

Lufthavn:

Ny lufthavn Bodø

Prosjektittel:

Forprosjekt NLBO

Tittel:

Gangbro for innflygingslys



FE06	30.10.20	For implementering	FJ	OLHAA	SAK
FB05	30.09.20	For kommentar	FJ / VR	OLHAA	SAK
FA04	17.09.20	Tverrfaglig kontroll	FJ / VR	OLHAA	SAK
FB03	06.03.20	For kommentar	FJ / VR	OLHAA	SAK
FA02	28.02.20	Tverrfaglig kontroll	FJ / VR	OLHAA	SAK
FA01	21.02.20	Intern revisjon	FJ / VR	OLHAA	SAK
Revisjon	Dato	Tekst	Laget	Kontrollert	Godkjent
Logo:			Etg.	System	Antall sider:
			000	729	Side 1 av 28
Prosjektnr.	Kontraktsnr.	Lufthavn/invnr.	Fag:	Dokumenttype:	Løpenummer:
10001444	187075	BO000	B2	NO	0112
					Revisjon:
					FE06

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	3
2	Innledning.....	4
3	Stedskarakteristikk	5
4	Vurdering av alternative løsninger.....	6
5	Grunnforhold og terreng	7
	5.1 Sjøbunnen i vest.....	7
	5.2 Sjøbunnen i øst	8
	5.3 Berggrunn.....	10
6	Fundament for innflygningslys	12
7	Tilgjengelighet og sikkerhet.....	13
	7.1 Innledning	13
	7.2 Personell	13
	7.3 Kjøretøyer	13
	7.4 Redningsbåt.....	13
	7.5 Redningsutstyr	13
	7.6 Fugler	14
8	Laster	15
	8.1 Ytre laster på peler og overbygning.....	15
	8.2 Temperaturbevegelser	15
	8.3 Jordskjelv	15
9	Bærende konstruksjoner.....	17
	9.1 Pelefundamentering	17
	9.2 Brooverbygning.....	19
10	Materialer og korrusjonsbeskyttelse	21
	10.1 Betongkonstruksjoner	21
	10.2 Stålkonstruksjoner	21
11	Bevegelser.....	22
	11.1 Deformasjoner	22
	11.2 Svingninger	22
12	Temaer til detaljprosjektering	23
13	Eksempler fra andre lufthavner.....	24
	13.1 Hong Kong International airport.....	24
	13.2 Tokyo airport	24
	13.3 Kristiansand Lufthavn, Kjevik	25
	13.4 Trondheim Lufthavn, Værnes	25
	13.5 Bali flyplass	26
	13.6 Eksempler fra havneanlegg	26
14	Referanser	28

