

**Dovrebanen
(Fåberg) – Vinstra
Ringebu, km 241
Randklev bru**

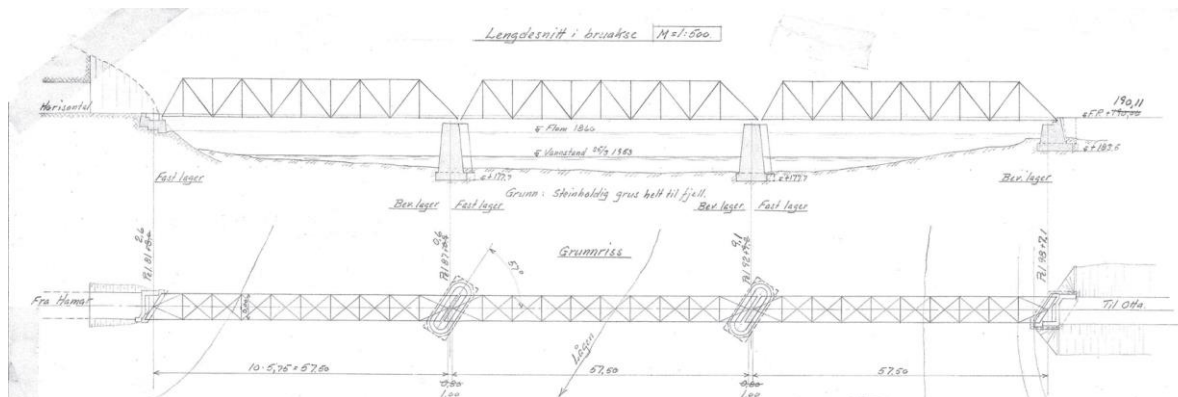
**GEOTEKNISK BEREGNINGSRAPPORT
JERNBANEBRU AKSE 2**

00-1	Til gjennomlesing	22.12.2023	KIAA	ERPY	AFLOSL
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av
Dovrebanen (Fåberg) – Vinstra Ringebu, km 241 Randklev bru Vurdering av bæreevne og sikringstiltak for pilar jernbanebru		Ant. sider	Fritekst 1d		
		36	Fritekst 2d		
			Fritekst 3d		
			Produsent		
			Prod. dok. nr.		
			Erstatning for		
			Erstattet av		
Prosjekt: 60070710		Dokument nr.: POM-03-A-00016			Rev. 00-1
		FDV-dokument nr.:			Rev.

1	INNLEDNING.....	3
2	GRUNNLAG	4
3	GRUNNFORHOLD	8
4	GEOTEKNISKE PROSJEKTERINGSFORUTSETNINGER.....	10
4.1	REGLERK OG DOKUMENTER.....	10
4.2	GEOTEKNISK KATEGORI	10
4.3	PÅLITELIGHETSKLASSE (CC/RC).....	10
4.4	PROSJEKTERINGS- OG UTFØRELSESKONTROLL	10
4.5	GRUNNTYPE.....	11
4.6	NATURFARE, SIKKERHET MOT SKRED	11
5	VURDERING AV DAGENS SITUASJON	12
5.1	AKSE 2	12
6	UTBEDRING AV FUNDAMENT.....	15
7	BÆREEVNE	17
7.1	GEOMETRI	19
7.2	LASTER.....	19
7.3	RESULTATER.....	19
7.3.1	Beregning 1 – Full fundamentflate.....	19
7.3.2	Beregning 2 – Redusert fundamentflate	20
7.4	SENSITIVITETSANALYSE	20
7.4.1	Beregning 1 – Full fundamentflate.....	20
7.4.2	Beregning 2 – Redusert fundamentflate	21
7.5	DISKUSJON	21
8	KONTROLLPLAN FOR UTFØRELSE.....	24
9	VEDLEGG	25

1 INNLEDNING

Dagens jernbanebru over Lågen ble bygget i 1957. Brua er en trespenns stålfagverksbru hvor de to midterste pilarene var direktefundamentert på elvebunnen. Nordre pilar (akse 3) veltet under ekstremværet «Hans», august 2023. To av jernbanens fagverk er i dag heist opp fra vannet og ligger til opplagring på land. Etter elvebunnskartlegging utført i uke 35 og 36 i 2023, ble det oppdaget betydelig erosjon ved pilarene.



Figur 1: Bru over Lågen ved Randklev (Norge statsbaner brukontoret, Tegning Hamar - Otta nr 374 Bk. 12576, 11/10 1954)

Notatet omfatter vurdering av bæreevne for pilar i akse 2.

2 GRUNNLAG

Vurderingene i denne rapporten gjøres med bakgrunn i brugeometri vist i dokument: KU-167662-000_000_000_001, med tilhørende beregningsdokumentasjon for underbygningen. Beregningsdokumentasjonens forside er vist i figuren under.

NSB

Beregning

Byggverk: Bru over Lågen ved Randklev Tegning BK 12576

Type: Fagverksbru med mellomliggende brob. Pel. fra

Banestrekning: Hamar - Otta Km ca. 241 - fra Oslo

Spennvidde: 3 x 57.5 m

Nyttelast: A-toget

Innhold: Underbygning
+ Skiltas

Utført den 10/9 1954 av M. Hagmann

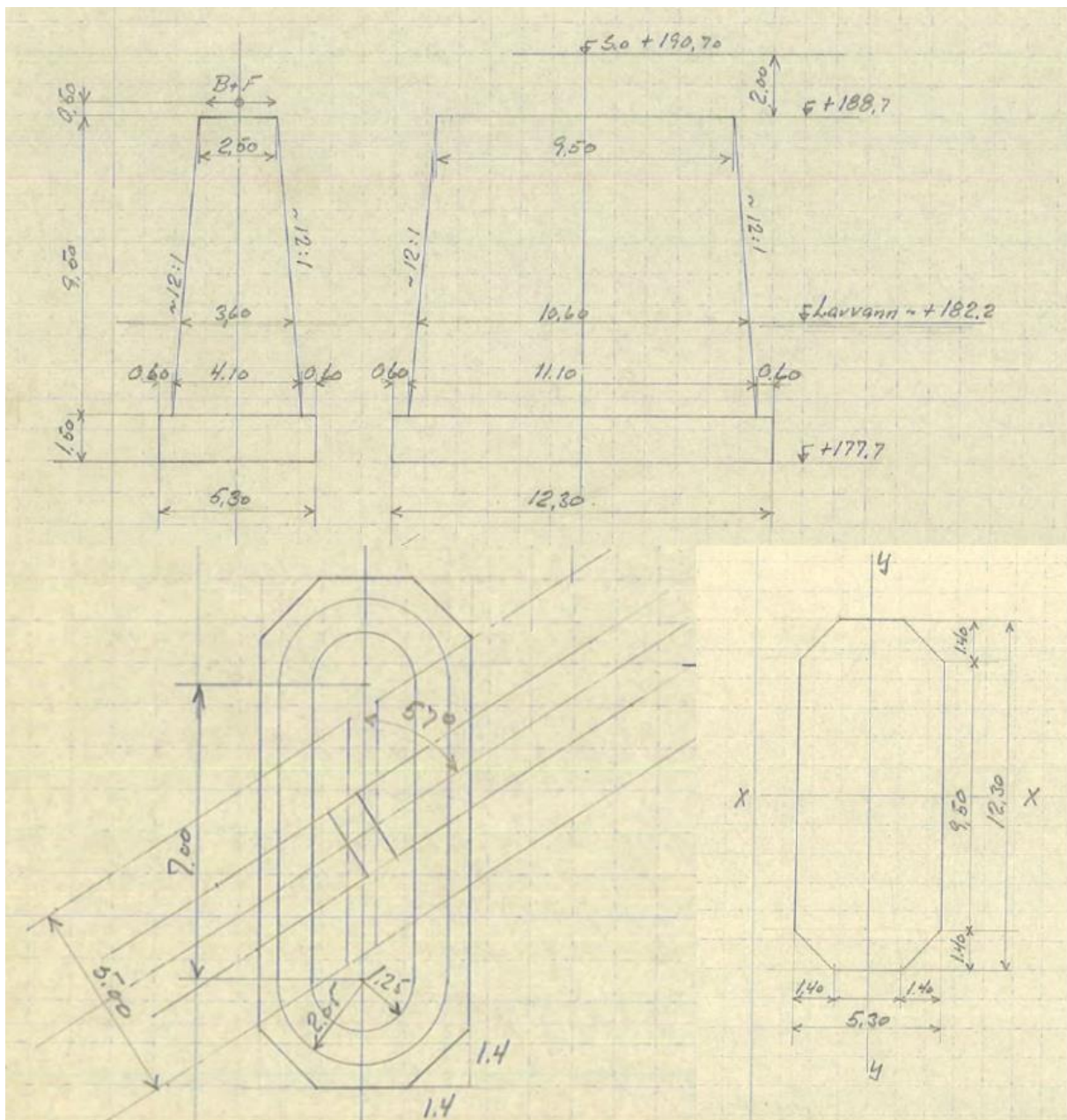
Kfr. den 17/9 1954 av O. Bergum

Beregningen gjennomsett den 18/9 1954

W. Rind
Avdelingsingeniør

Figur 2: Beregningsdokumentasjon "Bru over Lågen ved Randklev", BK 12576, underbygning, 18/9 1954.

Brupilarenes geometri kommer frem av figuren under. Fra oversiktstegning vist i Figur 1 antas opprinnelig UK pilar på kote +177.7 (NN54). NN2000 ligger 17cm over NN54 i området. Følgelig antas teoretisk UK fundament på kote +177.87 (NN2000). Det er opplyst fra RIB at fundamentet er rektangulært og ikke avrundet som vist på tegning.

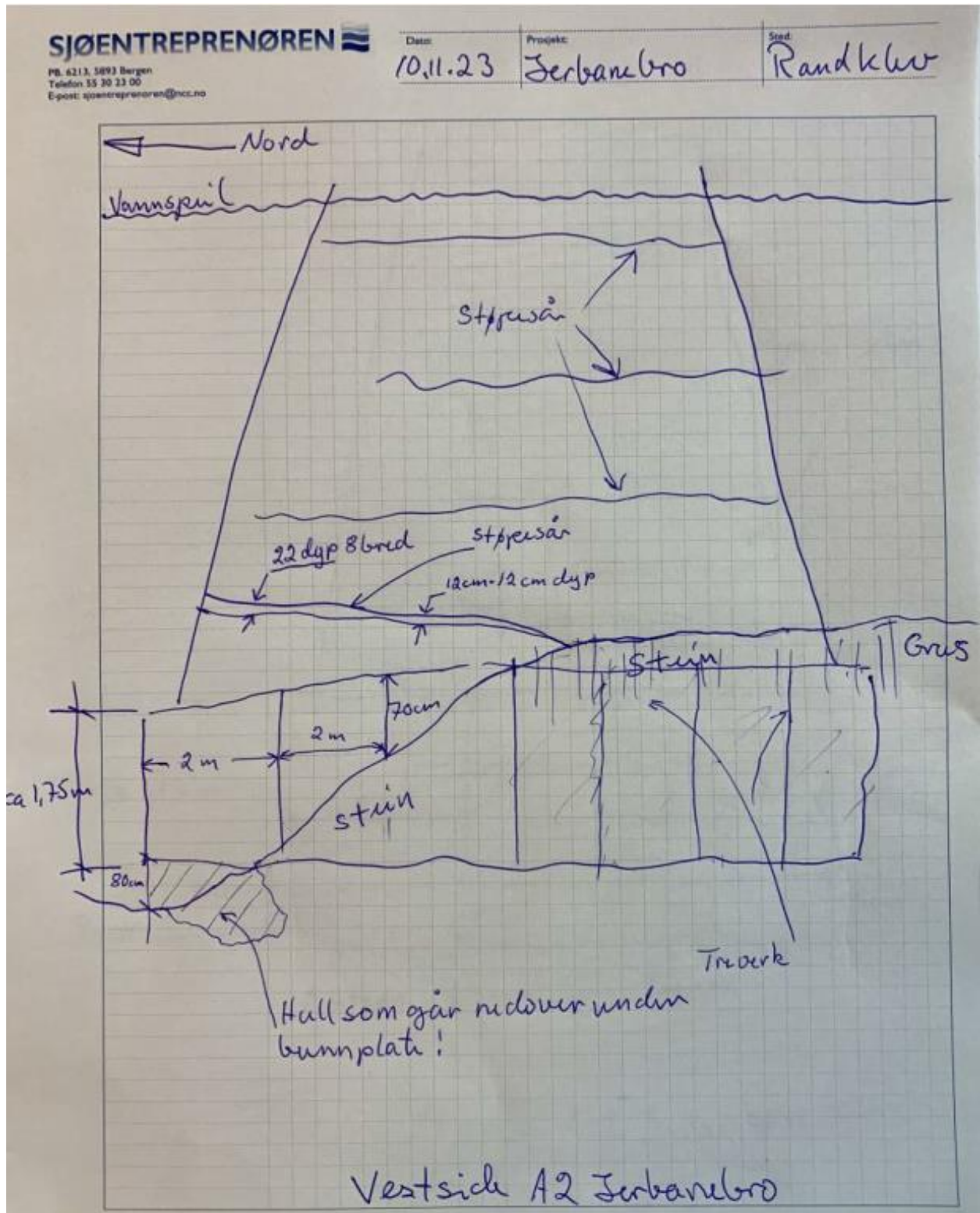


Figur 3: Geometri brupilar. Hentet fra overnevnt beregningsdokumentasjon.

I henhold til avklaring fra Bane NOR skal bæreevnen til fundamentet i akse 2 etterregnes etter regelverket fra opprinnelig prosjektering av fundamentet, det vil si: lastmodell 1932 uten islast.

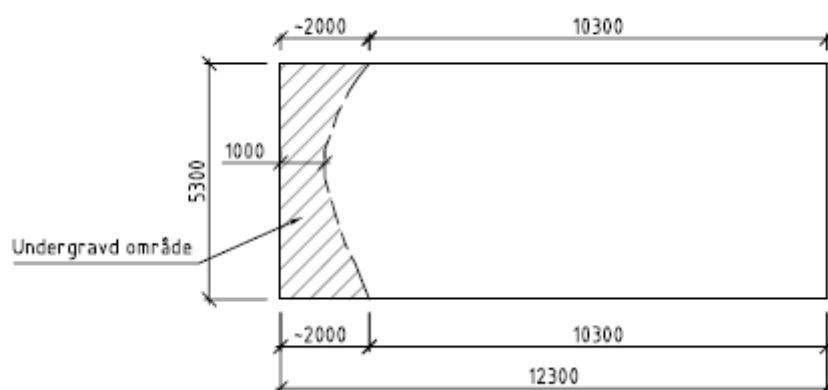
Det er gjennomført en elvebunnskartlegging 6. september 2023, som legges til grunn for vurderinger i denne rapporten. Kartleggingen er gjennomført ved multistråle ekkolodd fra båt. Høydekurvene som vises under fundamentet, er interpolert mellom nærmeste tilgjengelige datapunkt på siden av fundamentet.

