørefelt} \times 2 \text{ kjørefelt} + 2 \text{ kN/m i g/s-feltet} = \underline{20 \text{ kN/m}}$$


I dette forprosjektet velges det å benytte Eurokodelastene også for lastvirkninger med influenslengder over 500 m.

Det er ikke igangsatt vindmålinger på brustedet. Vindhastighet er beregnet etter NS-EN 1991-1-4 «Vindlast». 50-års middelvind i høyde med brubanen er 35,4 m/s med en tubulensintensitet på 0,15. Brua skal kontrolleres mot instabilitetsmekanismer ved middelvind med 500-års returperiode multiplisert med en faktor 1,6. I høyde med brubanen er denne beregnet til 39,7 m/s x 1,6 = 63,5 m/s. Hvirvelavløsningsproblemer skal løses ved å montere ledeskovler på undersiden av avstivningsbæreren.

Brua dimensjoneres for temperaturlaster i henhold til N400, punkt 5.4.8.

Jordskjelvlaster har marginal betydning for hengebruer, og det er ikke tatt hensyn til jordskjelvlaster i forprosjektet.



|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 9          |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

Konstruksjonen dimensjoneres ikke for påkjøringslast fra kjøretøy fordi ingen konstruksjonsdeler er eksponert for påkjøringslast. Prosjekteringsreglene forutsetter at det dimensjoneres for brudd i – og utskifting av – hengestenger.

Tårn og tårnfundament på begge sider vil i noen grad være eksponert for påseilingslaster fra skip. Lokal skade fra påkjøring av skip vil kunne oppstå på avstivningsbærerens underside, men heller ikke dette har relevans for dimensjoneringen fordi en slik lokal skade ikke medfører risiko for sammenbrudd i konstruksjonen, samt at skaden kan utbedres.

NS-EN 1990 *Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner* beskriver kontroll av et tilfelle med lastfaktor på 1,35 på egenvekt, men åpner for å gi mer detaljerte regler i det enkelte prosjekt. For dimensjonering av bærekabel, bærekabelforankringer og vertikalkraft i tårn fra bærekabel settes denne til 1,2. Dette begrunnes med at man har god kontroll på egenlasten i hovedspennet, og lastfaktor på 1,35 medfører en stor økning i bærekabeldimensjon. Håndbok N400, punkt 13.2.1, åpner også for dette ved spennvidder over 500 m.

Dimensjonerende lastkombinasjon for bærekabel med trafikk som dominerende last blir:

$$F_{dim} = 0,89 \times 1,35 F_g + 1,35 F_{traf} + 0,7 \times 1,6 F_{vind} + 0,7 \times 1,2 F_{temp}$$

Globalanalyser er utført med programmet *Alvsat* og håndberegninger.

Lastvirkninger i bærekabelen er beregnet med håndberegninger basert på taustatikk. Det er egenvekt og trafikk som er de dominerende lastene.

Man kan da se på følgende uttrykk:

$$q_f = 0,89 \cdot 1,35 \cdot q_g + 1,35 \cdot q_{traf}$$

$$= 1,2015 \cdot (7650 + 2 \cdot 868 + 2 \cdot 100) \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} + 1,35 \cdot 34,95 = 160,2 \text{ kN/m}$$

Dimensjoneringen av bærekabelen kontrolleres med enkel håndberegning. For en jevnt fordelt last på kjørebanelen kan horisontalstrekket i bærekabelen i hovedspenn uttrykkes ved:

$$H_f = \frac{q_f l^2}{8f} = \frac{160,2 \cdot 710^2}{8 \cdot 65} = 155,3 \text{ MN}$$


Største strekk i kablene i hovedspenn er mot tårnene der vinkelen til kablene er størst (20,11 grader):

$$S = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot H_f = 1,0649 \cdot \frac{160,2 \cdot 710^2}{8 \cdot 65} = 165,4 \text{ MN}$$

Bærekablene i hovedspennet må ha en spesifisert minimum bruddlast på (antar 16 kabler):

$$F_{uk} = 1,5 F_{Rd} \gamma_m = 1,5 \cdot 165,4 \cdot \frac{1,2}{16} = 18.610 \text{ kN}$$

Benytter 8 spiralslåtte lukkede kabler  $\phi = 136 \text{ mm}$  og får en masse på  $108,5 \text{ kg/m}$ ,  $F_{uk} = 18.910 \text{ kN}$ .

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 10         |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

Dimensjon på hengestenger er ikke beregnet nøyaktig. Det er tatt utgangspunkt i hengestengene fra Dalsfjordbrua. Dimensjonen er økt noe for å ta hensyn til økningen i trafikklast etter Eurokoden.

Dimensjon på hengestengene antas lik  $\varnothing = 55$  mm.