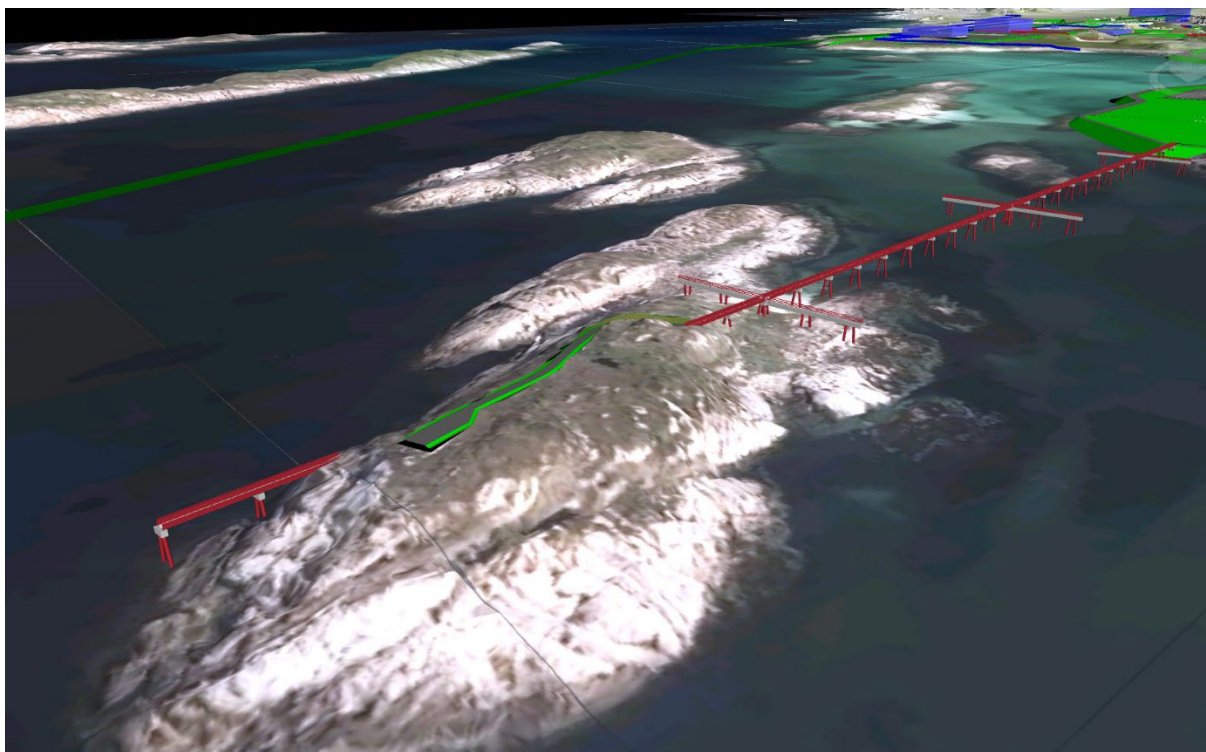
1 SAMMENDRAG

Systemet for innflygingslys strekker seg ut i sjøen fra begge ender av rullebanen. Det har i innledende fase av forprosjektet for Ny lufthavn Bodø (NLBO) vært vurdert 3 alternative tekniske løsninger for fundamentering av innflygningslysene:

1. Molo / utfylling i sjøen
2. Frittstående pilarpunkter (grupper á 3 peler) i sjøen for hver lysgruppe (for hver 30 meter)
3. Brokonstruksjon på pilarpunkter (pelegrupper) i sjøen hver 15. meter

Med uakseptabel risiko for personell ifm. frittstående pilarpunkter, og utilstrekkelig bæreevne i sjøbunnen for molo i øst, vurderes brokonstruksjoner som aktuell løsning. Det er anbefalt følgende konstruktive løsning:

- Broen fundamenteres på peler. På peletoppene bygges tverrbjelker / pelehoder av betong.
- I lengderetningen ut over sjøen bygges gangbro av stål med dekke av gitterrist. Den vil gi service atkomst for små kjøretøyer som ATV o.l.
- Noen tverrbjelker etableres for å bære større tverrgående lysgrupper. Disse utføres i betong, da dette vil være en rimeligere løsning og gjøre det enklere å feste utstyr. I tillegg er det ikke behov for å kjøre ATV på tverrkonstruksjonene.



Figur 1: Anlegg for innflygingslys mot vest

2 INNLEDNING

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av prosjektet Ny lufthavn Bodø (NLBO) på oppdrag for Avinor AS.

I tilknytning til rullebanen skal det i hver ende etableres innflygningslys både langs senterlinjene og på tvers av disse. Hoveddelen av lysrekkene må etableres i sjøen. Dette notatet omhandler vurderinger av alternative løsninger med hovedvekt på anbefalt løsning – brokonstruksjoner. Her inngår broarrangement med tilrettelegging for trygg tilkomst, tekniske fremføringer og drift, samt betongfundamenter som egner seg for innfesting av lette master og bommer for lysarrangementet.

Notatet omfatter ikke:

- Selve lysanlegget
- Utomhus anlegg inne på land
- Terrengarbeider rundt landkar, vegfyllinger
- Tekniske anlegg til lys, tining, signal m.v.
- Kabelskinner, trekkerør, utsparinger, skap og andre tilpasninger på detaljnivå til nevnte tekniske anlegg
- Riggene (bestående av master, bommer etc.) for selve landingslysene
- Ising, vibrasjoner etc. i nevnte lysrigg
- Lynavledning og jording
- Jordskjelvdimensjonering og utmatting (kun innledende vurderinger)
- Eventuelle tiltak knyttet til områdestabilitet

Posisjonsangivelser:

- Høydeangivelser i notatet er oppgitt med referanse til NN2000 hvis ikke annet er anmerket.

3 STEDSKARAKTERISTIKK

Innflygningslysanlegget bygges i forlengelsen av rullebanen, og ut over sjøen på vest- og østsiden av banesystemet.