Det ble i uke 45 2023 gjennomført dykkerinspeksjon av brufundamentet av Sjøentreprenøren. Inspeksjonen viste at fundamentet er dels undergravd mot nord, opp mot ca. 2 meter innunder fundamentet. Utklipp av opprisstegning av fundamentets vestre side fra rapport: *Randklev bru – Inspeksjon av fundamenter. Dykkerrapport 10.11.2023 Sjøentreprenøren* er gjengitt i figuren under.



Figur 4: Oppriss vestre fundamentside. Randklev bru – Inspeksjon av fundamenter.
Hentet fra: Dykkerrapport 10.11.2023 Sjøentreprenøren.

Basert på dykkerinspeksjonen antas undergravingen å være opp mot 2 meter inn under fundamentet. Figuren under viser antatt fundamentflate for dagens situasjon.



Figur 5: Antatt fundamentflate av dagens situasjon.

For ytterligere beskrivelse av erosjon og dagens situasjonsbilde vises det til Sjøentreprenøren sin dykkerrapport 10.11.2023 og POM-03-A-00048 Pilar i akse 2 Skadeomfang og utbedringsforslag.

3 GRUNNFORHOLD

Oversiktstegning av bruene omtaler løsmassene under pilarene som «Steinholdig grus helt til fjell.»

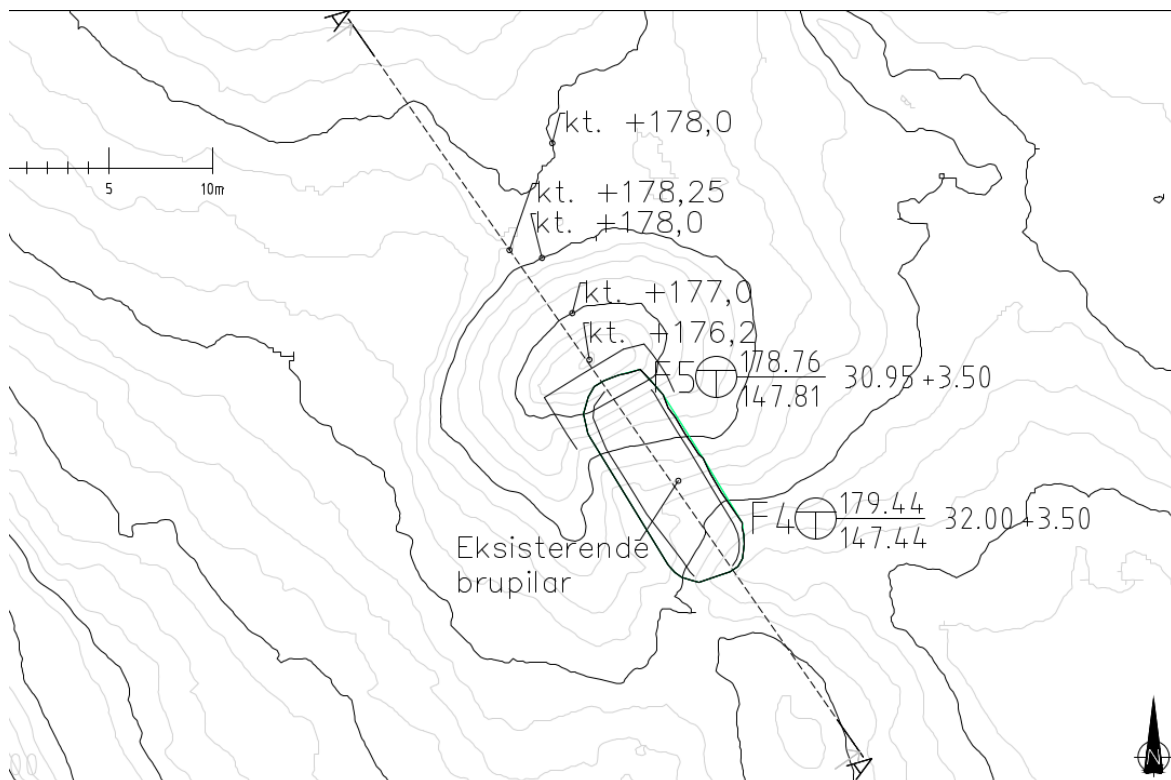
Rambøll har gjennomført grunnundersøkelser på land og vann i forbindelse med det pågående oppdraget. Figur 6 viser situasjonsplan over området. Omtrentlig fundamentplassering i akse 2 er tegnet inn som et rektangel. Det ble gjennomført to totalsonderinger i nærheten av fundamentet fra flåte. Stor vannhastighet førte til at bormannskapet ikke fikk gjennomført sonderinger på vestsiden og nedstrøms fundamentet. Det ble ikke gjennomført sonderinger oppstrøms fundamentet ettersom sikringstiltak på eksisterende vegbru ikke var gjennomført. Boringene viser relativt like grunnforhold, med 8-9 m faste masser av antatt sandig grus/grus over et ca. 21 – 23 meter tykt sandlag. Boringene ble avsluttet i berg ca. på kote +147.5.

Nærliggende sonderinger ved akse 3 og på land øst for elva viser tilsvarende lagdeling med varierende dybder. Ved kornfordelingsanalyser på land er det faste laget definert som sandig, grusig materiale, mens det underliggende laget er definert som ensgradert sand. Grunnvannstanden rundt akse 2 følger vannivået i elva, og antas å være hydrostatisk i dybden. Snitt A-A med tolket lagdeling er vist i Figur 7. Med bakgrunn i gjennomførte grunnundersøkelser i vann og land er grunnforholdene ved akse 2 tolket til:

Tabell 1: Tolket lagdeling og materialparametere ved akse 2.

Lag	Bunnkote [m]	Friksjonsvinkel ϕ [°]	Attraksjon [kPa]
Sandig grus/ grus	+171	38	5
Sand	+147	35	5

For ytterligere beskrivelse av topografi og grunnforhold vises det til beskrivelse gitt i POM-03-A-00012, Datarapport geotekniske grunnundersøkelser datert 07.12.23.



Figur 6: Situasjonsplan med fundamentomriss akse 2.

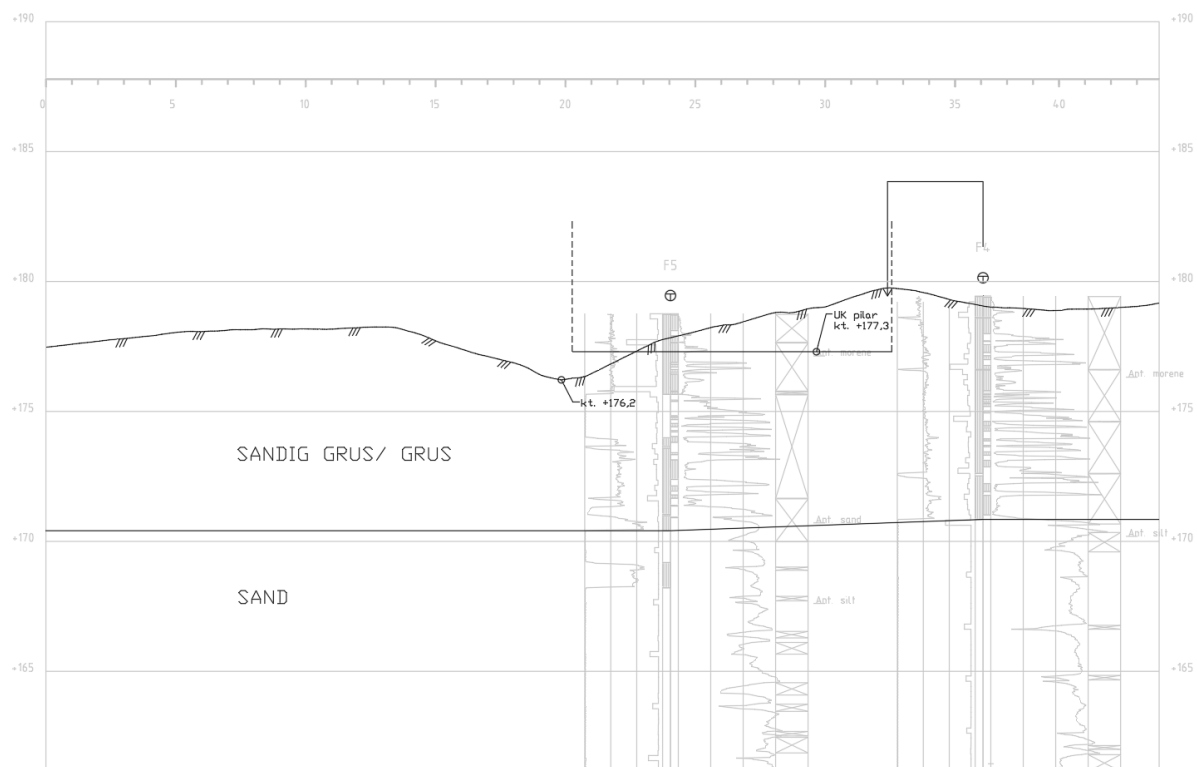


Figure 7: Snitt A-A. Tolket lagdeling akse 2.

4 GEOTEKNISKE PROSJEKTERINGSFORUTSETNINGER

4.1 Regelverk og dokumenter

For geoteknisk prosjektering av tiltaket gjelder følgende regelverk:

- NS-EN 1990:2002+NA:2016 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [1]
- NS-EN 1997-1:2004+NA:2020 Geoteknisk prosjektering [2]
- NS-EN 1998-1:2004+NA:2021 Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning–Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger [3]
- Bane NORs tekniske regelverk (TRV) [4]

Av relevante dokumenter for prosjekteringen i denne rapporten nevnes:

- POM-03-A-00005 Randklev bru, beregningsforutsetninger konstruksjon [5]
- POM-03-A-00011 Vurdering av stabilitet for kranfylling [6]
- POM-03-A-00012 Geoteknisk datarapport [7]
- POM-03-A-00016 Vurdering av bæreevne og sikringstiltak akse 2 [8]
- POM-03-A-00022 Ingeniørgeologisk rapport bane og vegtunnel [9]
- POM-03-A-00030 Statistiske beregninger og dimensjonering av fundament i akse 3 [10]
- POM-03-A-00039 Vurdering av sikringsfylling for bygging av pilar 3 [11]
- POM-03-A-00048 Pilar i akse 2 Skadeomfang og utbedringsforslag [12]
- POM-03-A-00057 Dimensjonering av erosjonssikring ved Randklev bru [13]
- Randklev bru – Inspeksjon av fundamenter. Dykkerrapport 10.11.2023 [14]

4.2 Geoteknisk kategori

Prosjekter klassifiseres i geotekniske kategorier avhengig av kompleksitet og risiko i henhold til Eurokode 7 del 1 kapittel 2.1 og TRV:08147. De planlagte arbeidene omfatter prosjektering av brufundament samt fyllinger under vann. Prosjektet plasseres i **geoteknisk kategori 2**.

4.3 Pålitelighetsklasse (CC/RC)

Pålitelighetsklasse fastsettes med bakgrunn i Eurokode 0 tabell NA.A1(901) og TRV:08151. Randklev bru er en jernbanebru. Ut fra ovenstående velges **pålitelighetsklasse RC3** og **konsekvensklasse CC3** for fundamenteringsarbeidene til Randklev bru.

4.4 Prosjekterings- og utførelseskontroll

Tiltaket er plassert i CC/RC3 som medfører **prosjekteringskontrollklasse 3** (PKK3) (TRV:08152). PKK3 medfører krav til egenkontroll (DSL 1), intern systematisk kontroll (DSL 2) og utvidet kontroll (DSL 3) for prosjektering. Standarden angir at utvidet kontroll i PKK3 bør i tillegg til en kontroll som bekrefter at egenkontroll og intern systematisk kontroll er gjennomført og dokumentert av det prosjekterende foretaket, minst omfatte kontroll av de samme punktene som angitt for egenkontroll i Eurokode 0 NA.A1(903.2). Kontrollen kan begrenses til stabilitet ved geoteknisk prosjektering.

Tiltakene er plassert i CC/RC3 som medfører **utførelseskontrollklasse 3** (UKK3) (TRV:08152). UKK3 medfører krav til egenkontroll (IL 1), intern systematisk kontroll (IL 2) og utvidet kontroll (IL 3) for utførelse. Standarden angir at utvidet kontroll i UKK3 innebærer en kontroll som bekrefter at egenkontroll og intern systematisk kontroll er gjennomført og dokumentert av det utførende foretaket. Det utførende

arbeidet skal i tillegg kontrolleres tilstrekkelig for å gi tillit til at arbeidet er tilfredsstillende. Kontrollen kan være basert på stikkprøver og skal være tilpasset de funn som blir gjort. Spesielt viktige og kritiske området av betydning for byggverkets sikkerhet skal kontrolleres. Den utvidede kontrollen skal utføres parallelt med utførelsen der dette er hensiktsmessig, og det skal legges til rette for gjennomføringen.

4.5 Grunntype

Grunntype defineres i henhold til Eurokode 8 del 1 tabell NA.3.1. Grunnforholdene varierer mellom grunntype A: *fjell eller fjell-liknende geologisk formasjon, medregnet høyst 5 m svakere materiale på overflaten* og grunntype C: *Dype avleiringer av fast eller middels fast sand eller grus eller stiv leire med tykkelse fra et titalls meter til flere hundre meter*.

Landkar i akse 1 står på berg. For valg av grunntype er det de øverste 30 meterne av jordprofilen som er dimensjonerende. Grunnundersøkelser i elva viser at grunnforholdene ved akse 2 og 3 er de øverste 30 meterne er tilsvarende som ved akse 4. Resultater fra grunnundersøkelser på land, tett på akse 4 benyttes som representativt jordprofil for akse 2, 3 og 4. Grunnundersøkelsene ved akse 4 er opp mot 91 meter dype, uten bergkontakt. Representativt jordprofil antas som 10 meter med sandig grus/grus og 20 meter med sand, med relativ lagringstetthet 30%. For ytterligere beskrivelse av jordprofil vises det til datarapport POM-03-A-00012 [7]. Det er gjennomført sensitivitetsberegninger ved en øvre og nedre stivhet i de øverste 10 meterne, med resulterende $V_{S,ave}$ lik 195 – 250 m/s for representativt jordprofil. Dimensjonerende grunntype er oppsummert under.