Trafikklast gir de største spenningene i avstivningsbæreren. Disse er ikke beregnet i denne rapporten, men tverrsnittet er økt noe sammenlignet med Dalsfjordbrua for å ta hensyn til økt trafikklast.

Nødvendig betongtverrsnitt i tårntopp bestemmes av vertikal kraft fra bærekabel i tårntopp (ferdigtilstand).

Vertikalkraften fra bærekablene i tårntopp øst kan uttrykkes som (lik vinkel i bakstag og hovedspenn):

$$V_f = H_f \cdot \tan 20,11 + H_f \cdot \tan 20,11 = 114 \text{ MN}$$

Med et tverrsnitt på 3,0 m x 4,0 m og 0,6 m veggykkelser får man en normalspenning på 8,2 MPa.

Tårnene har en tyngde på 62,5 MN. Med et tverrsnitt på 6,0 meter x 8,0 meter og veggykkelse 0,6 m får man en normalspenning på:

$$\sigma_{bt} = \frac{114 + 62,5 \cdot 1,2}{2 \cdot 15,36} = 6,2 \text{ MPa}$$

der 1,2 er lastfaktor for egenlast av tårn.

Det er ikke gjort videre beregninger på frittstående tårn – som vil bli dimensjonerende for snittet i bunn av tårn. Basert på tidligere bruer og de beregnede spenningene for ferdigtilstand kan det konkluderes med at det foreslåtte tårnet er konservativt med tanke på beregning av masser.

Grunntrykk under tårnfundamentene fra egenvekt og trafikklast blir:


$$\sigma_{gt} = \frac{114 + (62,5 + 41,25) \cdot 1,2}{9 \cdot 14 \cdot 2} = 0,95 \text{ MPa}$$

der 41,25 MN er egenlast av tårnfundament.

Ved å inkludere lastvirkninger fra vind vil trykket under det ene tårnfundamentet på hvert tårnbein øke noe, mens det andre reduseres. I byggetilstand vil grunntrykket lokalt under deler av tårnfundamentet øke betraktelig, men det totale grunntrykket blir svært lite sammenlignet med ferdigtilstanden.

De mest relevante egenfrekvensene til brua er:

- Første symmetriske horisontale svingeform 13,3 sek
- Første asymmetriske horisontale svingeform 5,4 sek
- Første symmetriske vertikale svingeform 5,1 sek
- Andre symmetriske vertikale svingeform 3,8 sek

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 11         |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

- Første asymmetriske vertikale svingeform 6,6 sek
- Første symmetriske torsjonsvingeform 1,5 sek
- Første asymmetriske torsjonsvingeform 0,9 sek

Det er instabilitetsmekanismen flutter som gir lavest kritisk vindhastighet. Laveste kritisk vindhastighet er beregnet ved hjelp av Selbergs formel til over 100 m/s. Man kan altså konkludere med at stabilitet i vind ikke er et problem for brua.

### 3.3 Utførelse av byggearbeidene


Byggegrøp for tårnfundament, viaduktstøyer og landkar sprenges ut. Løst overflateberg sprenges bort før det etableres plan flate til fundamentene. For å sikre stabilitet mot velting i byggetilstand (frittstående tårn), kan det også bli behov for injiserte bergforankringer i tårnfundamentet.

Tårn kan utføres med adkomst fra fjorden, men det mest naturlige er kanskje tilkomst fra land. De første støpene (tårnfundamentene) er store og krever nøye planlegging for å sikre kontinuerlig transport av betong. Tårnbeina støpes med klatre- eller glideforskaling. Oppføring av tårn krever tårnkran.

I området ved forankringsklosser sprenges overflateberg bort. Dette er ingen stor jobb, og den kan utføres med relativt lett utstyr. Deretter bores hull til spennarmering fra forankringskloss ned til forankringskammer. Så bygges forskalingen, og plater og stag monteres før klossen støpes ut.

Det må drives tilkomsttunnel til forankringskammeret på begge sider. Plassering av tilkomsttunnel er ikke vurdert. I forankringskammeret støpes betongplata etter at hullene er boret og spennarmeringen er montert.

Kabelarbeidene innledes med å montere en såkalt «catwalk», som er arbeidsplattformen for kabelmontasjen, se også Figur 2 nedenfor. Dette er lett utstyr, hvor pilotwiren kan installeres med hjelp av helikopter om nødvendig.


|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 12         |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |



Figur 2 Catwalk (Dalsfjordbrua)

Kablene kan så monteres på flere måter:

1. Det vanlige er at man transporterer tromlene med bærekablene til en av forankringsklossene og trekker kabela over brua. Én trommel kan veie over 100 tonn og med diameter 4-5 meter, se Figur 3 nedenfor, så dette krever adkomstveg på den ene siden av fjorden.
2. Det er også mulig å transportere tromlene på fjorden, heise kablene opp til tårntoppen og trekke dem over fjorden. Til slutt har man en ende igjen fra tårntoppen og ned til fjorden som man kan heise/løfte opp til forankringen. Dette vil kreve en god del midlertidige konstruksjoner i tårntoppen.