Saltenfjorden er værhard, og det må tas spesielle hensyn i planleggingen av både tekniske anlegg og bærende konstruksjoner for å oppnå akseptabel driftssikkerhet og teknisk levetid.

Det er det gjort innledende vurderinger av fundamenteringsforhold samt naturlaster fra vind, snø, ising, stormflo og bølgeslag. Disse må oppdateres og kompletteres i detaljfasen.



Figur 2: Prinsippskisse av brokonstruksjon for innflygningslys

4 VURDERING AV ALTERNATIVE LØSNINGER

Det har i innledende fase vært vurdert 3 alternative løsninger for fundamentering av innflygningslys over sjøen:

1. Molo / utfylling i sjøen
2. Frittstående pilarpunkter (grupper á 3 peler) i sjøen for hver lysgruppe (for hver 30 meter)
3. Brokonstruksjon på pilarpunkter (pelegrupper) i sjøen hver 15. meter

Alle alternativene har sine positive og negative sider:

1. Molo/utfylling i sjø

- +++ Ingen bevegelse fra vind og bølgeslag. Lite vedlikehold, forutsatt riktig dimensjonering og utlegging. Følt trygghet. Lang levetid.
- - - Høy kostnad pga. stort vanddyp og krav til stor blokkstørrelse i plastring i det eksponerte farvannet. Vanskelig tilgang på materialer. Lang byggetid. Ikke mulig å anvende mot øst pga. utilstrekkelig stabilitet i sjøbunnen nært marbakken.

2. Frittstående pilarpunkter

- +++ Lav kostnad. Kort byggetid. God stabilitet mot vibrasjoner. Lang levetid. Lite vedlikehold på bærende deler.
- - - Montasje, drift og vedlikehold av lysanlegget må skje fra fartøyer. Sjøoperasjonene er vurdert til å gi risiko for personell og følgelig dårlig driftssikkerhet på anlegget. Tekniske fremføringer må gå i sjøkabler eller luftspenn. Slike anlegg har vært bygd i Norge, men de er erfaringsmessig lite velfungerende.

3. Brokonstruksjon på pilarpunkter

- +++ Midlere kostnad og byggetid. Midlere levetid på bro-overbygningen, lang levetid på pelefundament. Velegnet og fleksibel for montasje av lysanlegg. Enkel å tilpasse til brukeres krav og ønsker. Sikker serviceadkomst til hele anlegget. Trygge og enkle lystekniske fremføringer. Se Figur 2.
- - - Broen påvirkes av vind, bølgeslag og ising. Noe vedlikehold og begrenset levetid på bro-overbygningen av stål, tilsvarende en vanlig vegbro av stål. Denne forventes likevel å tåle naturkreftene og tidens tann bedre enn master og bommer tilhørende lysriggen.

Enkel sammenstilling:

1. Høy kostnad og fare for utrasing i øst gjør mololøsning lite anvendelig
2. Utrygg serviceadkomst og følgelig redusert pålitelighet av lysanlegget gjør frittstående pilarpunkter til en sikkerhetsrisiko i den værharde Saltenfjorden
3. Brokonstruksjoner krever i seg selv en viss innsats av ettersyn. Men det vurderes at foreslått løsning har god anvendelighet og personellsikkerhet. Dette har blitt godt mottatt av de ansvarlige for driften av nåværende innflygningslysanlegg.