Akse	Grunntype
1	A
2	C
3	C
4	C

Det opplyses fra RIB at bruene kommer innenfor utelatelseskriteriet for seismisk dimensjonering.

4.6 Naturfare, sikkerhet mot skred

I henhold til TRV 520, kap 8, 8.5 skal områdestabilitet vurderes i henhold til NVEs veileder nr. 01/2019 dersom det er kvikkleire i området.

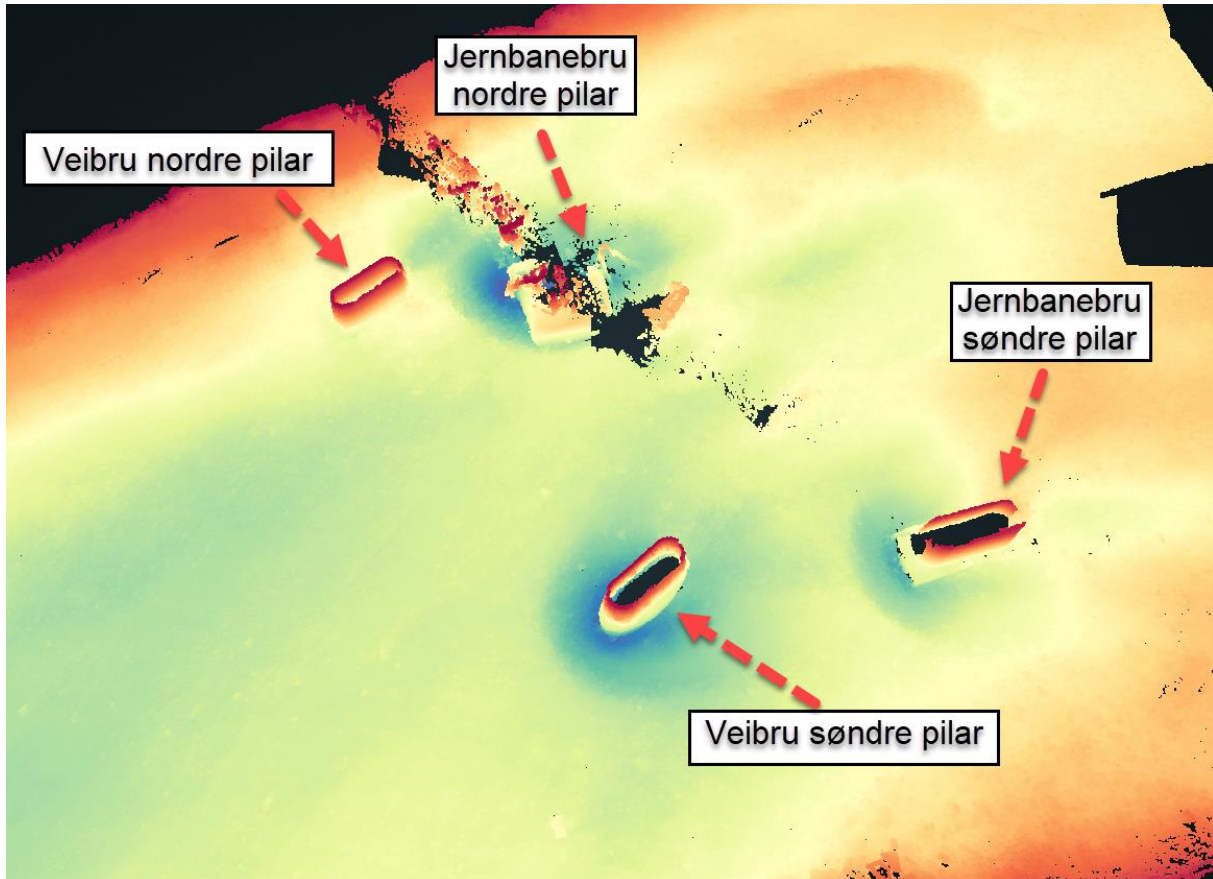
Områdeskred

Med bakgrunn i gjennomførte grunnundersøkelser og opptatte prøveserier antas grunnen i å bestå av friksjonsmasser i form av sand og grus, eventuelt siltig sand. Det er ikke oppdaget tegn til kvikkleire eller andre jordarter med sprøbruddegenskaper. Det vurderes ut fra dette at sikkerhet i forhold til områdeskred er ivarettatt, og ikke behøver ytterligere utredning.

For vurdering av sikkerhet mot skred i bratt terreng vises det til ingeniørgeologisk rapport, POM-03-A-00022 [9].

5 VURDERING AV DAGENS SITUASJON

Med bakgrunn i opprinnelige oversiktstegninger vist i Figur 1, ser det ut til at elvebunnen ved konstruksjonstidspunktet har ligget i flukt med overkant fundament, tilsvarende ca. kote + 179,5 (NN2000). Ved å ta utgangspunkt i dette nivået ser det ut til å ha vært en generell bunnsenkning av elva i store deler av profilet, og at det over tid har pågått erosjon som har senket elvebunnen under begge bruene betydelig.



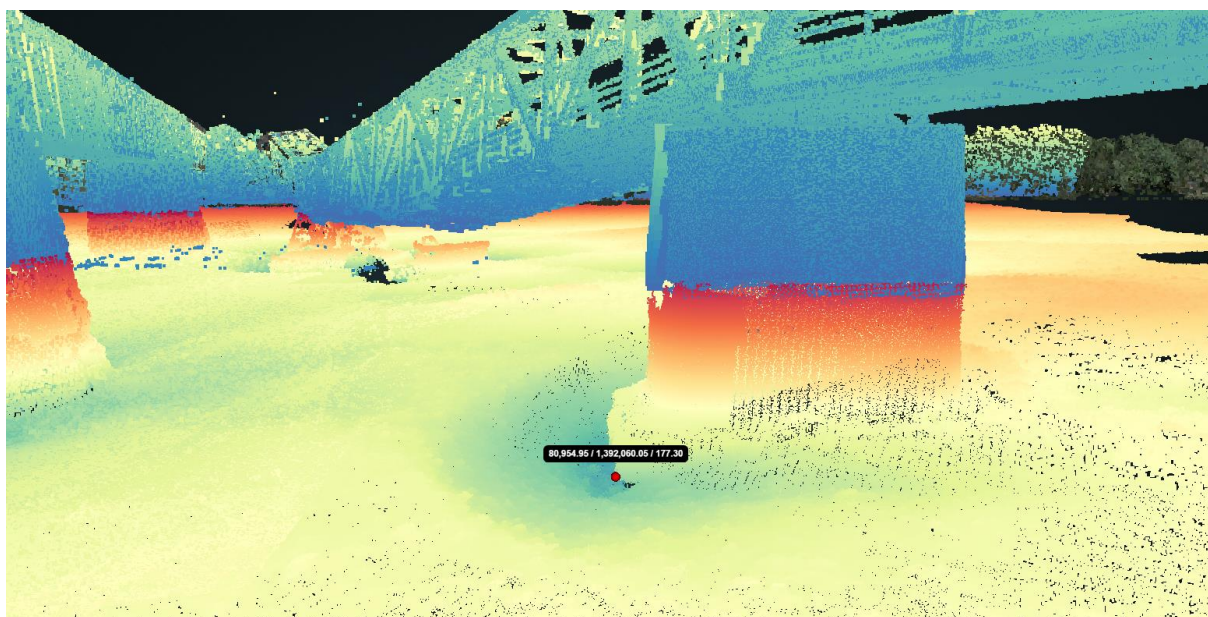
Figur 8: Oversiktsfigur av elvebunnskartlegging. Blå farge indikerer dypere elvebunn.

Elvebunnskartleggingen viser at erosjonen har vært størst rundt brupilarene, hvor begge pilarene til jernbanebrua, og den sørligste pilaren til veibrua er undergravd. I bakkant av den nordligste brupilaren til veibrua er det også betydelig erosjon.

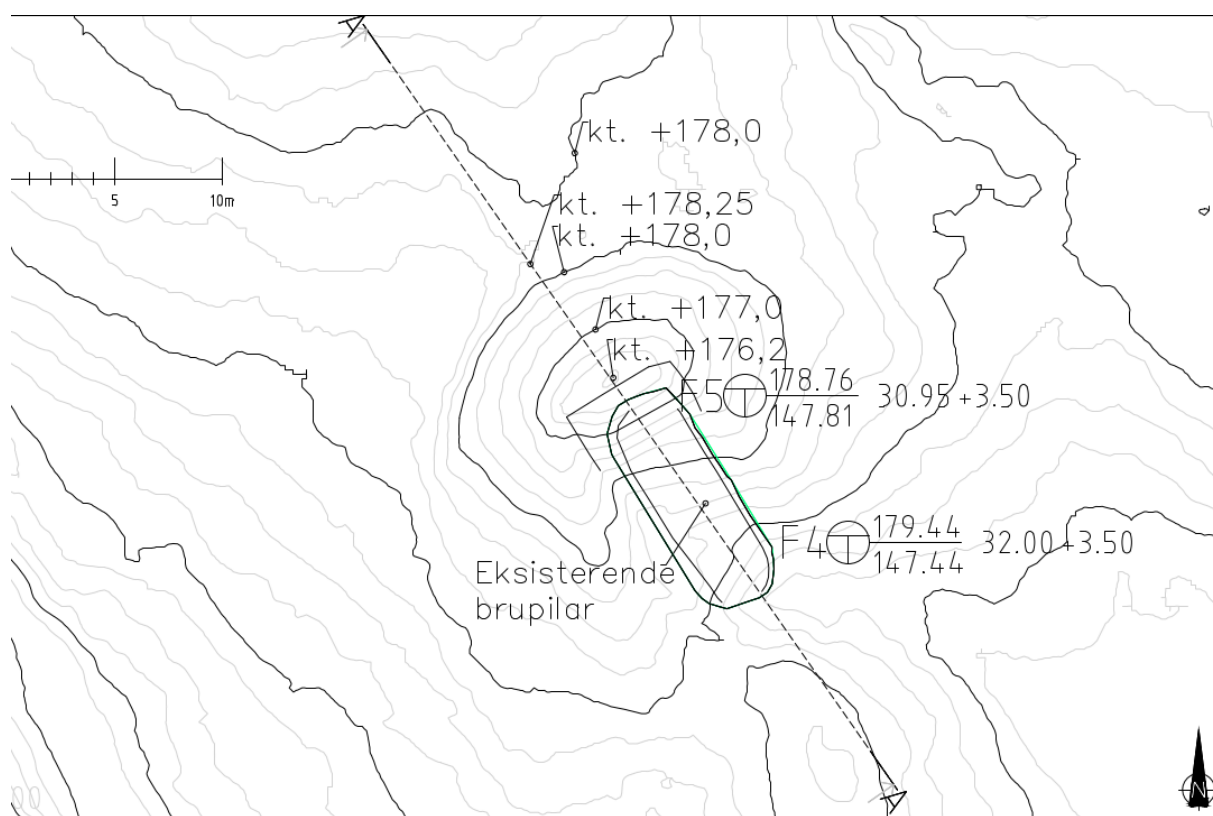
5.1 Akse 2

Ved pilar i akse 2 er elvebunnen på oppstrøms side gravd ut til ca. kote +176,2 som følge av erosjon. Figur 9 og Figur 10 viser henholdsvis utklipp fra 3D-modell og høydekurver for elvebunnen ved pilaren. Figur 11 viser erosjonsgropen gjennom snitt A-A. Basert på tilgjengelig grunnlag ser det ut til at fundamentet er delvis undergravd med inntil 2 meter mot nord-vest. Løsmassene omkring fundamentet stiger til en topp på kote +179.8 retning syd-øst, nedstrøms elva. Underkant fundament er antatt ut fra elvebunns scanning til å ligge ca. på kote +177.3.

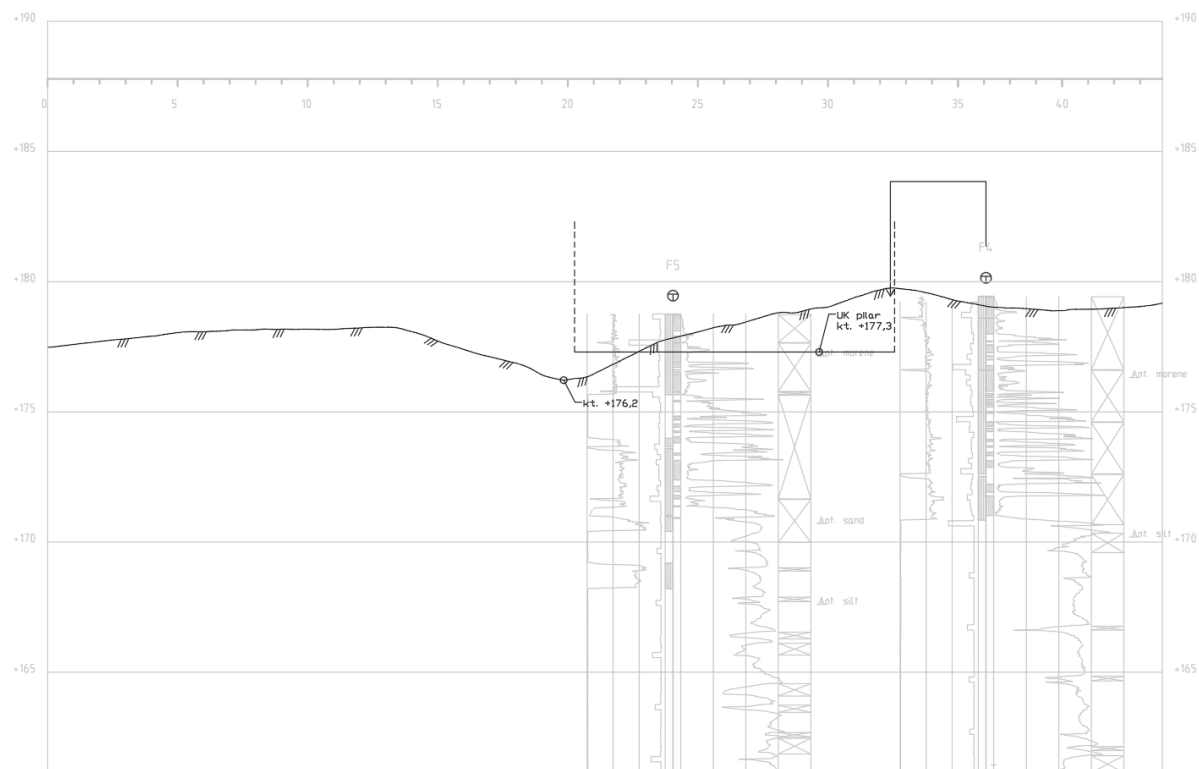
Det vurderes at pilaren er delvis undergravd og har betydelig erosjon inntil og delvis under fundament. Som følge av dette er bæreevnen betydelig redusert.