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 13         |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |




Figur 3 Trommel med bærekabel (Dalsfjordbrua)

Hengestenger og øvre hengestangsfester kan enten heises opp fra en lekter på fjorden eller monteres med helikopter. Øvre hengestangsfeste kommer ferdig overflatebehandlet fra verksted, mens bærekabler og hengestenger skal overflatebehandles etter at brua er ferdig montert.

Avstivningsbæreren leveres i seksjoner på ca. 40-60 m lengde på lekter fra stålverkstedet. Disse heises opp fra lekteren ved hjelp av jekker på bærekabelene, eller ved å benytte et kranskip, se også Figur 4 nedenfor.



Figur 4 Montering av avstivningsbærer (Dalsfjordbrua)

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 14         |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og<br>teknologiavdelingen   |                               | SIGN. | bjoris     |


Mens seksjonene monteres forskyves tårnsadlene slik at tårnet beholder sin vertikale form. De ulike seksjonene i avstivningsbæreren låses til hverandre med midlertidige klemmer til alle seksjonene er på plass. Når alle seksjonene er på plass, blir de sveist sammen og sveiseskjøtene overflatebehandles.

### 3.4 Usikkerhet i prosjektet

Geologiske undersøkelser er ikke utført. Avdekking av eventuelle svakhetssoner kan føre til at tårnfundament eller bærekabelforankringer må flyttes, og dette vil kunne påvirke brugeometrien.


På tegning K120 er det vist en brattere vinkel i bakstagene (28 grader) enn det er mot hovedspenn (20,11 grader). Det har liten hensikt å prøve å optimalisere plasseringen av forankringsklosser og forankringskammer uten grunnundersøkelser og en geologisk rapport. Masseberegning av bærekabel er basert på tegning K120.

Den er generelt liten usikkerhet knyttet til adkomst til forankringsklosser og forankringskamre i byggefasen.

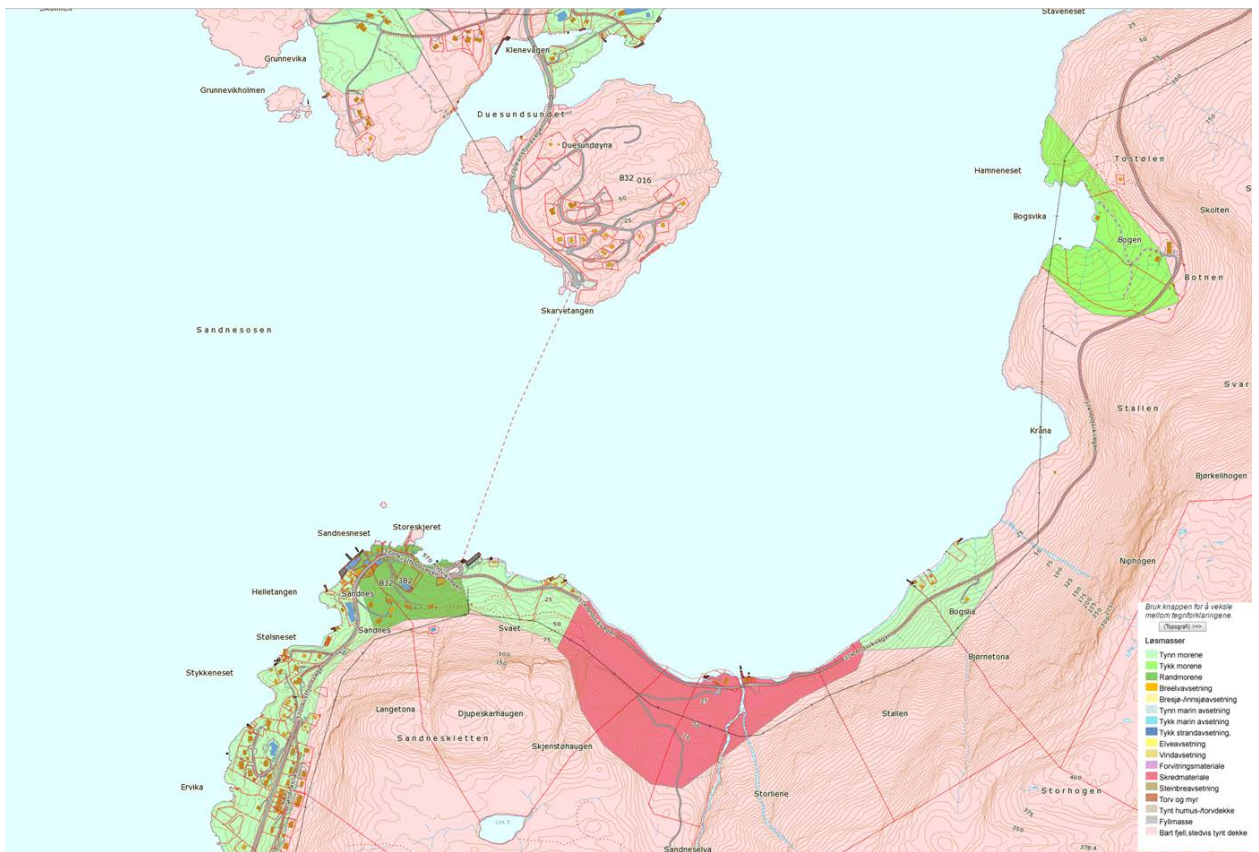
|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 15         |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