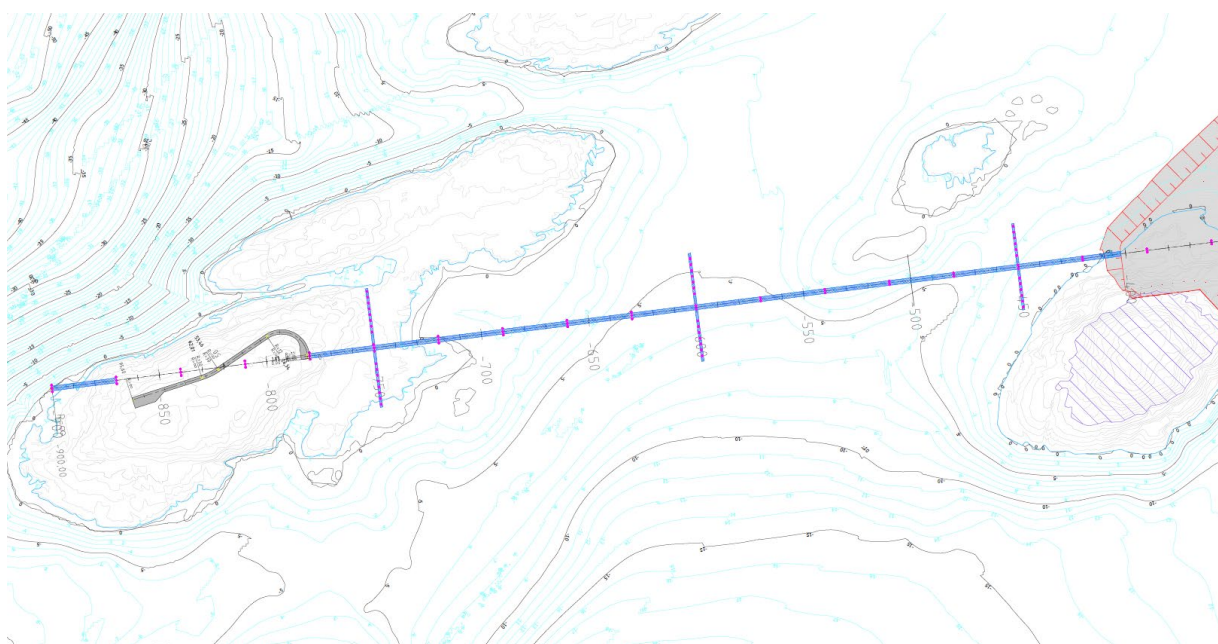
En bro ut i sjøen vil være utsatt for korrosjon, slitasje og bevegelser. Det er søkt konstruktive løsninger som gjør at anlegget likevel oppleves som trygt og gir Avinor et oversiktlig omfang av drift og vedlikehold.

5 GRUNNFORHOLD OG TERRENG

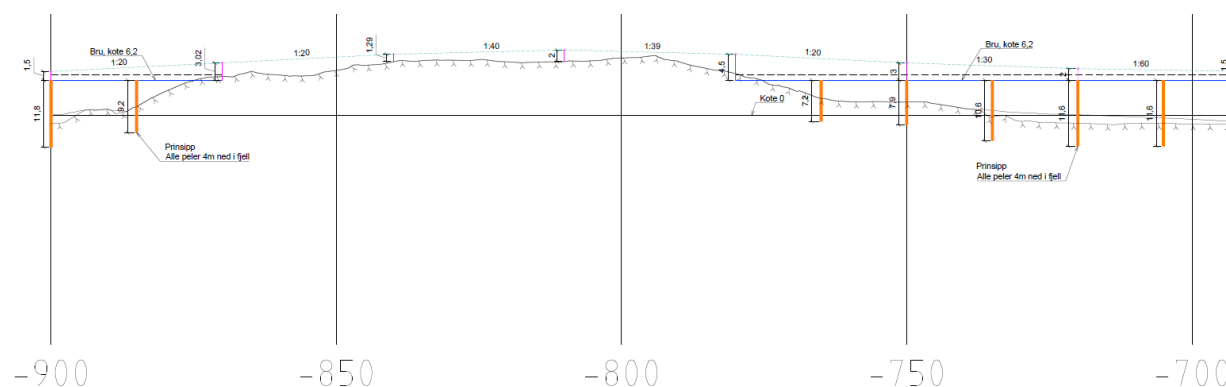
5.1 Sjøbunnen i vest

Sjøarealet i vest består av en rekke mindre holmer med sjøbunn varierende ned til kote -8 innenfor området som er berørt av innflygingslysene. Sjøbunnen er flat eller heller slakt mot sør med helling 1:30 under broen og har her største dybde på ca. kote -7.