Figur 9: Utklipp fra punktsky. Høydedifferanser av sjøbunnen er vist ved fargeforskjeller. Sørligste pilar på jernbanebru er nærmest.



Figur 10: Høydekurver for elvebunnen ved sørligste pilar. Underkant fundament er antatt ut fra elvebunnsscanning til å ligge ca. på kote +177.3. Merk at høydekurver under fundamentet er interpolert fra nærliggende punkter på elvebunnen ved siden.



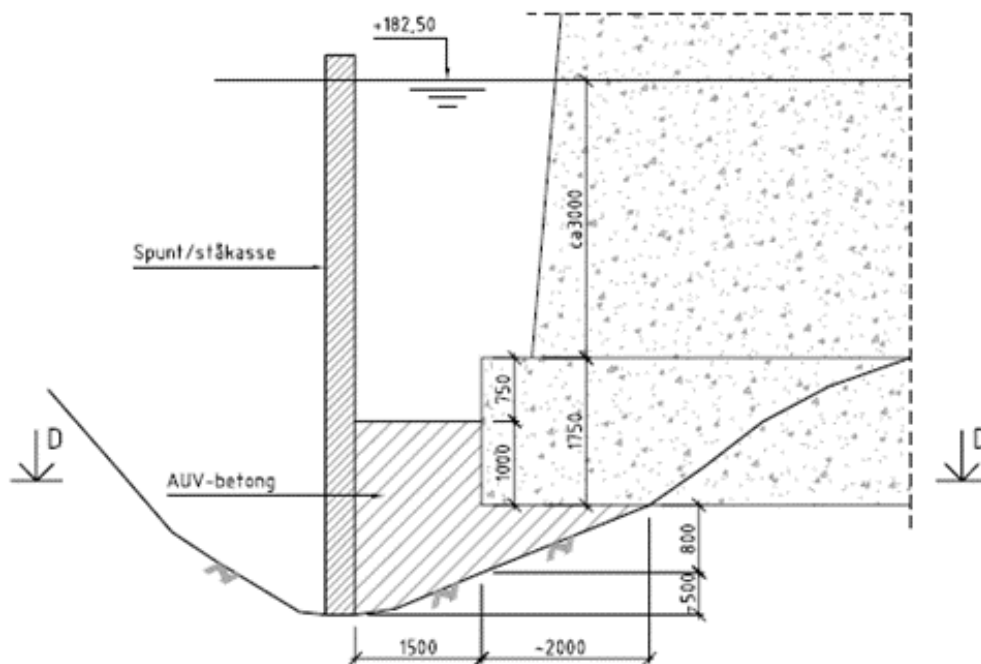
Figur 11: Snitt A-A, søndre pilar. Merk at elvebunn under fundament er interpolert mellom innmålte ytterpunkter.

6 UTBEDRING AV FUNDAMENT

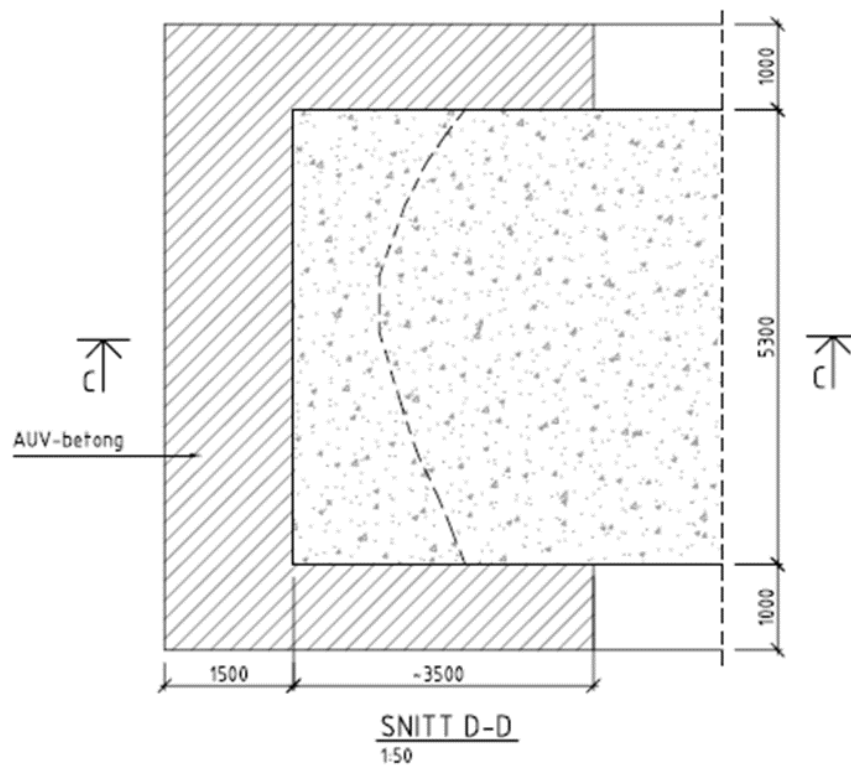
Fundamentet skal utbedres innen fagverkene heises på plass igjen. Utbedringen innebærer å reetablere fundamentets bæreevne ved understøping, og tilbakeføring av masser for økt overlaging. Under følger en kort oppsummering av foreslått løsning, for ytterligere detaljer rundt utbedringsforslag vises det til notat POM-03-A-00048 [12].

For å gjenopprette kontakten med hele fundamentflaten er det foreslått å støpe ut til ca. 1,5 m utenfor eksisterende fundament på nordsiden av fundamentet, og min 1 m utenfor fundament mot øst og vest. For å sikre et mottrykk for betongen under fundamentet skal understøpen gå som minimum opp til 1m over UK fundament. Det anbefales å bruke en spunt/stålkasse rundt fundamentet som forskaling, for å hindre utvasking av betong, som vist i figurene under.

Etter utstøpning er gjennomført heves elvebunn med tilbakefyllingsmasser som vist i LandXML-fil til kote +180. Tilbakefyllingen erosjonssikres iht. hydrologisk notat, POM-03-A-00057 [13].



Figur 12: Snitt C-C. Anbefalt utbedring av fundament.



Figur 13: Snitt D-D. Anbefalt utbedring av fundament.

7 BÆREEVNE

Bæreevnen til eksisterende fundament i akse 2 beregnes iht. opprinnelig lastmodell (1932) fra byggingen av bruene uten islast. Det gjennomføres to forskjellige bæreevneberegninger, nummerert som:

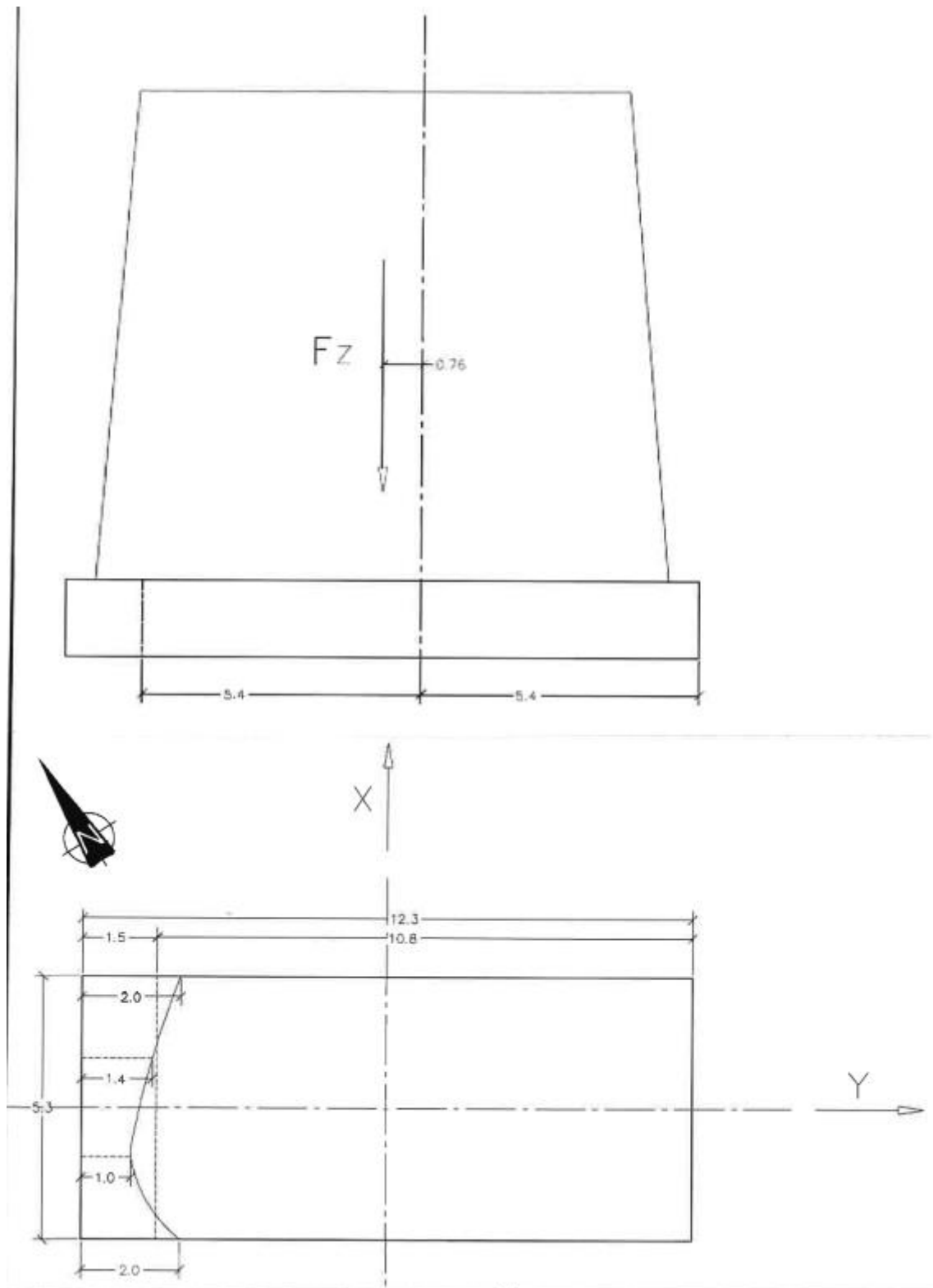
1. Bæreevne ved opprinnelige laster og full fundamentflate.
2. Bæreevne ved opprinnelige laster, redusert fundamentlengde og tilleggsmoment for å ta hensyn til lastenes eksentrisitet.

Ved beregning av bæreevne etter V220 beregnes en lasteksentrisitet på grunnens resulterende kraft, basert på momentlikevekt om senter fundament, der overliggende vertikallast virker i senter fundament. Ved beregning 2 antas det en redusert fundamentlengde grunnet undergraving, og kreftene vil dermed ikke lengre virke i senter fundament, men med en eksentrisitet. Det antas at fundamentet er delvis undergravd oppstrøms side, med en gjennomsnittlig undergraving på 1,5 meter. Figur 14 viser plan- og lengdesnitt av fundamentet, med antatt undergraving basert på innmålinger av dykker. Resulterende lasteksentrisitet fra vertikallasten antas følgelig lik 0,76m.

Undergravingen av fundamentet skal utbedres, og det vil i virkeligheten være en full fundamentflate som bærer pilaren. For å mobilisere fullt grunntrykk under fundamentet må utbedringen foregå med et overtrykk under utgravd område. Dette er vanskelig å gjennomføre i praksis, noe som fører til at fundamentet må ha en form for bevegelse/ekstra lastpåkjenning for å mobilisere utbedret fundamentflate. Beregningene i denne rapporten viser derfor konsekvensen av å medregne/ikke medregne undergravd fundamentflate.

Det gjennomføres en sensitivitetsanalyse for begge bæreevneberegningene for å se på påvirkningen av valgt friksjonsvinkel og overlaging omkring fundamentet. Det vurderes at økt overlaging er den minst kompliserte og samtidig den mest kostnads- og tidseffektive måten å gjenopprette fundamentets bæreevne på.

Bæreevnen regnes fra UK fundament på kote +177.3. Det antas en nøytral bruddmekanisme. Beregningene gjennomføres i lengde- og bredderetning av fundamentet. Det viser seg at bæreevnen i bredderetning, der fundamentet er smalest, er dimensjonerende for bæreevnen. For beregning av ruhet benyttes resultanten av horisontalkreftene over effektiv arealflate.



Figur 14: Øverste figur: Lengdesnitt av pilar med illustrert lasteksentrisitet fra vertikallasten. Nederste figur: Planfigur av fundament med antatt undergraving.

I opprinnelig beregningsrapport er det benyttet karakteristiske laster og angitt en bæreevne for fundamentet på 50 t/m². I denne rapporten har vi etterregnet bæreevnen i henhold til dagens beregningsmetode.

For en detaljert oversikt over anvendte laster og beregningsresultater vises det til Vedlegg 1 og 2. Kapitlene under oppsummerer de viktigste vurderingene.

7.1 Geometri

Geometri for bæreevneberegninger er vist i Figur 14. Antatt bredde og lengde på fundamentflate i bæreevneberegningene er hhv. 5,3 x 12,3 meter og 5,3 x 10,8 meter ved beregning 1 og 2.

7.2 Laster

Lasttilfeller er oversendt fra RIB og vist i Vedlegg 1. Lasttilfellene regnes med lastfaktorer iht. Eurokode 0 [1]. Som tidligere nevnt legges det til et tilleggsmoment om x-aksen i bæreevneberegning 2. Tilleggsmomentene beregnes ved vertikallasten multiplisert med lasteksentrisiteten ($F_v \cdot 0.76\text{m}$). Tilleggsmomentene fremkommer av tabellen under.

Tabell 2: Beregnet tilleggsmoment om x-aksen som følge av forflyttet fundamentsenter.

Navn	+Mx (Tilleggsmoment pga lasteksentrisitet) [kNm]
Trafikk, maksFz 6.10b+e	17282
Trafikk, minFz+e	11222
Vind trafikk, MinFx+e	10003
Vind u_Trafikk, minFx+e	5127

Det antas at momentet virker i samme retning som oversendte lasttilfeller fra RIB, da dette drar beregningen i konservativ retning.

7.3 Resultater

Kritisk lasttilfelle finnes ved laveste teoretiske overdekning ved friksjonsvinkel 37 grader. For oversikt over inndata for hver beregning, og detaljerte resultater vises det til Vedlegg 2. Resultatene er oppsummert under. Eksentrisitetskontroll iht. N400 7.2.3 skal i utgangspunktet gjennomføres for bruksgrensetilstand kombinasjon sjeldent forekommende. Sjekken gjennomføres til tross for at lastene under er dimensjonerende iht. bruddgrensetilstand. Det antas at dersom eksentrisitetskravet er OK ved bruddgrensetilstand er det også OK for bruksgrensetilstand.