### 3.5 Masseoppsett

| Element          | Delelement   | Masse | Enhet   |
|------------------|--|-------|---|
| Kabelsystem      | Bærekabler, 8ø136, L=1 025   | 1 100 | tonn  |
|                  | Ekstra kabler i bakstag, L=170+120   | 30    | tonn  |
|                  | Øvre hengestangsfe­ster, smidd stål  | 116   | stk.  |
|                  | Avstivning i sidespenn   | 48    | stk.  |
|                  | Hengestenger, spiralslått lukker kabel ø55, L=4 000 m                                      | 112   | stk.  |
| Tårn             | Tårnfundament, armert betong   | 3 000 | m <sup>3</sup> (totalt for 2x2 stk. fund.)          |
|                  | Tårnbein og rigler, armert betong  | 5 300 | m <sup>3</sup> (totalt for 2x2 tårnbein + 6 rigler) |
|                  | Tårnsadler, valsede stålplater med understøp   | 4     | stk.  |
|                  | Avfukting av tårntopp  | -     | RS  |
|                  | Planering av berg under fundament  | -     | RS  |
| Forankringer     | Forankringskloss, armert betong  | 4     | RS  |
|                  | Forankringsplate, armert betong  | 4     | RS  |
|                  | Forankringsplater og stag, valset stål   | 36    | sett (kabelsko, plate og 2 stag)                    |
|                  | Spennarmering mellom forankringsplate og -kloss  | -     | RS  |
|                  | Utsprengning i berg til sprede- og forankringskammer samt boring av hull til spennarmering | -     | RS  |
| Avstivningsbærer | Konstruktivt stål, valset stål S355N/M   | 3 700 | tonn  |
|                  | Opplagring på planumsrigel   | -     | RS  |
|                  | Fuger  | 2     | stk.  |
|                  | Avfuktingsanlegg   | -     | RS  |
| Viadukt          | Overbygning, spennarmert betong  | 1 700 | m <sup>3</sup>                                      |
|                  | Søylar, armert betong  | 185   | m <sup>3</sup>                                      |
|                  | Fundament, armert betong   | 120   | m <sup>3</sup>                                      |
|                  | Landkar, armert betong   | 200   | m <sup>3</sup>                                      |
|                  | Lager  | 8     | stk.  |
|                  | Planering av berg under fundament  | -     | RS  |
| Utstyr           | Trapper, ledere, dører og luker  | -     | RS  |
|                  | Inspeksjonsvogn  | 1     | stk.  |
|                  | Rekkverk   | 2 600 | lm  |
|                  | Lys og elektro   | -     | RS  |
|                  | Belegning  | 9 300 | m <sup>2</sup>                                      |


|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 16         |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