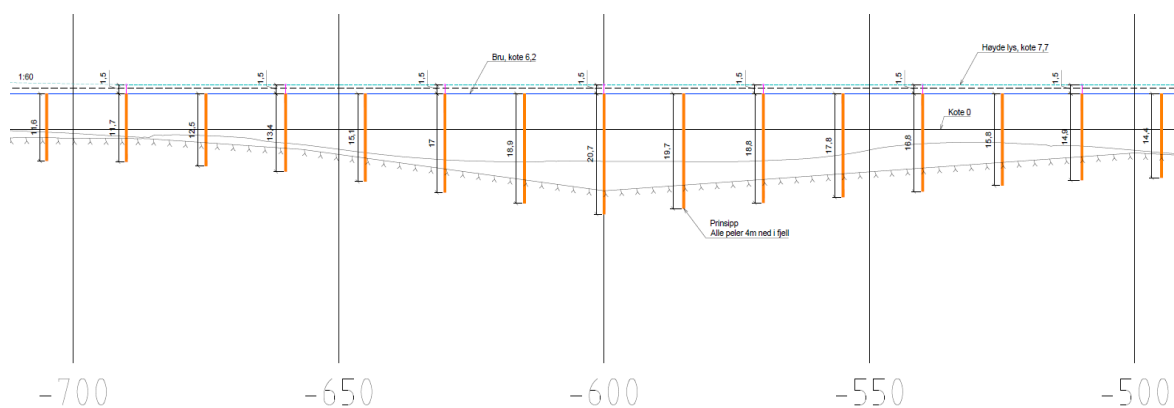
Løsmassene består av et øvre lag med løst lagrede antatt sandige og siltige masser. De har en registrert mektighet inntil 4 meter i de sentrale og flate områdene, og 2 meters mektighet langs sørlig kant. Under de øvre løst lagrede massene er det registrert svært fast morene over berg. Utførte totalsonderinger tyder på at berget har liten bormotstand. Det er stedvis vanskelig å avgjøre overgangen mellom morene og berg ved tolking av sonderingene og seismikken. I nord er det registret et øvre lag av fast lagret sand over morenemasser. Her er det ikke registret løst lagrede eller bløte masser.



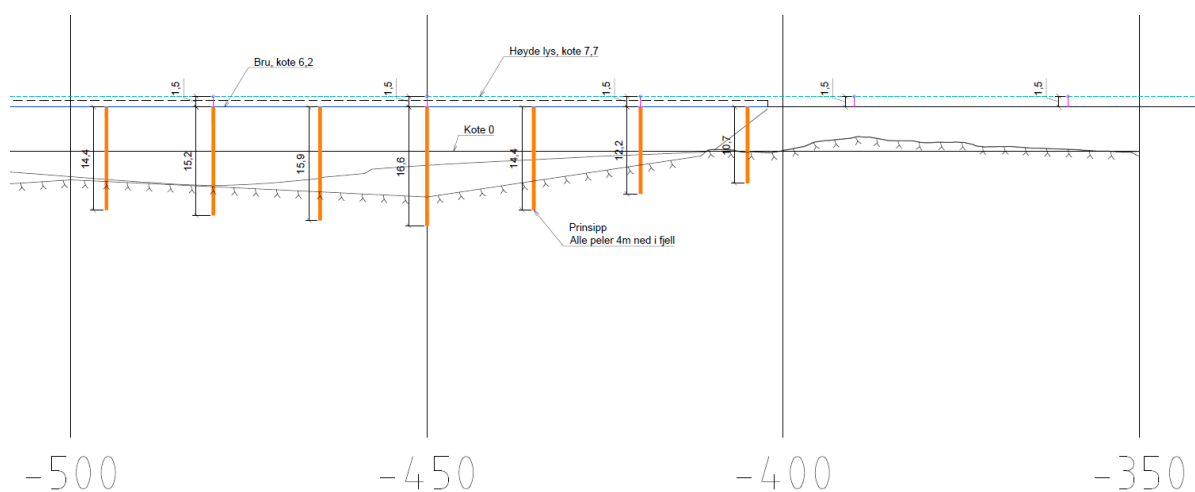
Figur 3: Oversiktsplan over innflygingslysene i vest