7.3.1 Beregning 1 – Full fundamentflate

Oppsummering av bæreevneberegningene ved full fundamentflate er vist i tabellen under. Kritisk lasttilfelle er *Trafikk, MaksFz 6.10b*. Dette benyttes i videre sensitivitetsberegninger for fundamentet.

Tabell 3: Resultater bæreevneberegning full fundamentflate.

$\varphi = 37^\circ$ Overlagring = 20 kPa	Trafikk, maksFz 6.10b		Vind trafikk, MinFx		Vind u_Trafikk, minFx
	Trafikk, maksFz 6.10b	Trafikk, minFz	Vind trafikk, MinFx		
Eksentrisitetskontroll N400:2023 7.2.3	OK	OK	OK	OK	OK
Ruhet	OK	OK	OK	OK	OK
Beregnet grunntrykk UK fundament, qv	464.7	366.4	356.6	187.7	
Beregnet bæreevne x-retning, σ_v	508.9	435.2	424.4	443.9	
Beregnet bæreevne y-retning, σ_v	900.0	882.2	843.4	706.5	
Maksimal utnyttelse drenert beregning	91.3 %	84.2 %	84.0 %	42.3 %	

7.3.2 Beregning 2 – Redusert fundamentflate

Oppsummering av bæreevneberegningene for redusert fundamentflate, med tilleggsmoment om x-aksen er vist i tabellen under. Kritisk lasttilfelle er *Trafikk, MaksFz 6.10b+e*. Dette benyttes i videre sensitivitetsberegninger for fundamentet.

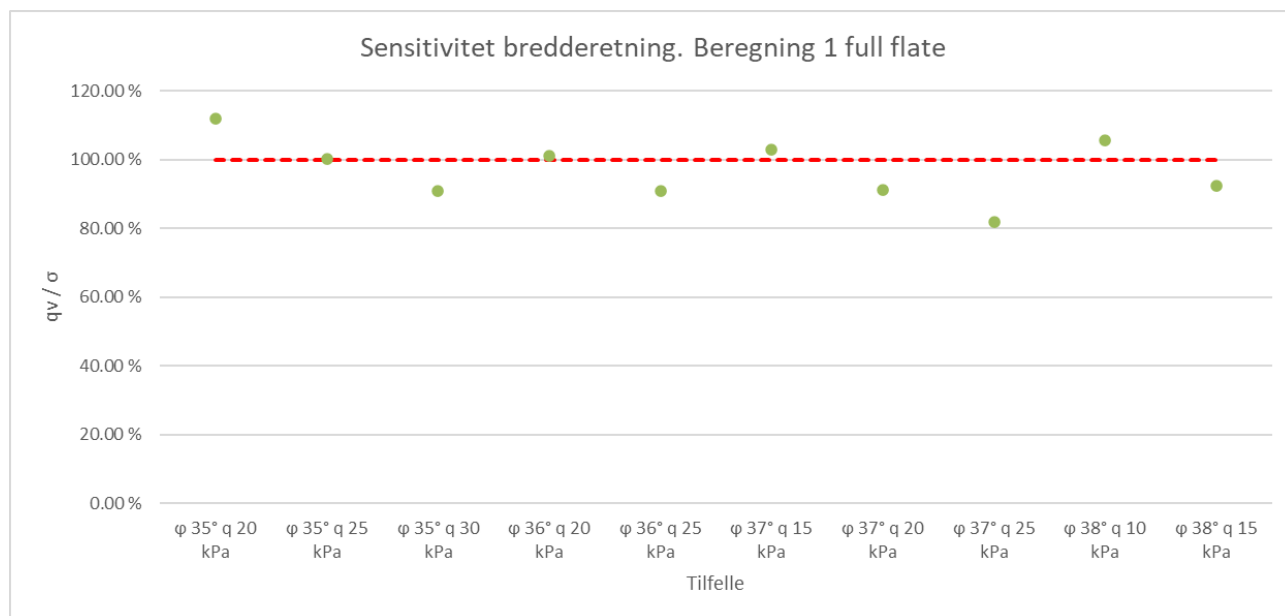
Tabell 4: Resultater bæreevneberegning redusert fundamentflate.

$\phi = 37^\circ$ Overlagring = 30 kPa	Trafikk, maksFz 6.10b+e	Trafikk, minFz+e	Vind trafikk, MinFx+e	Vind u_Trafikk, minFx+e
Eksentrisitetskontroll N400:2023 7.2.3	OK	OK	OK	OK
Ruhet	OK	OK	OK	OK
Beregnet grunntrykk UK fundament, qv	618.1	488.3	483.3	278.1
Beregnet bæreevne x-retning, σ_v	623.6	542.9	531.2	547.3
Beregnet bæreevne y-retning, σ_v	900.0	835.5	797.8	663.5
Maksimal utnyttelse drenert beregning	99.1 %	89.9 %	91.0 %	50.8 %

7.4 Sensitivitetsanalyse

7.4.1 Beregning 1 – Full fundamentflate

Figuren under viser bæreevneberegningens sensitivitet ved varierende friksjonsvinkel (ϕ) og overlagring (q) for lasttilfellet *Trafikk, MaksFz 6.10b*, ved full fundamentflate.

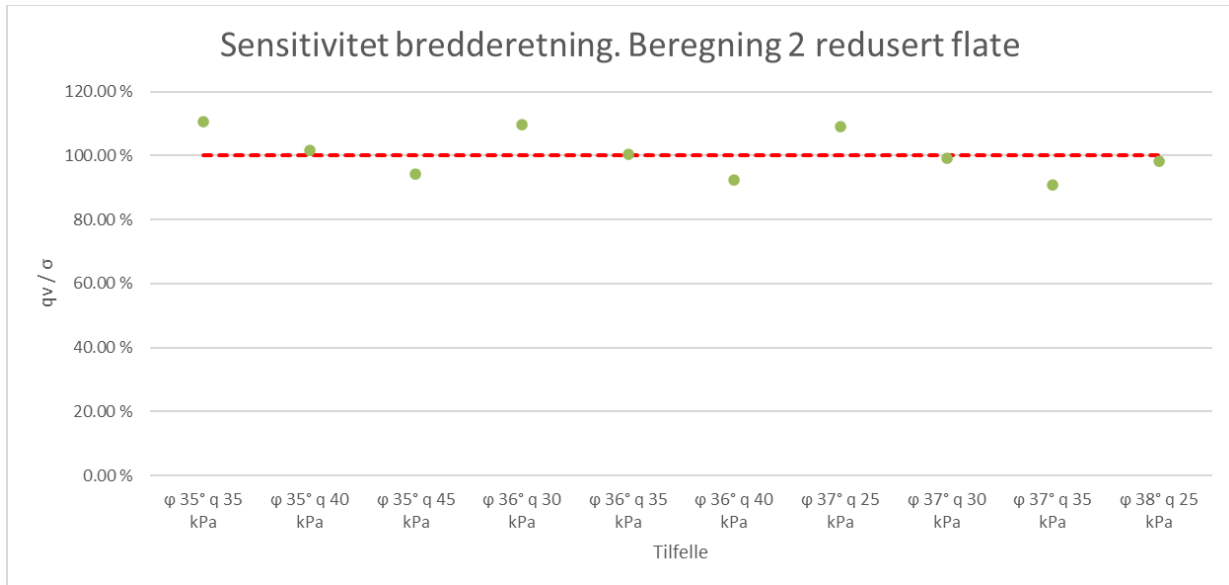


Figur 15: Sensitivitetsanalyse full fundamentflate. Friksjonsvinkel og overlagring.

Sensitivitetsanalysen viser at nødvendig overlagring rundt UK-fundament øker med nesten 5 kPa pr. reduserte grad for friksjonsvinkelen.

7.4.2 Beregning 2 – Redusert fundamentflate

Figuren under viser bæreevneberegningens sensitivitet ved varierende friksjonsvinkel (ϕ) og overlaging (q) for lasttilfellet *Trafikk, MaksFz 6.10b+e*, ved redusert fundamentflate.



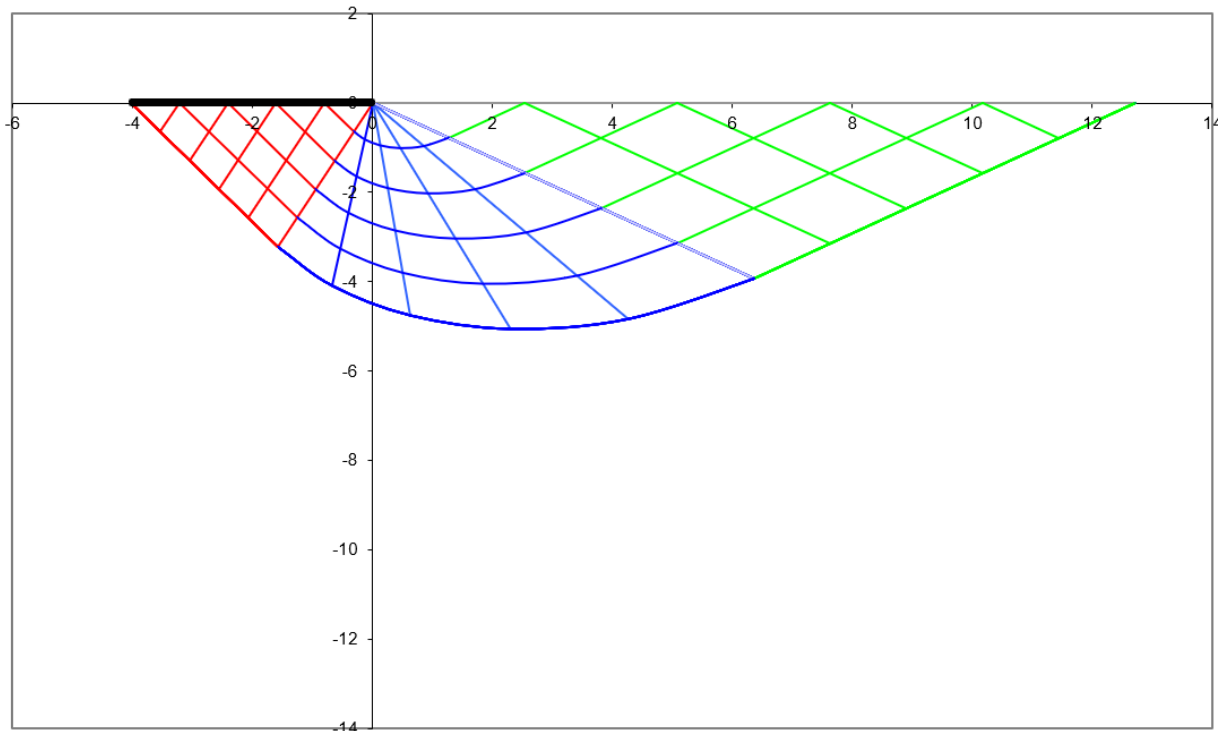
Figur 16: Sensitivitetsanalyse redusert fundamentflate. Friksjonsvinkel og overlaging.

Sensitivitetsanalysen viser at nødvendig overlaging rundt UK-fundament øker med litt mer enn 5 kPa pr. reduserte grad for friksjonsvinkelen.

7.5 Diskusjon

I beregning 2 er beregnet grunntrykk for kritisk lasttilfelle 618 kPa. Statens vegvesens håndbok V220 anbefaler at overført grunntrykk ikke overstiger 500 kPa. Avhengig av steinmaterialet under fundamentet kan høyt grunntrykk medføre nedknusing av materialet under fundamentet og dermed uønskede setninger. Tilførte masser som knust stein/sprengstein som er kantete og har få, spisse kontaktpunkter, vurderes å være mer utsatt for dette enn naturlige avrundede masser. For fundamentet i akse 2 vil en eventuell nedknusing føre til en mindre bevegelse i fundamentet som vil mobilisere utbedret fundamentflate, og gi en jevnere fordeling av kreftene, og dermed gå mot en situasjon lik beregningssituasjon 1. Underkanten av fundamentet utbedres ved bruk av AUV-betong som støpes med overtrykk. Det er forventet at denne betongen vil trenge inn i stedlige masser under UK fundament, og dermed øke antall teoretiske kontaktpunkter i løsmassestrukturen. Ifølge prøvegraving består løsmassene i elva av avrundet grov elvegrus, og er mindre utsatt for nedknusing enn for eksempel knust stein. Ved beregning 1 er grunntrykk for tilsvarende kritisk lasttilfellet 464 kPa, godt under 500 kPa. I virkeligheten vil nok kritisk grunntrykk ligge et sted imellom.

Figuren under viser teoretiske spenningsfelt under fundamentet for kritisk lasttilfelle i beregning 2. Spenningsfeltene er delt inn i ett snittelement, en Prandtl-sone og en passiv Rankine-sone. Som vist i figuren mobiliserer spenningsfeltet løsmasser litt over 5m under fundamentet, tilsvarende ca. kote +172, litt over 12 meter fra ytterkant fundament. Ut fra tolket lagdeling er dette fortsatt innenfor sandig grus/grus-laget. Det antas dermed at en friksjonsvinkel på 37° er på konservativ side av beregningene for fundamentet.



