

Til: Statens vegvesen Region midt
v/ Olaf Rovik
Kopi til:
Dato: 2015-11-25
Rev.nr. / Rev.dato: 0 /
Dokumentnr.: 20130836-05-TN
Prosjekt: Fv. 715 Melan bru
Utarbeidet av : Magne Mehli
Prosjektleder: Magne Mehli
Kontrollert av: Kyrre Emaus

Bakgrunn for godkjenning av peler

Innhold

1	Innledning	2
2	Dimensjonering basert på CPTU	3
3	Kapasitet fra bevegelsesmålinger	4
4	Rammemotstand	4
5	Kapasitet fra PDA-målinger	5
6	Forventet tidseffekt for bæreevnen	6
7	Konklusjon	7
8	Referanser	7

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Statens vegvesen Region midt (SVRM) planlegger ny Melan bru over Stordalselva ved Årnes sentrum i Åfjord kommune. Brua, som er en del av fv. 715, ble tidligere tatt av flom og det ligger i dag en interimsbru på stedet. Norges Geotekniske Institutt (NGI) er engasjert som geoteknisk rådgiver i forbindelse med byggeplan.

Prosjektet er nå under utførelse og pelearbeidene er ferdige. NGI har fulgt opp pelearbeidene i samarbeid med SVRM.

Melan bru blir en slakkarmert platebru med 3 spenn. Total lengde for brua blir ca. 54 meter. Brua bygges med monolittiske forbindelser i alle fire akser, og i hver akse støttes brua opp av to søyler. Søylenes fortsetter som peler ned i grunnen. Det er benyttet 2 stk. stålrør Ø813 mm i alle akser. Pelene var i utgangspunktet planlagt rammet til en gitt dybde og avsluttet i løsmasse. Ved installasjon av de første pelene viste det seg dog at grunnforholdene i dybden var noe mindre fast enn antatt. Pelene er derfor blitt lenger enn opprinnelig planlagt. Tabell 1 viser installert lengde i jord i forhold til prosjektert lengde i jord.

Tabell 1: Rammet lengde og prosjektert lengde i jord. Pelespiss er trukket fra.

Pelenummer	Rammet lengde i jord	Prosjektert lengde i jord
1	26 m	17 m
2	26 m	17 m
3	35 m	26 m
4	31 m	26 m
5	39 m	26 m
6	37 m	26 m
7	22 m	17 m
8	21 m	17 m

Tabell 1 viser relativt stor forskjell mellom beregnet pelelengde og installert pelelengde i jord. Den beregnede pelelengden baserer seg på resultater fra CPTU-sonderinger ved brua og NGI99-metoden presentert i Peleveiledningen 2012, kapittel 4.2.1. CPTU-sonderingene ble kjørt ned til ca. kote -13, og det er under dette nivået rammemotstanden ble lavere enn antatt. Dette var svært uventet da totalsonderingene i området viste mye bruk av spyling, økt rotasjon og generelt høy boremotstand, men det har vist seg at totalsonderingene ble kjørt med for mye økt rotasjon og spyling noe som har gitt feil inntrykk av grunnforholdene i dybden. En dreietrykksondering nært akse 1 viste dog liten økning i sonderingsmotstand under ca. kote -13, men denne ble tillagt mindre vekt pga. usikkerheter rundt utførelse. Sonderingsmotstanden i dreietrykksonderingen er svært høy under kote -13, ca. 35 kN, og det ble antatt at riggen kan ha løftet seg noe og at dette kan ha gitt noe ujevn sonderingshastighet. Etter sondering var alle borstengene bøyd så mye at de måtte kasseres.