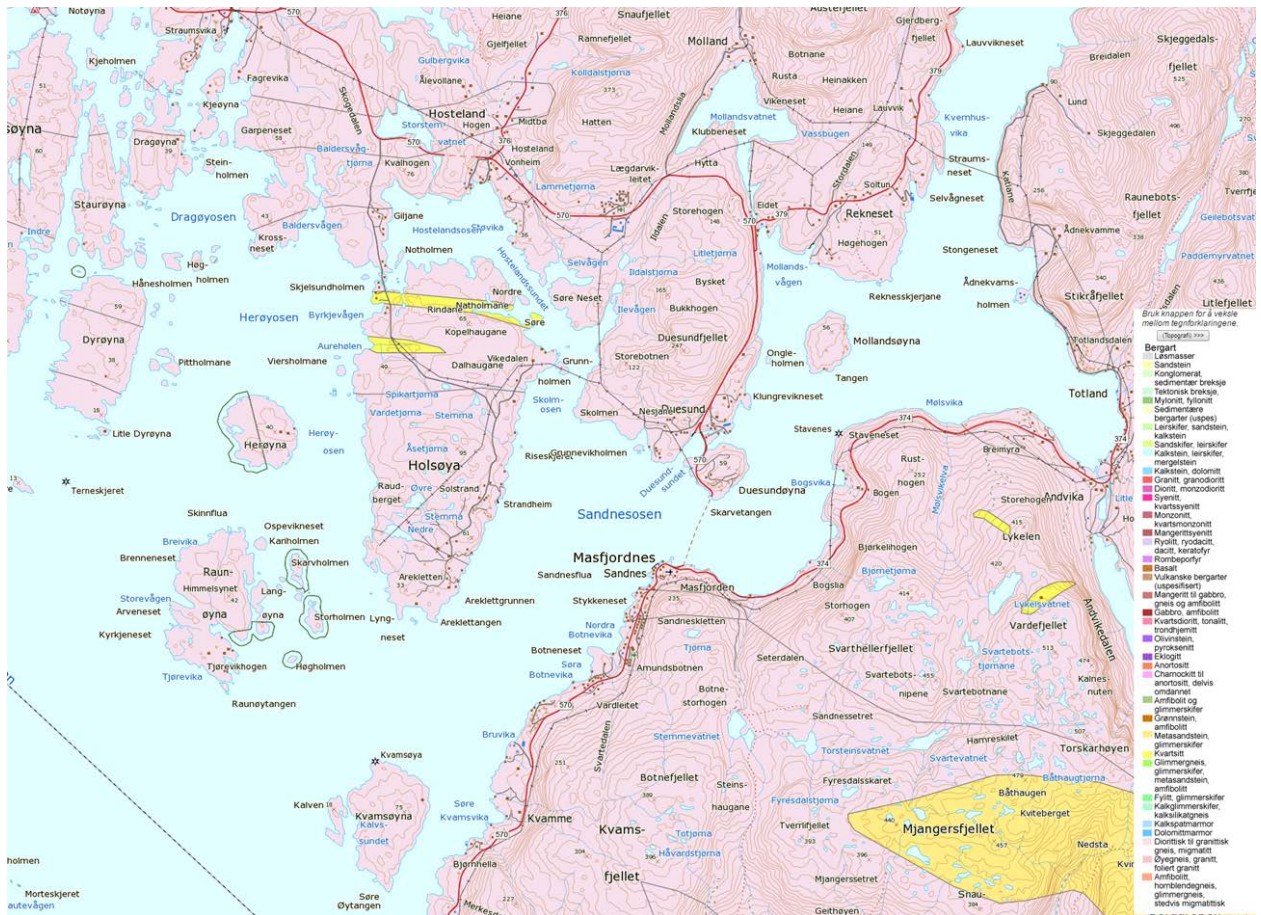
## VEDLEGG 1:




Figur 6 Kart over løsmasser. Kilde er NGU.



|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 17         |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  |                               | SIGN. | bjoris     |