Figur 4: Utsnitt av lengdeprofil i vest, profil -900 til -700



Figur 5: Utsnitt av lengdeprofil i vest, profil -700 til -500



Figur 6: Utsnitt av lengdeprofil i vest, profil -500 til -350

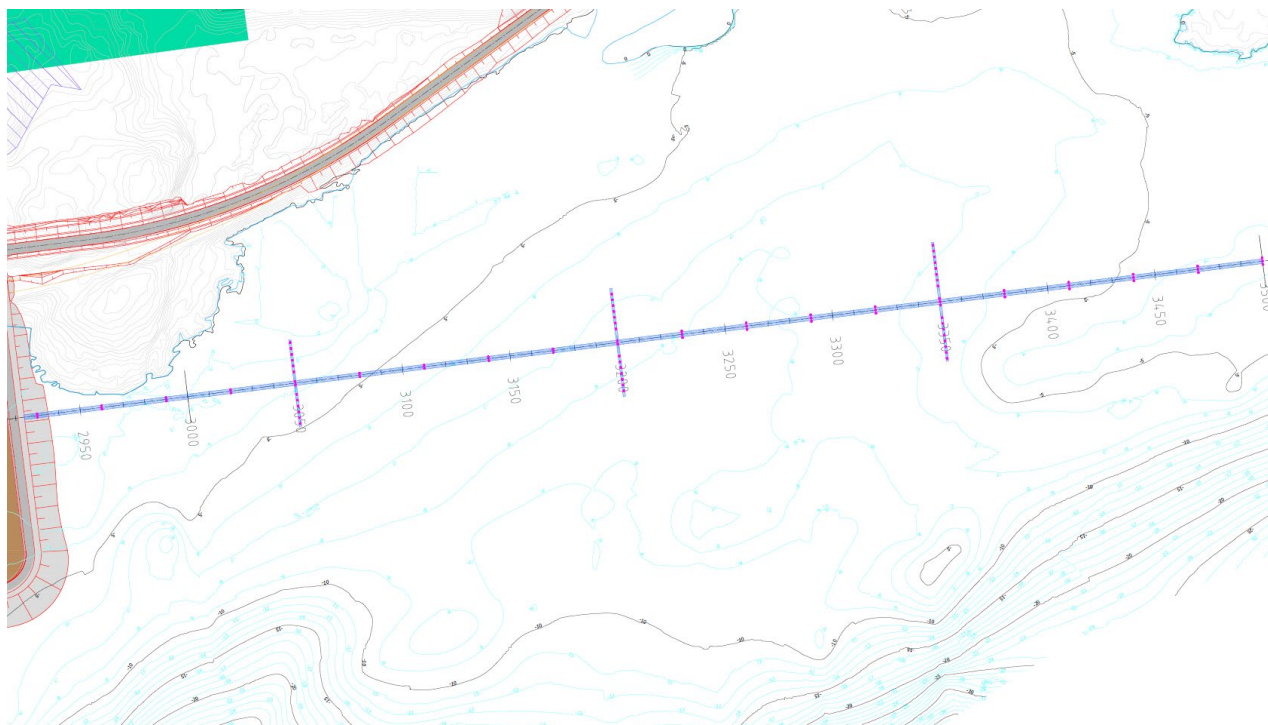
5.2 Sjøbunnen i øst

Terrenget i øst består generelt av et relativt flatt areal der berget stedvis stikker opp. Der det er som dypest ved de planlagte lysene, påtreffes sjøbunn ved ca. kote -9. Mot sør starter marbakken ca. 50 meter fra de pelene som står nærmest kanten. Marbakken faller bratt med en helning på ca. 1:3 ned til ca. 200 meters dybde, der sjøbunnen flater ut. Marbakken består for det meste av berg i dagen, med unntak av et søkk der det er registrert løsmasser av betydning. Det er også registrert en del løsmasser over berg i det flate området bak toppen av skråningen.