Bevegelsesmålinger har gitt tilfredsstillende kapasitet for pelene basert på rammeformelen (Peleveiledningen 2012) og de lengder som er oppgitt i tabell 1. Det ble hentet inn PDA-utstyr for eventuelt å kunne påvise enda høyere bæreevne. PDA-målingene har imidlertid i dette tilfellet generelt gitt mye lavere bæreevne enn bevegelsesmålingene. Det ble derfor, under siste del av pelearbeidene, kjørt ny, dypere CPTU og totalsondering i akse 1. Dette ble gjort for å vurdere hvilken type masser som lå under kote -13. Leirige og siltige materialer med fjærende og dilaterende egenskaper kan typisk gi lavere bæreevne for PDA-målinger enn for bevegelsesmålinger. CPTU-sonderingen som ble kjørt indikerer ren sand uten slike egenskaper. Den nye totalsonderingen ga et helt annet sonderingsforløp enn tidligere sonderinger, mer sammenlignbart med den nevnte dreietrykksonderingen som har vist seg å stemme godt med rammemotstandsforløpet.

I de etterfølgende kapittel blir det gitt enn begrunnelse for hvorfor godkjenningen av pelenes bæreevne er basert på bevegelsesmålinger og ikke PDA-målingene som ble utført. Nøkkeltall fra dimensjoneringen basert på CPTU, samt oppdaterte beregninger med grunnlag fra dypere CPTU-sonderinger blir også gitt.

2 Dimensjonering basert på CPTU

Pelens lengde ble i utgangspunktet beregnet i tråd med NGI99-metoden i Peleveiledningen 2012, kapittel 4.2.1. Metoden baserer seg på målt spissmotstand fra CPTU. Det var CPTU tilgjengelig ned til kote -13 i akse 1 og 4. CPTU i akse 1 ble vurdert som dimensjonerende da denne viste noe lavere spissmotstand enn i akse 4. Grunnforholdene ble vurdert å være minimum like faste i dybden under kote -13 basert på vurderinger av totalsonderingene utført i akse 1 – 4. I ettertid er det utført CPTU-sonderinger ned til kote -23. Pelespiss i akse 1 står på kote -24. Tabell 2 viser dimensjonerende aksiallast, nødvendig lengde for å oppnå dimensjonerende kapasitet og beregnet kapasitet for faktisk lengde av peler.

Tabell 2: Beregnet bæreevne for peler basert på NGI99-metoden

Pelenr.	Dim. Last [kN]	Rammet lengde i jord [m]	Dim. Last + pelevekt [kN]	Nødv. Lengde, CPTU til kt. -13 [m]	Nødv. Lengde, CPTU til kt. -24 [m]	Beregnet bæreevne for faktisk lengde $R_{c,d} / R_{c,cal}$ [kN]
1	5000	26 m	5309	17 m	21 m	5653 / 9017
2	5000	26 m	5309	17 m	21 m	5653 / 9017
3	6400	35 m	6841	26 m	33 m	7163 / 11425
4	6400	31 m	6804	26 m	33 m	6569 / 10478
5	6400	39 m	6841	26 m	33 m	7594 / 12112
6	6400	37 m	6821	26 m	33 m	7234 / 11538
7	5000	22 m	5269	17 m	21 m	5529 / 8819
8	5000	21 m	5259	17 m	21 m	5286 / 8431

Beregnet bæreevne antyder god kapasitet med de oppnådde dybdene.

3 Kapasitet fra bevegelsesmålinger

Det er gjort bevegelsesmålinger av alle pelene for kontroll av oppnådd bæreevne. Resultatene er oppsummert i tabell 3.