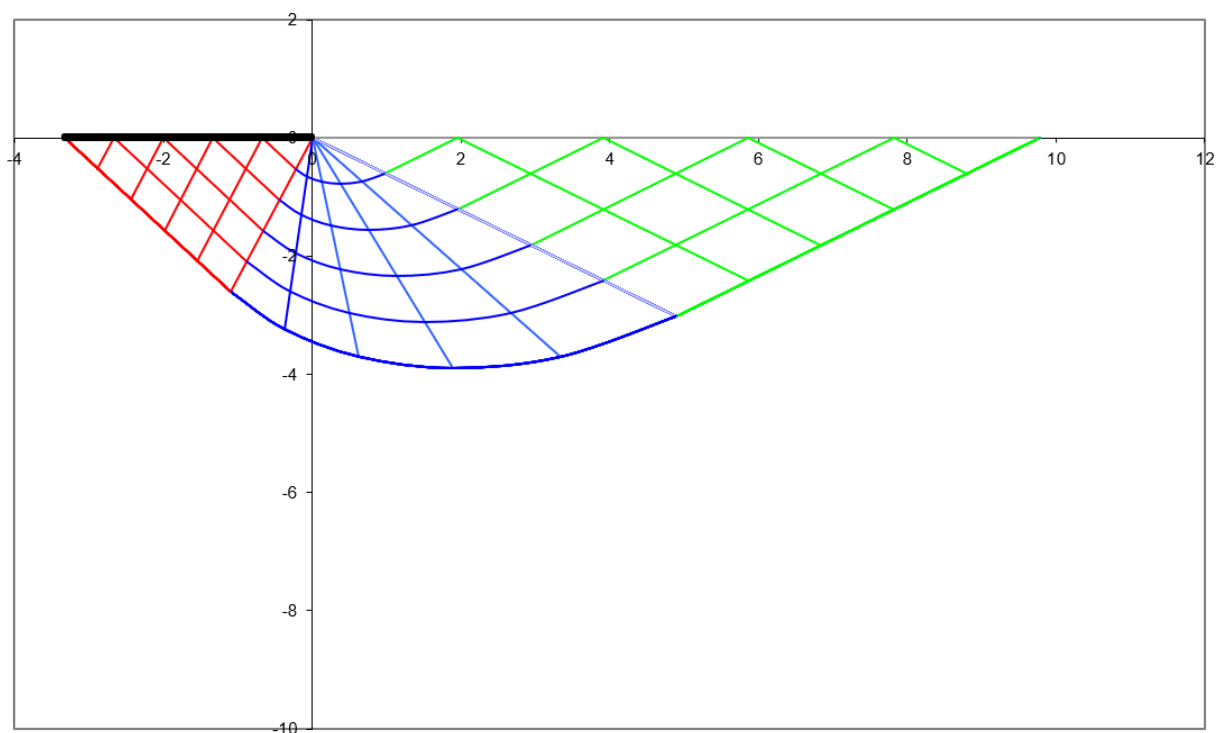
Figur 17: Spenningsfelt for kritisk lasttilfelle i beregning 2. $\phi = 37^\circ$, $r = 0,12$

UK fundament er antatt å ligge på kote +177.3 eller dypere. Ved å heve elvebunn til kote +180 oppnås en teoretisk overlaging på 27 kPa. Basert på overnevnte vurderinger og resultater antas dette å gi en tilstrekkelig grad av sikring mot bæreevnebrudd, til tross for en liten overskridelse i beregning 2. Ved et eventuelt bæreevnebrudd etter beregning 2 vil fundamentet mobilisere utbedret fundamentflate, og dermed fordele kreftene. Ved 78.8% utnyttelse for beregning 1 antas overnevnte løsning å være robust og tilstrekkelig sikker.

Tabell 5: Beregnet bæreevne ved overnevnt løsning.

$\phi = 37^\circ$ Overlagring = 27 kPa	Beregning 1: Trafikk, maksFz 6.10b	Beregning 2: Trafikk, maksFz 6.10b+e
Eksentrisitetskontroll N400:2023 7.2.3	OK	OK
Ruhet	OK	OK
Beregnet grunntrykk UK fundament, qv	464.7	618.1
Beregnet bæreevne x-retning, σ_{vx}	589.2	589.1
Beregnet bæreevne y-retning, σ_{vy}	900.0	877.9
Maksimal utnyttelse drenert beregning	78.8 %	104.9 %

Fyllingsbredde for å oppnå tilstrekkelig bæreevne vurderes ut fra sonegeometri fra bæreevneberegningen. Det vurderes til at fundamentet er sikret tilstrekkelig overdekning ved en 30m bred fylling opp til kote +180. Dette gir en overlaging opptil 27 kPa inntil 12.35m unna ytterkant fundament. Stedlige masser utenfor fyllingen ligger omtrent på kote +179, som gir en overlaging på 17 kPa. Bæreevnen ved beregning 1 er ivaretatt, selv ved 17 kPa overdekning. Som vist i vedlegg 2 mobiliserer de resterende lasttilfellene en høyere ruhet og smalere effektiv bredde enn kritisk lasttilfelle. Disse to faktorene fører til grunnere spenningsfelt, som vist i figuren under. Det vurderes til at overdekningen er sikret ved samtlige lasttilfeller ved en 30m bred tilbakefylling.



Figur 18: Spenningsfelt for lasttilfellet *Trafikk*, $\min F_z + e$ i beregning 2. $\phi = 37^\circ$, $r = 0,19$

8 KONTROLLPLAN FOR UTFØRELSE

Det skal utarbeides kontrollplan for utførelse før arbeidene starter. Følgende punkter ansees som viktige:

- Verifikasjon av full kontakt mellom utstøpning og underkant fundament.
- Kontroll av topp fylling til minimum +180.
- Setningsmålinger bør etableres før montering av brufagverk.
- Erosjonssikring må utføres før vårfloppen.

9 VEDLEGG

- Vedlegg 1: Laster
- Vedlegg 2: Bæreevneberegninger

VEDLEGG 1: DIMENSJONERENDE LASTTILFELLER

Laster fra opprinnelig beregning (side 72 og 73 i pdf):

Egenvekt: $G := 2118 \text{ kN} + 6953 \text{ kN} + 2340 \text{ kN} + 292 \text{ kN} = 11703 \text{ kN}$

Oppdrift $O_{ber} := 2080 \text{ kN}$ varig del

Lasttog: $Q_{LM} := 5347 \text{ kN}$ $M_{br} := -Q_{br} \cdot 11.5 \text{ m} = -8545 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Bremsing: $Q_{br} := 743 \text{ kN}$

Friksjon: $Q_{frik} := 118 \text{ kN}$ $M_{frik} := Q_{frik} \cdot 11.5 \text{ m} = 1357 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Vind: $Q_{vind} := 465 \text{ kN}$ $M_{vind} := 6960 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Kippkraft $Q_{slingre} := 43 \text{ kN}$ $M_{slingre} := Q_{slingre} \cdot 13 \text{ m} = 559 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Laster ved oppdrift:

Flomnivå $k_{200} = 187.47 \text{ m}$
 $k_{lav} = 182.37 \text{ m}$

Pilarhøyde over flom: $h_{of} := 188.654 \text{ m} - k_{200} = 1.184 \text{ m}$

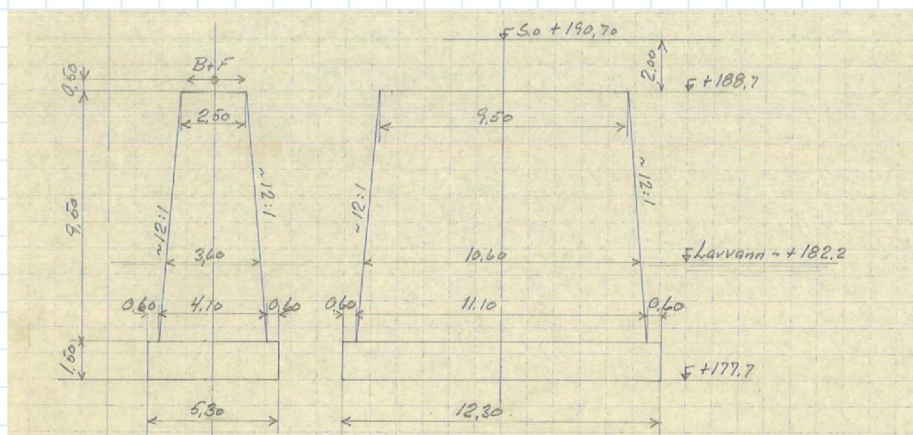
Volum pilar over flom $V_{of} := \left(2.5 \text{ m} + \frac{h_{of}}{12} \cdot 0.5\right) \cdot \left(9.5 \text{ m} + \frac{h_{of}}{12} \cdot 0.5\right) \cdot h_{of} = 28.824 \text{ m}^3$

Oppdrift ved flom:

$$O_{200} := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot \left(5.3 \text{ m} \cdot 12.3 \text{ m} \cdot 1.5 \text{ m} + \frac{(4.1 \text{ m} + 2.5 \text{ m}) \cdot (9.5 \text{ m} + 11.1 \text{ m})}{4} \cdot 9.454 \text{ m} - V_{of}\right) = 3903 \text{ kN}$$

Oppdrift i opprinnelig beregning: $O_{ber} := 2080 \text{ kN}$

Variabel oppdrift: $\Delta O := O_{200} - O_{ber} = 1823 \text{ kN}$



Lastkombinasjon med lastfaktorer jf 6.10b, trafikk som hovedlast, maksimalt vertikalt :

$$F_x := 1.5 \cdot Q_{br} + 1.35 \cdot 0.8 \cdot Q_{frik} = 1242 \text{ kN}$$

$$F_y := 1.6 \cdot 0.75 \cdot Q_{vind} + 1.5 \cdot Q_{slingre} = 623 \text{ kN}$$

$$F_z := 1.35 \cdot 0.8 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{LM} + 1.0 \cdot O_{ber} = 22740 \text{ kN}$$

$$M_x := 1.6 \cdot 0.75 \cdot M_{vind} + 1.5 \cdot M_{slingre} = 9191 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_y := 1.5 \cdot M_{br} + 1.35 \cdot 0.8 \cdot M_{frik} = - 11351 \text{ kN} \cdot m$$

$$F_{x_loc} := 0.83867 \cdot F_x + 0.54464 \cdot F_y = 1381 \text{ kN}$$

$$F_{y_loc} := 0.83867 \cdot F_y - 0.54464 \cdot F_x = - 154 \text{ kN}$$

$$F_{z_loc} := F_z = 22740 \text{ kN}$$

$$M_{x_loc} := 0.83867 \cdot M_x + 0.54464 \cdot M_y = 1525 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{y_loc} := 0.83867 \cdot M_y - 0.54464 \cdot M_x = - 14525 \text{ kN} \cdot m$$

Trafikk som hovedlast med lite vertikallast:

$$F_x := 1.5 \cdot Q_{br} + 1.35 \cdot 0.8 \cdot Q_{frik} = 1242 \text{ kN}$$

$$F_y := 1.6 \cdot 0.75 \cdot Q_{vind} + 1.5 \cdot Q_{slingre} = 623 \text{ kN}$$

$$F_z := 1.0 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{LM} - 1.2 \cdot O_{ber} - 1.35 \cdot \Delta O = 14766 \text{ kN}$$

$$M_x := 1.6 \cdot 0.75 \cdot M_{vind} + 1.5 \cdot M_{slingre} = 9191 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_y := 1.5 \cdot M_{br} + 1.35 \cdot 0.8 \cdot M_{frik} = - 11351 \text{ kN} \cdot m$$

$$F_{x_loc} := 0.83867 \cdot F_x + 0.54464 \cdot F_y = 1381 \text{ kN}$$

$$F_{y_loc} := 0.83867 \cdot F_y - 0.54464 \cdot F_x = - 154 \text{ kN}$$

$$F_{z_loc} := F_z = 14766 \text{ kN}$$

$$M_{x_loc} := 0.83867 \cdot M_x + 0.54464 \cdot M_y = 1525 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{y_loc} := 0.83867 \cdot M_y - 0.54464 \cdot M_x = - 14525 \text{ kN} \cdot m$$

Vind som hovedlast med trafikk (lite vertikalt):

$$F_x := 1.5 \cdot 0.8 \cdot Q_{br} + 1.35 \cdot 0.8 \cdot Q_{frik} = 1019 \text{ kN}$$

$$F_y := 1.6 \cdot Q_{vind} + 1.5 \cdot 0.8 \cdot Q_{slingre} = 796 \text{ kN}$$

$$F_z := 1.0 \cdot G + 1.5 \cdot 0.8 \cdot Q_{LM} - 1.2 \cdot O_{ber} - 1.35 \cdot \Delta O = 13162 \text{ kN}$$

$$M_x := 1.6 \cdot M_{vind} + 1.5 \cdot 0.8 \cdot M_{slingre} = 11807 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_y := 1.5 \cdot 0.8 \cdot M_{br} + 1.35 \cdot 0.8 \cdot M_{frik} = -8788 \text{ kN} \cdot m$$

$$F_{x_loc} := 0.83867 \cdot F_x + 0.54464 \cdot F_y = 1288 \text{ kN}$$

$$F_{y_loc} := 0.83867 \cdot F_y - 0.54464 \cdot F_x = 112 \text{ kN}$$

$$F_{z_loc} := F_z = 13162 \text{ kN}$$

$$M_{x_loc} := 0.83867 \cdot M_x + 0.54464 \cdot M_y = 5116 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{y_loc} := 0.83867 \cdot M_y - 0.54464 \cdot M_x = -13801 \text{ kN} \cdot m$$

Vind som hovedlast uten trafikk (lite vertikalt):

$$F_x := 1.35 \cdot 0.8 \cdot Q_{frik} = 127 \text{ kN}$$

$$F_y := 1.6 \cdot Q_{vind} = 744 \text{ kN}$$

$$F_z := 1.0 \cdot G - 1.2 \cdot O_{ber} - 1.35 \cdot \Delta O = 6746 \text{ kN}$$

$$M_x := 1.6 \cdot M_{vind} = 11136 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_y := 1.35 \cdot 0.8 \cdot M_{frik} = 1466 \text{ kN} \cdot m$$

$$F_{x_loc} := 0.83867 \cdot F_x + 0.54464 \cdot F_y = 512 \text{ kN}$$

$$F_{y_loc} := 0.83867 \cdot F_y - 0.54464 \cdot F_x = 555 \text{ kN}$$

$$F_{z_loc} := F_z = 6746 \text{ kN}$$

$$M_{x_loc} := 0.83867 \cdot M_x + 0.54464 \cdot M_y = 10138 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{y_loc} := 0.83867 \cdot M_y - 0.54464 \cdot M_x = -4836 \text{ kN} \cdot m$$

VEDLEGG 2: BÆREEVNEBEREGNINGER

Bæreevne - Gitt last

- Bæreevneberegninger iht. SVV V220

Beregning:	Trafikk, maksFz 6.10b
Oppdrag:	Randklev bru
Oppdragsnummer:	1350057292

	Signatur	Dato
Utført:	KIAA	12.12.2023
Kontrollert:	ERPY	12.12.2023

Innledning:
Bæreevne etter N400:2023 kap 7.2 x er fundamentets tverretning, y er fundamentets lengderetning

Felter som fylles ut

Beregningsresultater

Fundamenttyper
Rektangulært fundament

Undrenerte beregninger:

☐ Udrenerte beregninger

Laster

Vertikallast	N_Ed	[kN]	22740.00
Horisontallast - retning X	Fh_X	[kN]	1381.00
Moment om x-akse	M_x,Ed	[kNm]	1525.00
Horisontallast - retning Y	Fh_Y	[kN]	154.00
Moment om y-akse	M_y,Ed	[kNm]	14525.00

Se figur til høyre for definisjon av aksesystem

Terreng

Overlagring	q	[kPa]	27
Helning i forkant av funtament	$\tan(\beta_{helning})$	[-]	0
Helning i forkant av fundament	$\beta_{helning}$	[grader]	0