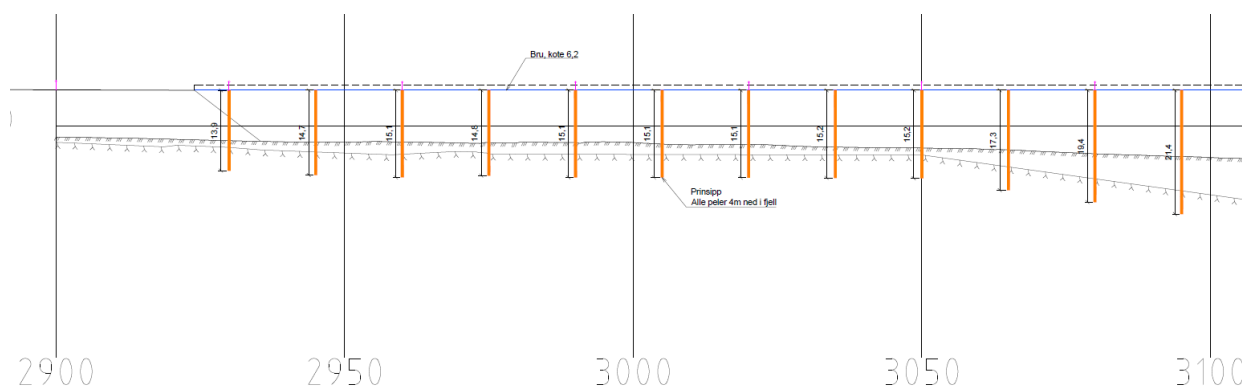
Utførte sonderinger tilsier at grunnforholdene i sjøen domineres av en lagdelt grunn bestående av sand og leire. Grunnen består generelt av sand som dekker en normal-konsolidert bløt leire av varierende mektighet. De utførte totalsonderingene viser at løsmassemektigheten varierer mellom 0 og 18,5 meter. Sandens mektighet over leiren varierer fra ubetydelig til oppimot 12 meters mektighet. Størst registrert leirmektighet er ca. 7 meter i søkket, lokalisert ca. 60 meter sør for landingslysene.

Sør for planlagt bro kan leiren generelt klassifiseres som mulig sprøbruddsmateriale, med en udrenert aktiv skjærfasthet tilsvarende en normalkonsolidert leire. Utførte totalsonderinger tyder på at berget har liten bormotstand, og det er stedvis vanskelig å avgjøre overgangen mellom morene og berg ved tolking av sonderingene og seismikken. Enkelte av pelene kommer direkte på berg da det ikke er forventet noen løsmassemektighet.

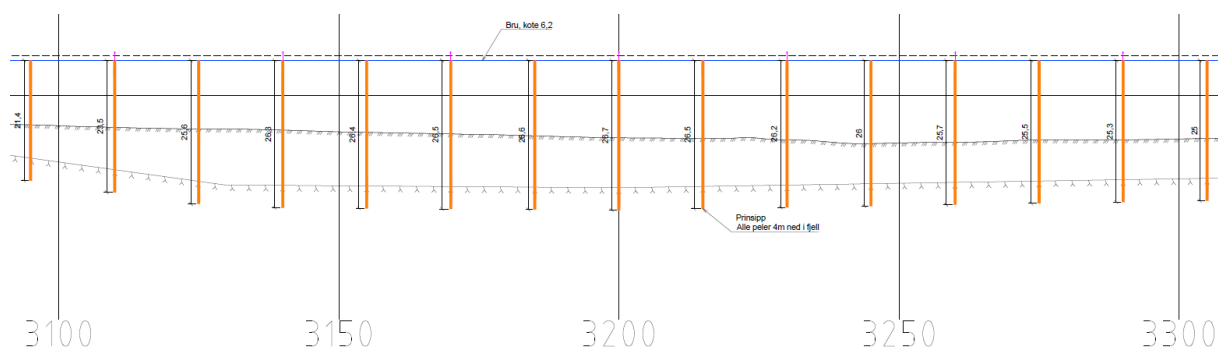
Områdestabiliteten i øst er omtalt i eget notat, 10001444-187075-BO000-G1-NO-0111. Utstrekningen av faresonen er basert på avstand fra marbakken. Broa er vurdert å delvis ligge innenfor denne faresone, dette gjelder mellom ca. profil 3070 – 3170. For å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot kvikkleireskred er det i forprosjektfasen vurdert at det er behov å hindre at faresonen vil påvirke lysene. Dette er lagt til grunn en løsning med å mudre bort leiren i en renne og fylle tilbake med sprengstein. Løsningen er beskrevet nærmere i 10001444-187075-BO000-G1-NO-0111 Områdestabilitet i sjø – østre del.