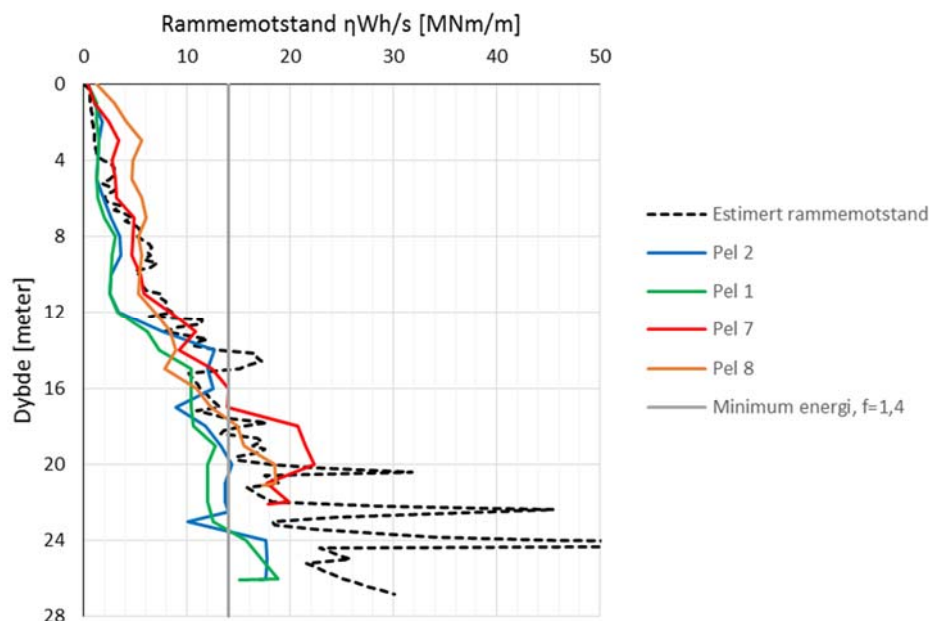
Tabell 3: Resultater fra bevegelsesmålinger

Pelenr.	Dybde [m]	Energi [kJ]	Varig snitt-synk [mm]	Elastisk stukning [mm]	Beregnet bæreevne $R_{c,d} / R_{c,m}$ [kN]
1	26	130,5	8,6	22	5045 / 7630
2	26	130,5	7,0	17	5292 / 8004
3	33	130,5	1,3	22	7013 / 10608
4	34,5	130,5	2,0	21	6901 / 10438
5	39	139,8	0,7	22	7900 / 11948
6	37	139,8	3,7	19	7018 / 10614
7	22	130,5	7,3	17	5460 / 8258
8	21	130,5	7,5	17	5391 / 8155

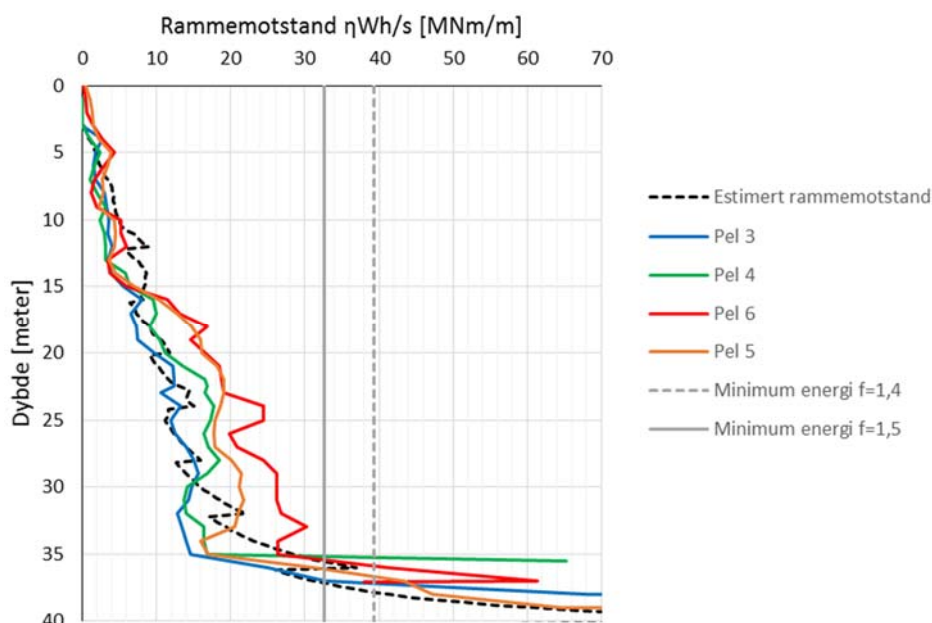
Bevegelsesmålingene viser at alle pelene har god nok kapasitet bortsett fra pel 1, som ligger noe under nødvendig kapasitet når vekten av pel tas med. Økning av bæreevne over tid vil gi god nok bæreevne, se kapittel 6.