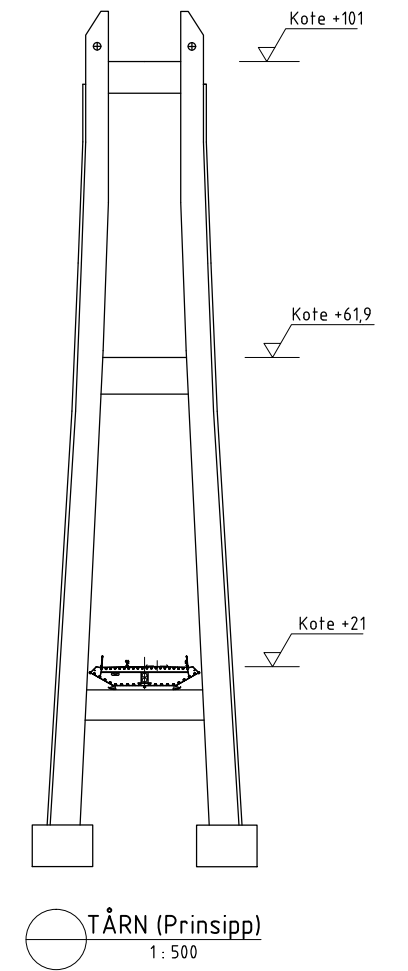
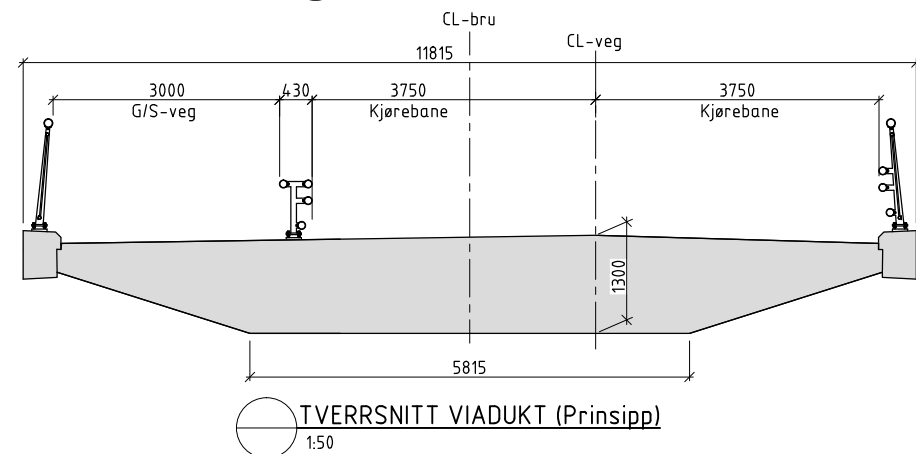
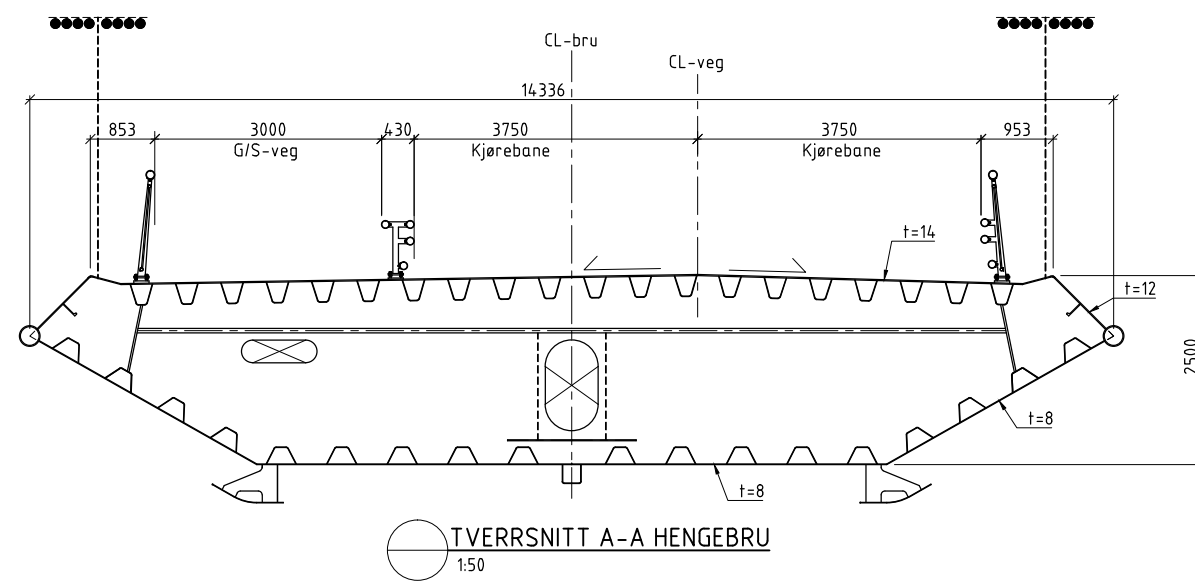