$\tan(V/H)$

Fundamentdimensjon

Valgt fundamentbredde, retning X	B	[m]	5.30
Valgt fundamntlengde, retning Y	L	[m]	12.30
Effektiv fundamentbredde	B _{0,lag1}	[m]	4.023
Effektiv fundamntlengde	L _{0,lag1}	[m]	12.17
Effektiv fundamentflate	A _{0,lag1}	[m ²]	48.94
Grunntrykk UK fundament	q _{v,lag1}	[kPa]	464.68

For kvadratisk fundament sett L = B

Dimensjonerende grunntrykk N400 7.2.2 3) (σ_g)

Lasteksentrisiteter

Lasteksentrisitet i bruas lengderetning	e _x	[m]	0.64
Lasteksentrisitet i bruas tverretning	e _y	[m]	0.07
Resulterende lasteksentrisitet	e _{res}	[m]	0.64
Eksentrisitetskontroll			0.36

N400:2023 7.2.2.2

N400:2023 7.2.3 - Sjekkes for bruksgrensetilstand kombinasjon sjeldent forekommende

OK

Drenert beregninger - UK fundament

Partialfaktor

Materialfaktor	γ _M	[-]	1.5
----------------	----------------	-----	-----

Materialfaktor, αφ-analyse EC7

Materialparameter

Friksjonsvinkel	φ	[grader]	37
Friksjonskoeffisient	$\tan\phi$	[-]	0.75
Dimensjonerende friksjonskoeffisient	$\tan\phi_d$	[-]	0.50
Attraksjon	a	[kPa]	5
Tyngdetetthet jord	γ	[kN/m ³]	20
Tyngdetetthet vann	γ _w	[kN/m ³]	10
Effektiv tyngdetetthet	γ'	[kN/m ³]	10.00
Maks bæreevne	σ _{maks}	[kPa]	900

Friksjonsvinkel

Attraksjon

Tyngdetetthet løsmasser

Tyngdetetthet vann

Ruhet

Maks ruhet svakt lag	r _{maks}	[-]	0.9
Resulterende horisontalkraft	F _h	[kN]	1389.56
Ruhet mot bærelag/UK fundament	r _{lag1}	[-]	0.12

N400:2023 7.2.1

OK

Bæreevnefaktorer

UK fundament/Lag 1

[-]	f _w	[-]	0.06
[-]	α	[-]	1.02
[-]	N	[-]	2.63
[-]	ω	[-]	0.10
[-]	N _a	[-]	11.48
[-]	N _y	[-]	11.28

Kontrollerer mot V220

Kontrollerer mot V220

Terrenghelning

[-]	F _{sq}	[-]	1.00
[-]	F _{sa}	[-]	1.00

Bæreevne

UK fundament/Lag 1

Midlere vertikal bæreevne - retning x	σ _v	[kPa]	589.33
Utnyttelse drenert beregning - retning x	[-]	[%]	79 %
Midlere vertikal bæreevne - retning y	σ _v	[kPa]	900.00
Utnyttelse drenert beregning - retning y	[-]	[%]	52 %

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

- Bæreevneberegninger iht. SVV V220

Felter som fylles ut

Beregningsresultater

FundamenttypenRektangulært fundament

Innledning:

Bæreevne etter N400:2023 kap 7.2

x er fundamentets tverretning, y er fundamentets lengderetning

Undrenerte beregninger:

☐ Udrenerte beregninger

Laster

Se figur til høyre for definisjon av aksesystem

Terreng

 $\tan(V/H)$

Fundamentdimension

For kvadratisk fundament sett $L = B$

Lasteksentrisiteter

N400:2023 7.2.2.2

N400:2023 7.2.3 - *Siekkes for bruksgrensetilstand kombinasjon sjeldent forekommende*

OK

Drenert beregninger - UK fundament

Partialfaktor

5 Materialfaktor, $\alpha\omega$ -Analyse EC7

Materialparameter

7 Friksjonsvinkel

5 Attraktion

0 Tyngetetthet løsmasser

0 Tyngdetetthet vann

Ruhet

N400:2023 7.2.1

OK

Bæreevnefaktorer

UK fundament/Lag 1

Kontroller mot V220

Kontroller mot V220

Terrenghelninga

Bæreevne

UK fundament

9] Omtalt som fq i N400 7.2.2.

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Bæreevne - Gitt last

- Bæreevneberegninger iht. SVV V220

Beregning:	Vind trafikk, MinFx
Oppdrag:	Randklev bru
Oppdragsnummer:	1350057292

	Signatur	Dato
Utført:	KIAA	12.12.2023
Kontrollert:	ERPY	12.12.2023

Innledning:
Bæreevne etter N400:2023 kap 7.2 x er fundamentets tverretning, y er fundamentets lengderetning

Felter som fylles ut

Beregningsresultater

Fundamenttyper
Rektangulært fundament

Undrenerte beregninger:

☐ Udrenerte beregninger

Laster

Vertikallast	N_Ed	[kN]	13162.00
Horisontallast - retning X	Fh_X	[kN]	1288.00
Moment om x-akse	M_x,Ed	[kNm]	5116.00
Horisontallast - retning Y	Fh_Y	[kN]	112.00
Moment om y-akse	M_y,Ed	[kNm]	13801.00

Se figur til høyre for definisjon av aksesystem

Terreng

Overlagring	q	[kPa]	27
Helning i forkant av funtament	$\tan(\beta_{helning})$	[-]	0
Helning i forkant av fundament	$\beta_{helning}$	[grader]	0

$\tan(V/H)$

Fundamentdimensjon

Valgt fundamentbredde, retning X	B	[m]	5.30
Valgt fundamntlengde, retning Y	L	[m]	12.30
Effektiv fundamentbredde	$B_{0,lag1}$	[m]	3.20
Effektiv fundamntlengde	$L_{0,lag1}$	[m]	11.52
Effektiv fundamentflate	$A_{0,lag1}$	[m2]	36.91
Grunntrykk UK fundament	$q_{v,lag1}$	[kPa]	356.64

For kvadratisk fundament sett L = B

Dimensjonerende grunntrykk N400 7.2.2 3) (σ_g)

Lasteksentrisiteter

Lasteksentrisitet i bruas lengderetning	e _x	[m]	1.05
Lasteksentrisitet i bruas tverretning	e _y	[m]	0.39
Resulterende lasteksentrisitet	e _{res}	[m]	1.12
Eksentrisitetskontroll			0.60

N400:2023 7.2.2.2

N400:2023 7.2.3 - Sjekkes for bruksgrensetilstand kombinasjon sjeldent forekommende

OK

Drenert beregninger - UK fundament

Partialfaktor

Materialfaktor	γ _M	[-]	1.5
----------------	----------------	-----	-----

Materialfaktor, αφ-analyse EC7

Materialparameter

Friksjonsvinkel	φ	[grader]	37
Friksjonskoeffisient	$\tan\phi$	[-]	0.75
Dimensjonerende friksjonskoeffisient	$\tan\phi_d$	[-]	0.50
Attraksjon	a	[kPa]	5
Tyngdetetthet jord	γ	[kN/m3]	20
Tyngdetetthet vann	γ _w	[kN/m3]	10
Effektiv tyngdetetthet	γ'	[kN/m3]	10.00
Maks bæreevne	σ _{maks}	[kPa]	900

Friksjonsvinkel

Attraksjon

Tyngdetetthet løsmasser

Tyngdetetthet vann

Ruhet

Maks ruhet svakt lag	r _{maks}	[-]	0.9
Resulterende horisontalkraft	F _h	[kN]	1292.86
Ruhet mot bærelag/UK fundament	r _{lag1}	[-]	0.19

N400:2023 7.2.1

OK

Bæreevnefaktorer

UK fundament/Lag 1

[-]	f _w	[-]	0.10
[-]	α	[-]	1.02
[-]	N	[-]	2.63
[-]	ω	[-]	0.16
[-]	N _a	[-]	10.72
[-]	N _y	[-]	10.07

Kontrollerer mot V220

Kontrollerer mot V220

Terrenghelning

[-]	F _{sq}	[-]	1.00
[-]	F _{sa}	[-]	1.00

Bæreevne

UK fundament/Lag 1

Midlere vertikal bæreevne - retning x	σ _v	[kPa]	499.47
Utnyttelse drenert beregning - retning x	[-]	[%]	71 %
Midlere vertikal bæreevne - retning y	σ _v	[kPa]	900.00
Utnyttelse drenert beregning - retning y	[-]	[%]	40 %

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Bæreevne - Gitt last

- Bæreevneberegninger iht. SVV V220

Beregning:	Vind u_Trafikk, minFx
Oppdrag:	Randklev bru
Oppdragsnummer:	1350057292

	Signatur	Dato
Utført:	KIAA	12.12.2023
Kontrollert:	ERPY	12.12.2023

Innledning:

Bæreevne etter N400:2023 kap 7.2

x er fundamentets tverretning, y er fundamentets lengderetning

Felter som fylles ut

Beregningsresultater

Fundamenttyper

Rektangulært fundament

Undrenerte beregninger:

☐ Udrenerte beregninger

Laster

Vertikallast	N_Ed	[kN]	6746.00
Horisontallast - retning X	Fh_X	[kN]	512.00
Moment om x-akse	M_x,Ed	[kNm]	10138.00
Horisontallast - retning Y	Fh_Y	[kN]	555.00
Moment om y-akse	M_y,Ed	[kNm]	4836.00

Se figur til høyre for definisjon av aksesystem

Terreng

Overlagring	q	[kPa]	27
Helning i forkant av funtament	$\tan(\beta_{helning})$	[-]	0
Helning i forkant av fundament	$\beta_{helning}$	[grader]	0

$\tan(V/H)$

Fundamentdimensjon

Valgt fundamentbredde, retning X	B	[m]	5.30
Valgt fundamntlengde, retning Y	L	[m]	12.30
Effektiv fundamentbredde	$B_{0,lag1}$	[m]	3.87
Effektiv fundamntlengde	$L_{0,lag1}$	[m]	9.29
Effektiv fundamentflate	$A_{0,lag1}$	[m2]	35.93
Grunntrykk UK fundament	$q_{v,lag1}$	[kPa]	187.73

For kvadratisk fundament sett $L = B$

Dimensjonerende grunntrykk N400 7.2.2 3) (σ_g)

Lasteksentrisiteter

Lasteksentrisitet i bruas lengderetning	e_x	[m]	0.72
Lasteksentrisitet i bruas tverretning	e_y	[m]	1.50
Resulterende lasteksentrisitet	e_{res}	[m]	1.67
Eksentrisitetskontroll			0.55

N400:2023 7.2.2.2

N400:2023 7.2.3 - Sjekkes for bruksgrensetilstand kombinasjon sjeldent forekommende

OK

Drenert beregninger - UK fundament

Partialfaktor

Materialfaktor	γ_M	[-]	1.5
----------------	------------	-----	-----

Materialfaktor, $\alpha\phi$ -analyse EC7

Materialparameter

Friksjonsvinkel	ϕ	[grader]	37
Friksjonskoeffisient	$\tan\phi$	[-]	0.75
Dimensjonerende friksjonskoeffisient	$\tan\phi_d$	[-]	0.50
Attraksjon	a	[kPa]	5
Tyngdetetthet jord	γ	[kN/m3]	20
Tyngdetetthet vann	γ_w	[kN/m3]	10
Effektiv tyngdetetthet	γ'	[kN/m3]	10.00
Maks bæreevne	σ_{maks}	[kPa]	900

Friksjonsvinkel

Attraksjon

Tyngdetetthet løsmasser

Tyngdetetthet vann

Ruhet

Maks ruhet svakt lag	r_{maks}	[-]	0.9
Resulterende horisontalkraft	Fh	[kN]	755.10
Ruhet mot bærelag/UK fundament	r_{lag1}	[-]	0.22

N400:2023 7.2.1

OK

Bæreevnefaktorer

UK fundament/Lag 1

[-]	f_w	[-]	0.11
[-]	α	[-]	1.02
[-]	N	[-]	2.63
[-]	ω	[-]	0.18
[-]	N_q	[-]	10.47
[-]	N_y	[-]	9.68

Kontrollerer mot V220

Kontrollerer mot V220

Terrenghelning

[-]	F_{sq}	[-]	1.00
[-]	F_{sa}	[-]	1.00

Bæreevne

UK fundament

Midlere vertikal bæreevne - retning x	σ_v	[kPa]	517.15
Utnyttelse drenert beregning - retning x	[-]	[%]	36 %
Midlere vertikal bæreevne - retning y	σ_v	[kPa]	779.81
Utnyttelse drenert beregning - retning y	[-]	[%]	24 %

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Bæreevne - Gitt last

- Bæreevneberegninger iht. SVV V220

Beregning:	Trafikk, maksFz 6.10b+e
Oppdrag:	Randklev bru
Oppdragsnummer:	1350057292

	Signatur	Dato
Utført:	KIAA	12.12.2023
Kontrollert:	ERPY	12.12.2023

Innledning:
Bæreevne etter N400:2023 kap 7.2 x er fundamentets tverretning, y er fundamentets lengderetning

Felter som fylles ut

Beregningsresultater

Fundamenttyper
Rektangulært fundament

Undrenerte beregninger:

☐ Udrenerte beregninger

Laster

Vertikallast	N_Ed	[kN]	22740.00
Horisontallast - retning X	Fh_X	[kN]	1381.00
Moment om x-akse	M_x,Ed	[kNm]	18807.40
Horisontallast - retning Y	Fh_Y	[kN]	154.00
Moment om y-akse	M_y,Ed	[kNm]	14525.00

Se figur til høyre for definisjon av aksesystem

Terreng

Overlagring	q	[kPa]	27
Helning i forkant av funtament	$\tan(\beta_{helning})$	[-]	0
Helning i forkant av fundament	$\beta_{helning}$	[grader]	0

$\tan(V/H)$

Fundamentdimensjon

Valgt fundamentbredde, retning X	B	[m]	5.30
Valgt fundamntlengde, retning Y	L	[m]	10.80
Effektiv fundamentbredde	$B_{0,lag1}$	[m]	4.02
Effektiv fundamntlengde	$L_{0,lag1}$	[m]	9.15
Effektiv fundamentflate	$A_{0,lag1}$	[m2]	36.79
Grunntrykk UK fundament	$q_{v,lag1}$	[kPa]	618.11

For kvadratisk fundament sett L = B

Dimensjonerende grunntrykk N400 7.2.2 3) (σ_g)

Lasteksentrisiteter

Lasteksentrisitet i bruas lengderetning	e _x	[m]	0.64
Lasteksentrisitet i bruas tverretning	e _y	[m]	0.83
Resulterende lasteksentrisitet	e _{res}	[m]	1.04
Eksentrisitetskontroll			0.43