4 Rammemotstand

Figur 1 og 2 viser rammemotstand for pelene samt estimert rammemotstand basert på CPTU-resultater.



Figur 1: Rammemotstand akse 1 og 4.



Figur 2: Rammemotstand akse 2 og 3.

Figur 1 og 2 viser at faktisk rammemotstand stemmer godt med rammemotstanden som er mulig å estimere basert på rammeformelen. Pel 1 og 2 havner noe under den estimerte rammemotstanden. Grå linje på figurene viser nødvendig energi for å påvise god nok bæreevne. Denne varierer med loddets fallhøyde.

5 Kapasitet fra PDA-målinger

Det ble utført PDA-måling på pel 2 og 4. Målingene ga en målt bæreevne på henholdsvis 4500 kN (1508 kN på spiss) og 5000 kN (1854 kN på spiss). Dette gir maksimal dimensjonerende bæreevne på ca. 3850 kN for pel 2 og 4270 kN for pel 4 (Disse tallene er avhengig av antall peler som testes). Dette er vesentlig lavere enn bæreevnen basert på CPTU-resultater og bevegelsesmålingene. Det ble kjørt ny PDA-måling på pel 2 ca. 3 dager etterpå. Denne ga ingen særlig økning av bæreevnen. Målingene ble gjort med maksimal tilgjengelig energi. Synk under målingene var 8 mm og 1,5 mm.

For pel 4 var det tydelig at synk under slaget var for liten til å mobilisere tilgjengelig friksjon og spesielt spissbæring for pelen. Maksimal bæreevne på spissen for en Ø813-pel mobiliseres normalt ikke før man har en deformasjon på 36 – 81 mm ved statiske prøvebelastninger. Det kan derfor være tilfellet at også 8 mm deformasjon av pelespissen ble for lite for å mobilisere tilstrekkelig kapasitet med PDA-målingene. Det vil igjen si at pelene er tilført for lite energi for å kunne få et pålitelig PDA-resultat.

I siltige og leirige masser med fjærende, dilaterende egenskaper kan man oppleve at PDA-målinger gir lavere dimensjonerende bæreevne enn bevegelsesmålinger. CTPU-

sonderingene viser at det ikke er slike masser her. Peleriggoperatøren merket heller ingen antydning til slik masse.

For øvrig må man måle en spissmotstand på CPTU-sonden ned mot 5,5 MPa og 7,5 MPa for henholdsvis pel 2 og 4 for å kunne beregne en så lav karakteristisk spissmotstand ($\xi=1,55$) som PDA-målingene viser etter NGI99-mtoden. Ved Melan bru varierer spissmotstanden fra 12 - 20 MPa i dybden. Det er ingen tegn til vesentlig svakere lag under CPTU-sonderingene.

6 Forventet tidseffekt for bæreevnen

Utvikling/økning av bæreevnen over tid for peler i sand tar normalt noe tid og akselererer hurtig før økningen avtar etter ca. 12 måneder. PDA-måling etter noen måneder vil gi et helt annet resultat. Ref. 1 viser en metode for å beregne økning av bæreevne langs skaft for peler i sand basert på belastningsforsøk, se figur 3.