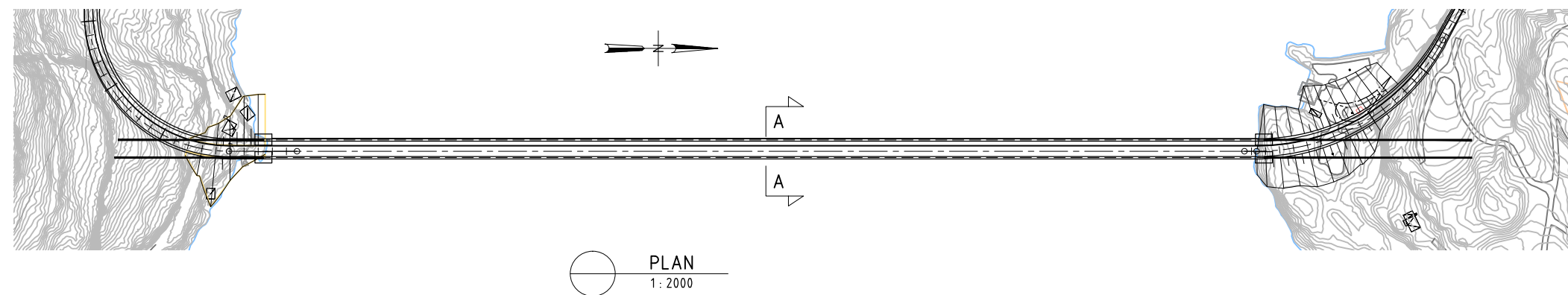
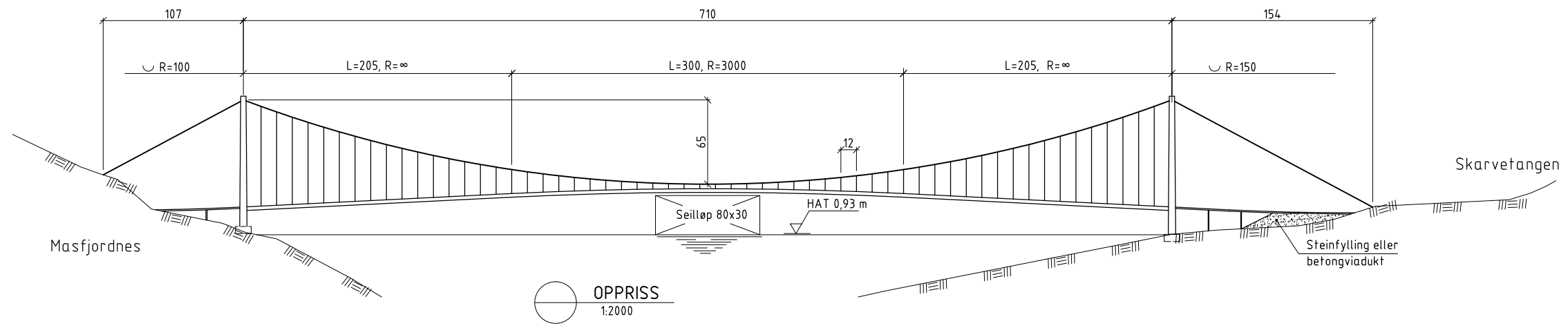