N400:2023 7.2.2.2

N400:2023 7.2.3 - Sjekkes for bruksgrensetilstand kombinasjon sjeldent forekommende

OK

Drenert beregninger - UK fundament

Partialfaktor

Materialfaktor	γ _M	[-]	1.5
----------------	----------------	-----	-----

Materialfaktor, αφ-analyse EC7

Materialparameter

Friksjonsvinkel	φ	[grader]	37
Friksjonskoeffisient	$\tan\phi$	[-]	0.75
Dimensjonerende friksjonskoeffisient	$\tan\phi_d$	[-]	0.50
Attraksjon	a	[kPa]	5
Tyngdetetthet jord	γ	[kN/m3]	20
Tyngdetetthet vann	γ _w	[kN/m3]	10
Effektiv tyngdetetthet	γ'	[kN/m3]	10.00
Maks bæreevne	σ _{maks}	[kPa]	900

Friksjonsvinkel

Attraksjon

Tyngdetetthet løsmasser

Tyngdetetthet vann

Ruhet

Maks ruhet svakt lag	r _{maks}	[-]	0.9
Resulterende horisontalkraft	F _h	[kN]	1389.56
Ruhet mot bærelag/UK fundament	r _{lag1}	[-]	0.12

N400:2023 7.2.1

OK

Bæreevnefaktorer

UK fundament/Lag 1

[-]	f _w	[-]	0.06
[-]	α	[-]	1.02
[-]	N	[-]	2.63
[-]	ω	[-]	0.10
[-]	N _a	[-]	11.48
[-]	N _y	[-]	11.27

Kontroller mot V220

Kontroller mot V220

Terrenghelning

[-]	F _{sq}	[-]	1.00
[-]	F _{sa}	[-]	1.00

Bæreevne

UK fundament

Midlere vertikal bæreevne - retning x	σ _v	[kPa]	589.12
Utnyttelse drenert beregning - retning x	[-]	[%]	105 %
Midlere vertikal bæreevne - retning y	σ _v	[kPa]	877.92
Utnyttelse drenert beregning - retning y	[-]	[%]	70 %

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Ikke tilstrekkelig bæreevne - Fundament må økes

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Bæreevne - Gitt last

- Bæreevneberegninger iht. SVV V220

Beregning:	Trafikk, minFz+e
Oppdrag:	Randklev bru
Oppdragsnummer:	1350057292

	Signatur	Dato
Utført:	KIAA	12.12.2023
Kontrollert:	ERPY	12.12.2023

Innledning:
Bæreevne etter N400:2023 kap 7.2 x er fundamentets tverretning, y er fundamentets lengderetning

Felter som fylles ut

Beregningsresultater

Fundamenttyper
Rektangulært fundament

Undrenerte beregninger:

☐ Udrenerte beregninger

Laster

Vertikallast	N_Ed	[kN]	14766.00
Horisontallast - retning X	Fh_X	[kN]	1381.00
Moment om x-akse	M_x,Ed	[kNm]	12747.16
Horisontallast - retning Y	Fh_Y	[kN]	154.00
Moment om y-akse	M_y,Ed	[kNm]	14525.00

Se figur til høyre for definisjon av aksesystem

Terreng

Overlagring	q	[kPa]	27
Helning i forkant av funtament	$\tan(\beta_{helning})$	[-]	0
Helning i forkant av fundament	$\beta_{helning}$	[grader]	0

$\tan(V/H)$

Fundamentdimensjon

Valgt fundamentbredde, retning X	B	[m]	5.30
Valgt fundamntlengde, retning Y	L	[m]	10.80
Effektiv fundamentbredde	$B_{0,lag1}$	[m]	3.33
Effektiv fundamntlengde	$L_{0,lag1}$	[m]	9.07
Effektiv fundamentflate	$A_{0,lag1}$	[m2]	30.24
Grunntrykk UK fundament	$q_{v,lag1}$	[kPa]	488.32

For kvadratisk fundament sett L = B

Dimensjonerende grunntrykk N400 7.2.2 3) (σ_g)

Lasteksentrisiteter

Lasteksentrisitet i bruas lengderetning	e _x	[m]	0.98
Lasteksentrisitet i bruas tverretning	e _y	[m]	0.86
Resulterende lasteksentrisitet	e _{res}	[m]	1.31
Eksentrisitetskontroll			0.61

N400:2023 7.2.2.2

N400:2023 7.2.3 - Sjekkes for bruksgrensetilstand kombinasjon sjeldent forekommende

OK

Drenert beregninger - UK fundament

Partialfaktor

Materialfaktor	γ _M	[-]	1.5
----------------	----------------	-----	-----

Materialfaktor, αφ-analyse EC7

Materialparameter

Friksjonsvinkel	φ	[grader]	37
Friksjonskoeffisient	$\tan\phi$	[-]	0.75
Dimensjonerende friksjonskoeffisient	$\tan\phi_d$	[-]	0.50
Attraksjon	a	[kPa]	5
Tyngdetetthet jord	γ	[kN/m3]	20
Tyngdetetthet vann	γ _w	[kN/m3]	10
Effektiv tyngdetetthet	γ'	[kN/m3]	10.00
Maks bæreevne	σ _{maks}	[kPa]	900

Friksjonsvinkel

Attraksjon

Tyngdetetthet løsmasser

Tyngdetetthet vann

Ruhet

Maks ruhet svakt lag	r _{maks}	[-]	0.9
Resulterende horisontalkraft	F _h	[kN]	1389.56
Ruhet mot bærelag/UK fundament	r _{lag1}	[-]	0.19

N400:2023 7.2.1

OK

Bæreevnefaktorer

UK fundament/Lag 1

[-]	f _w	[-]	0.09
[-]	α	[-]	1.02
[-]	N	[-]	2.63
[-]	ω	[-]	0.15
[-]	N _a	[-]	10.80
[-]	N _y	[-]	10.19

Kontroller mot V220

Kontroller mot V220

Terrenghelning

[-]	F _{sq}	[-]	1.00
[-]	F _{sa}	[-]	1.00

Bæreevne

UK fundament

Midlere vertikal bæreevne - retning x	σ _v	[kPa]	510.51
Utnyttelse drenert beregning - retning x	[-]	[%]	96 %
Midlere vertikal bæreevne - retning y	σ _v	[kPa]	803.13
Utnyttelse drenert beregning - retning y	[-]	[%]	61 %

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Bæreevne - Gitt last

- Bæreevneberegninger iht. SVV V220

Beregning:	Vind trafikk, MinFx+e
Oppdrag:	Randklev bru
Oppdragsnummer:	1350057292

	Signatur	Dato
Utført:	KIAA	12.12.2023
Kontrollert:	ERPY	12.12.2023

Innledning:
Bæreevne etter N400:2023 kap 7.2 x er fundamentets tverretning, y er fundamentets lengderetning

Felter som fylles ut

Beregningsresultater

Fundamenttyper
Rektangulært fundament

Undrenerte beregninger:

☐ Udrenerte beregninger

Laster			
Vertikallast	N_Ed	[kN]	13162.00
Horisontallast - retning X	Fh_X	[kN]	1288.00
Moment om x-akse	M_x,Ed	[kNm]	15119.12
Horisontallast - retning Y	Fh_Y	[kN]	112.00
Moment om y-akse	M_y,Ed	[kNm]	13801.00

Se figur til høyre for definisjon av aksesystem

Terreng			
Overlagring	q	[kPa]	27
Helning i forkant av funtament	$\tan(\beta_{helning})$	[-]	0
Helning i forkant av fundament	$\beta_{helning}$	[grader]	0

$\tan(V/H)$

Fundamentdimensjon			
Valgt fundamentbredde, retning X	B	[m]	5.30
Valgt fundamntlengde, retning Y	L	[m]	10.80
Effektiv fundamentbredde	$B_{0,lag1}$	[m]	3.20
Effektiv fundamntlengde	$L_{0,lag1}$	[m]	8.50
Effektiv fundamentflate	$A_{0,lag1}$	[m2]	27.23
Grunntrykk UK fundament	$q_{v,lag1}$	[kPa]	483.31

For kvadratisk fundament sett L = B

Dimensjonerende grunntrykk N400 7.2.2 3) (σ_g)

Lasteksentrisiteter			
Lasteksentrisitet i bruas lengderetning	e _x	[m]	1.05
Lasteksentrisitet i bruas tverretning	e _y	[m]	1.15
Resulterende lasteksentrisitet	e _{res}	[m]	1.56
Eksentrisitetskontroll			0.67
			OK

N400:2023 7.2.2.2

N400:2023 7.2.3 - Sjekkes for bruksgrensetilstand kombinasjon sjeldent forekommende

Drenert beregninger - UK fundament

Partialfaktor			
Materialfaktor	γ _M	[-]	1.5

Materialfaktor, αφ-analyse EC7

Materialparameter			
Friksjonsvinkel	φ	[grader]	37
Friksjonskoeffisient	$\tan\phi$	[-]	0.75
Dimensjonerende friksjonskoeffisient	$\tan\phi_d$	[-]	0.50
Attraksjon	a	[kPa]	5
Tyngdetetthet jord	γ	[kN/m3]	20
Tyngdetetthet vann	γ _w	[kN/m3]	10
Effektiv tyngdetetthet	γ'	[kN/m3]	10.00
Maks bæreevne	σ _{maks}	[kPa]	900

Friksjonsvinkel

Attraksjon

Tyngdetetthet løsmasser

Tyngdetetthet vann

Ruhet			
Maks ruhet svakt lag	r _{maks}	[-]	0.9
Resulterende horisontalkraft	F _h	[kN]	1292.86
Ruhet mot bærelag/UK fundament	r _{lag1}	[-]	0.19
			OK

N400:2023 7.2.1

Bæreevnefaktorer			
UK fundament/Lag 1			
[-]	f _w	[-]	0.10
[-]	α	[-]	1.02
[-]	N	[-]	2.63
[-]	ω	[-]	0.16
[-]	N _a	[-]	10.72
[-]	N _y	[-]	10.06

Kontrollerer mot V220

Kontrollerer mot V220

Terrenghelning			
[-]	F _{sq}	[-]	1.00
[-]	F _{sa}	[-]	1.00

Bæreevne			
UK fundament			
Midlere vertikal bæreevne - retning x	σ _v	[kPa]	499.05
Utnyttelse drenert beregning - retning x	[-]	[%]	97 %
Midlere vertikal bæreevne - retning y	σ _v	[kPa]	765.66
Utnyttelse drenert beregning - retning y	[-]	[%]	63 %

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Bæreevne - Gitt last

- Bæreevneberegninger iht. SVV V220

Beregning:	Vind u_Trafikk, minFx+e
Oppdrag:	Randklev bru
Oppdragsnummer:	1350057292

	Signatur	Dato
Utført:	KIAA	12.12.2023
Kontrollert:	ERPY	12.12.2023

Innledning:

Bæreevne etter N400:2023 kap 7.2

x er fundamentets tverretning, y er fundamentets lengderetning

Felter som fylles ut

Beregningsresultater

Fundamenttyper

Rektangulært fundament

Undrenerte beregninger:

☐ Udrenerte beregninger

Laster

Vertikallast	N_Ed	[kN]	6746.00
Horisontallast - retning X	Fh_X	[kN]	512.00
Moment om x-akse	M_x,Ed	[kNm]	15264.96
Horisontallast - retning Y	Fh_Y	[kN]	555.00
Moment om y-akse	M_y,Ed	[kNm]	4836.00

Se figur til høyre for definisjon av aksesystem

Terreng

Overlagring	q	[kPa]	27
Helning i forkant av funtament	$\tan(\beta_{helning})$	[-]	0
Helning i forkant av fundament	$\beta_{helning}$	[grader]	0

$\tan(V/H)$

Fundamentdimensjon

Valgt fundamentbredde, retning X	B	[m]	5.30
Valgt fundamntlengde, retning Y	L	[m]	10.80
Effektiv fundamentbredde	$B_{0,lag1}$	[m]	3.87
Effektiv fundamntlengde	$L_{0,lag1}$	[m]	6.27
Effektiv fundamentflate	$A_{0,lag1}$	[m2]	24.26
Grunntrykk UK fundament	$q_{v,lag1}$	[kPa]	278.09

For kvadratisk fundament sett L = B

Dimensjonerende grunntrykk N400 7.2.2 3) (σ_g)

Lasteksentrisiteter

Lasteksentrisitet i bruas lengderetning	e _x	[m]	0.72
Lasteksentrisitet i bruas tverretning	e _y	[m]	2.26
Resulterende lasteksentrisitet	e _{res}	[m]	2.37
Eksentrisitetskontroll			0.75

N400:2023 7.2.2.2

N400:2023 7.2.3 - Sjekkes for bruksgrensetilstand kombinasjon sjeldent forekommende

OK

Drenert beregninger - UK fundament

Partialfaktor

Materialfaktor	γ _M	[-]	1.5
----------------	----------------	-----	-----

Materialfaktor, αφ-analyse EC7

Materialparameter

Friksjonsvinkel	φ	[grader]	37
Friksjonskoeffisient	$\tan\phi$	[-]	0.75
Dimensjonerende friksjonskoeffisient	$\tan\phi_d$	[-]	0.50
Attraksjon	a	[kPa]	5
Tyngdetetthet jord	γ	[kN/m3]	20
Tyngdetetthet vann	γ _w	[kN/m3]	10
Effektiv tyngdetetthet	γ'	[kN/m3]	10.00
Maks bæreevne	σ _{maks}	[kPa]	900

Friksjonsvinkel

Attraksjon

Tyngdetetthet løsmasser

Tyngdetetthet vann

Ruhet

Maks ruhet svakt lag	r _{maks}	[-]	0.9
Resulterende horisontalkraft	F _h	[kN]	755.10
Ruhet mot bærelag/UK fundament	r _{lag1}	[-]	0.22

N400:2023 7.2.1

OK

Bæreevnefaktorer

UK fundament/Lag 1

[-]	f _w	[-]	0.11
[-]	α	[-]	1.02
[-]	N	[-]	2.63
[-]	ω	[-]	0.18
[-]	N _a	[-]	10.45
[-]	N _y	[-]	9.65

Kontrollerer mot V220

Kontrollerer mot V220

Terrenghelning

[-]	F _{sq}	[-]	1.00
[-]	F _{sa}	[-]	1.00

Bæreevne

UK fundament

Midlere vertikal bæreevne - retning x	σ _v	[kPa]	515.96
Utnyttelse drenert beregning - retning x	[-]	[%]	54 %
Midlere vertikal bæreevne - retning y	σ _v	[kPa]	632.12
Utnyttelse drenert beregning - retning y	[-]	[%]	44 %

Omtalt som fg i N400 7.2.2.

Omtalt som fg i N400 7.2.2.