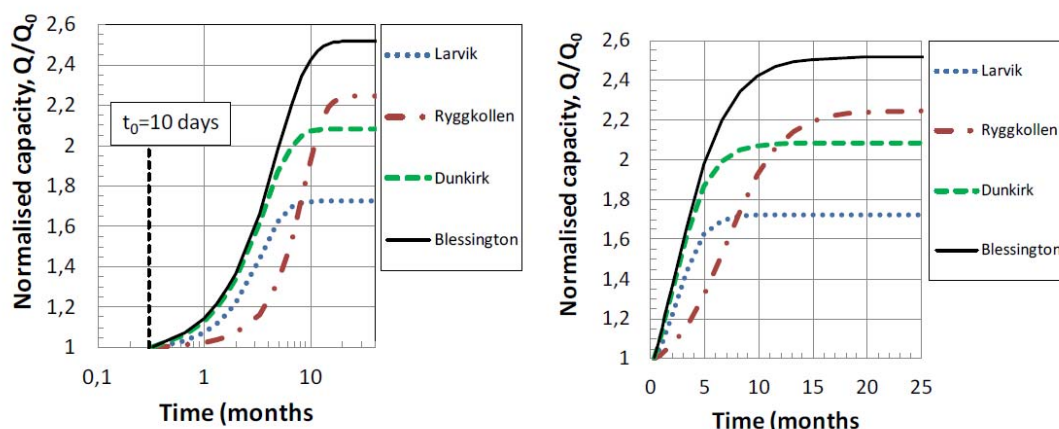


Figure 3 – Comparison between normalized capacities for sand sites, Q/Q_0 , based on tanh-fit to measured data, log(t) time scale left and linear right (for selected reference time of $t_0=10$ days)

Figur 3: Utvikling av bæreevne over tid [1]

Et snitt fra kurvene i figuren gir økning i sidefriksjon etter 6 måneder på ca. 1,8. Brua skal være ferdig om ca. 6 måneder. Tidseffekten må reduseres med en faktor på 0,8 på grunn av vedvarende belastning.

Dette gir en dimensjonerende bæreevne $(R_{s,m} + R_{b,m})/(\xi \cdot 0,85 \cdot \gamma_t) = (3000 \cdot 1,8 \cdot 0,8 + 1508) / (1,25 \cdot 0,85 \cdot 1,1) = 4987 \text{ kN}$. Da er det ikke regnet inn noen tidseffekt for spissmotstanden. Dette gir omtrent nok bæreevne for pel 2 etter 6 måneder. Det bemerkes at spissmotstanden er urealistisk lav i forhold til det grunnundersøkelsene viser. Dimensjonerende bæreevne basert på CPTU-metoden (korrigert for noe lavere resultat fra bevegelingsmåling) etter 6 måneder vil være ca. 6600 kN for pel 1 og 2. Det er denne kapasiteten som er mest sannsynlig.

7 Konklusjon

Basert på tilgjengelig informasjon fra grunnundersøkelser, rammedata og bevegelsesmålinger konkluderes det med at NGI99-metoden gir et godt estimat av oppnådd bæreevne for pelene satt i forbindelse med bygging av Melan bru. Bevegelsesmålingene og rammedata korrelerer godt med beregningene, men gir noe lavere verdier spesielt for akse 1 og 3.

PDA-målingene gir betydelig lavere kapasitet for pel 2 og 4. Spissmotstanden som målingene gir, anses ikke som reell basert på tilgjengelig informasjon om grunnforholdene. Dette kan skyldes for lite tilført energi og dermed for liten synk under målingene.

Av ovenfor nevnte grunner er det valgt å godkjenne pelene basert på bevegelsesmåling.

8 Referanser

- [1] Karlsrud, K., Jensen, T.G., Wensaas Lied, E.K., Nowacki, F. & Simonsen, A.S. 2014. Significant ageing effects for axially loaded piles in sand and clay verified by new load tests. *Proceesings of the Offshore Technology Conference*, Houston, May 2014, Paper No. OTC-25197-MS

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Fv. 715 Melan bru – Bakgrunn for godkjenning av peler		Dokumentnr./Document No. 20130836-05-TN
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical note	Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited	Dato/Date 2015-11-25
		Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 0 /
Oppdragsgiver/Client Statens vegvesen Region midt		
Emneord/Keywords Rammede stålrørspeler		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge, Sør-Trøndelag	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Åfjord	Feltnavn/Field name
Sted/Location Melan	Sted/Location
Kartblad/Map Åfjord 1622 IV	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: 32 Øst: 560121 Nord: 7093103	

Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	2015-11-23 Magne Mehli	2015-11-25 Kyrre Emaus		

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 25. november 2015	Prosjektleder/Project Manager Magne Mehli
--	---------------------------------------	---

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentsiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