Figur 7 Kart over bergarter. Kilde er NGU.

|  |                               |       |            |
|--|-------------------------------|-------|------------|
| <br><b>Statens vegvesen</b> | <b>Kryssing av Masfjorden</b> | SIDE  | 18         |
|  | Forprosjekt hengebru          | DATO  | 31/10-2016 |
| Trafikksikkerhet, miljø- og<br>teknologiavdelingen   |                               | SIGN. | bjoris     |

## VEDLEGG 2:

- Oversiktstegning K120
- Prinsipptegning for bærekabelforankring K121



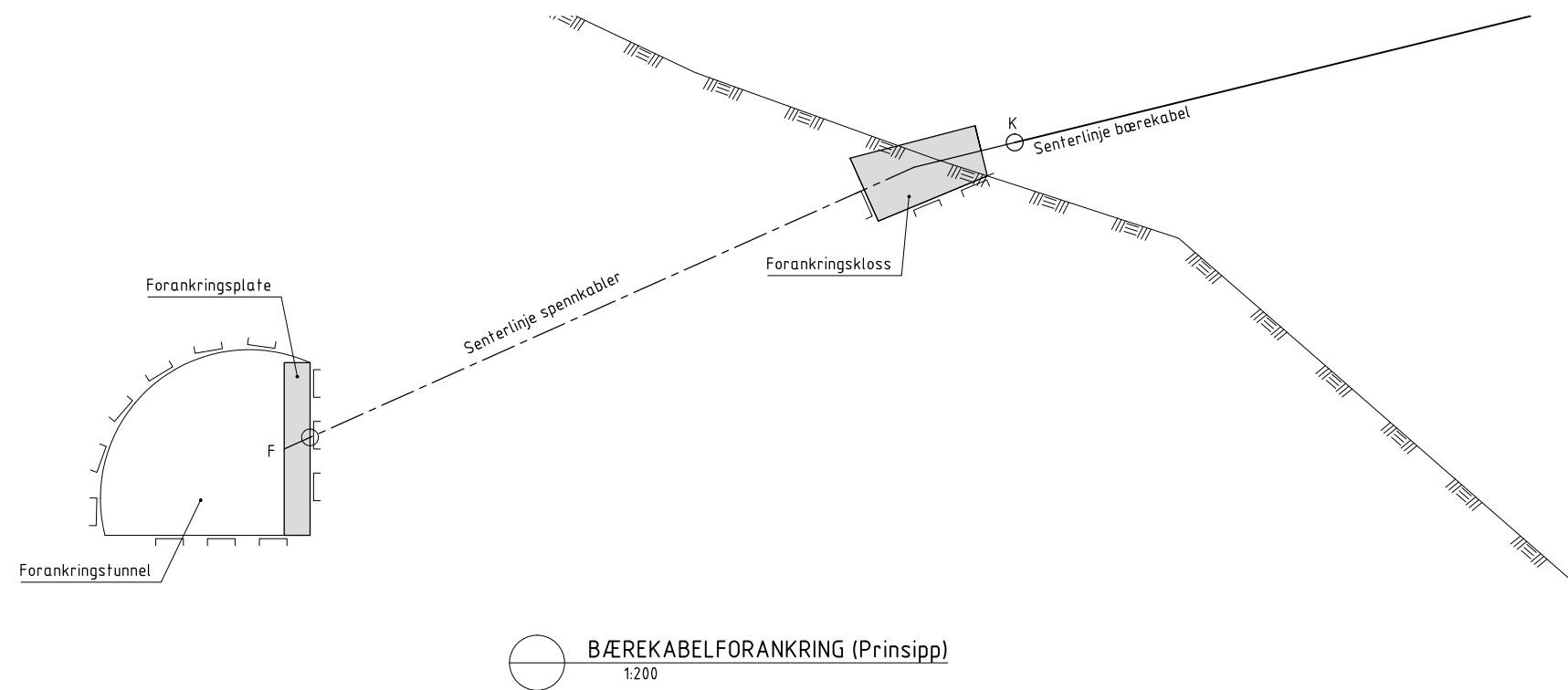
**Forutsetninger**

- Dimensjoneringsklasse H1:  
- ÅDT <4000  
- Fartsgrense 60 km/t
- Belegningsklasse A3-2  
Dimensjonerende belegningsvekt er 2,0 kN/m<sup>2</sup>.
- Alle akser fundamenteres på berg.

**Henvisninger:**

- Håndbok N100 Veg- og gateutforming (2014)
- Håndbok N400 Bruprosjektering (2015)
- Håndbok R762 Prosesskode 2 (2015)

| Revisjon                                   | Revisjonen gjelder | Utbord      | Kontr          | Godkjent                          | Rev. dato  |
|--|--------------------|-------------|----------------|-----------------------------------|------------|
|  | Forprosjekt        | bjoris      | kriber         | bjoris                            | 31.10.2016 |
| Arkivref.                                  |                    |             |                |                                   |            |
| Tegningsdato                               |                    |             |                |                                   |            |
| Bestiller: Asbjørn Valen                   |                    |             |                |                                   |            |
| Prosjekt for: Region vest                  |                    |             |                |                                   |            |
| Produert av: Vegdirektoratet, Bruseksjonen |                    |             |                |                                   |            |
| 12-xxxx Hengebru over Masfjorden           |                    |             |                |                                   |            |
| Oversikt                                   |                    |             |                |                                   |            |
| Prosjektnummer                             |                    |             |                |                                   |            |
| PROF-nummer                                |                    |             |                |                                   |            |
| Arkivreferanse                             |                    |             |                |                                   |            |
| Byggeværksnummer                           |                    |             |                |                                   |            |
| Målestokk A1 Som vist                      |                    |             |                |                                   |            |
| Utarbeidet av                              | Kontrollert av     | Godkjent av | Konsulentarkiv | Tegningsnummer / revisjonsbokstav | K120       |
| bjoris                                     | bjoris             | bjoris      |                |                                   |            |



| Revisjon      | Revisjonen gjelder | Utarb.                           | Kontr.         | Godkjent         | Rev. dato        |
|---------------|--------------------|----------------------------------|----------------|------------------|------------------|
|               | Forprosjekt        | bjoris                           | kriben         | bjoris           | 31.10.2016       |
|               |                    | Arkivref.                        |                |                  |                  |
|               |                    | Tegningsdato                     |                |                  |                  |
|               |                    | Bestiller                        |                |                  |                  |
|               |                    | Asbjørn Valen                    |                |                  |                  |
|               |                    | Produsert for                    |                |                  |                  |
|               |                    | Region vest                      |                |                  |                  |
|               |                    | Produsert av                     |                |                  |                  |
|               |                    | Vegdirektoratet, Bruseksjonen    |                |                  |                  |
|               |                    | Prosjektnummer                   |                |                  |                  |
|               |                    | 12-xxxx Hengebru over Masfjorden |                |                  |                  |
|               |                    | PROF-nummer                      |                |                  |                  |
|               |                    | Prinsipp for bærekabelforankring |                |                  |                  |
|               |                    | Arkivreferanse                   |                |                  |                  |
|               |                    | Byggeværksnummer                 |                |                  |                  |
|               |                    | Målestokk A1                     |                |                  |                  |
|               |                    | Som vist                         |                |                  |                  |
| Utarbeidet av | Kontrollert av     | Godkjent av                      | Konsulentarkiv | Tegningsnummer / | revisjonsbokstav |
| bjoris        | bjoris             | bjoris                           |                |                  | K121             |