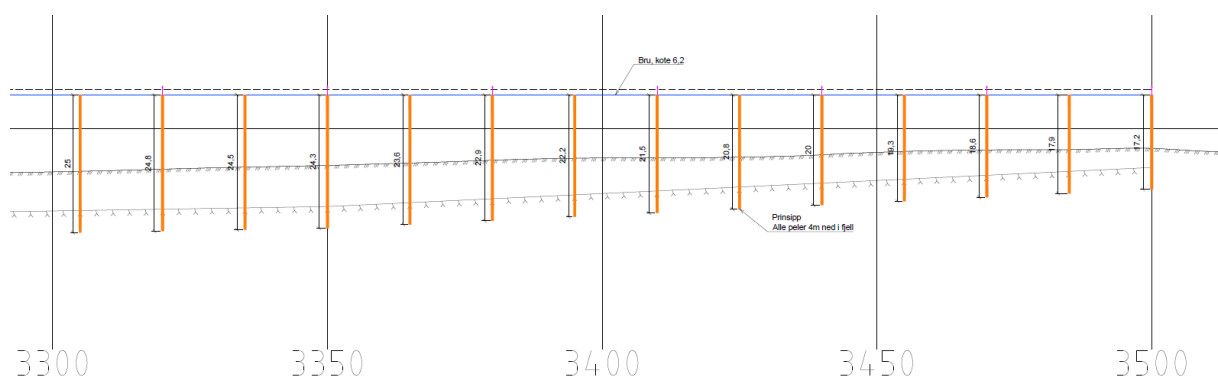
Figur 7: Oversiktsplan over innflygningslysene i øst



Figur 8: Utsnitt av lengdeprofil i øst, profil 2900 – 3100



Figur 9: Utsnitt av lengdeprofil i øst, profil 3100 – 3300



Figur 10: Utsnitt av lengdeprofil i øst, profil 3300 – 3500

5.3 Berggrunn

Basert på berggrunnskart fra NGU forventes berggrunnen for det meste å bestå av kalkglimmerskifer og glimmergneis.

Refraksjonsseismikken langs de planlagte lysmastene indikerer at den opprinnelige berggrunnen er av relativt god kvalitet, men at det forekommer soner med dårligere kvalitet (svakhetssoner).

Generelt har de målte p-bølgene en hastighet over 5 000 m/s i berggrunnen, hvilket indikerer berg av god kvalitet ifølge Palmstrøm (1995). Det forekommer dog flere soner med hastighet under 5 000 m/s, men alle kartlagte soner har en p-bølgehastighet over 3 000 m/s. Dette betyr at sonene sannsynligvis består av oppsprukket berg og at det ikke er forventet større soner bestående av omdannet berg. De oppsprukne sonene kan ha en kjerne bestående av dårligere bergkvalitet (omdannet berg), men denne er vurdert å ikke være av større mektighet i dette tilfellet.

Tabell 1: Utklipp fra Palmstrøm (1995), klassifisering av bergkvalitet basert på p-bølgehastighet

In-situ velocity m/s	Probable ground conditions	Possible rock support
< 3000	Cavities in the bedrock filled with soil, or completely crushed and fragmented rock material in weakness zones.	Extensive rock support.
< 4000	Ground related to faults, contact zones etc. with highly fractured rock.	High amount of rock support.
4000-4400	Strongly - moderately jointed rock masses.	Moderate to high amount of rock support.
4500-5000	Slightly - moderately jointed rock masses.	Small to moderate amount of rock support.
> 5000	Massive rock masses.	Generally little need for rock support.

Lysmastene i øst er planlagt langs et regionalt lineament (linjer av svakere bergstrukturer) med strøk vest-øst. Ved driving av Bodøtunnelen ble tilsvarende lineamenter kartlagt relativt godt. Generelt består disse soner av oppsprukket berg (ikke omdannet) med en kjerne av løsmasser med en mektighet < 0,3 meter (se figur under for eksempel av hvordan sonen så ut ved kryssing).

Konservativt kan det legges til grunn følgende enaksiale trykkfasthet for berggrunnen basert på p-bølgehastighet i bæreevne beregningene. De oppgitte intervallene er basert på kartlagt enaksial trykkfasthet ved driving av Bodøtunnelen i og rundt tilsvarende svakhetssoner som er forventet her.

Tabell 2: Vurdert enaksial trykkfasthet for berget basert på refraksjonsseismikk og punktlasttest fra Bodøtunnelen

P-bølgehastighet [m/s]	UCS [MPa]
>5 000	70 – 100
>4 000	25 – 50
<4 000	5 – 20



Figur 11: Bilde fra tunneldriving igjennom et tilsvarende (vest – øst) lineament

6 FUNDAMENT FOR INNFLYGNINGSLYS

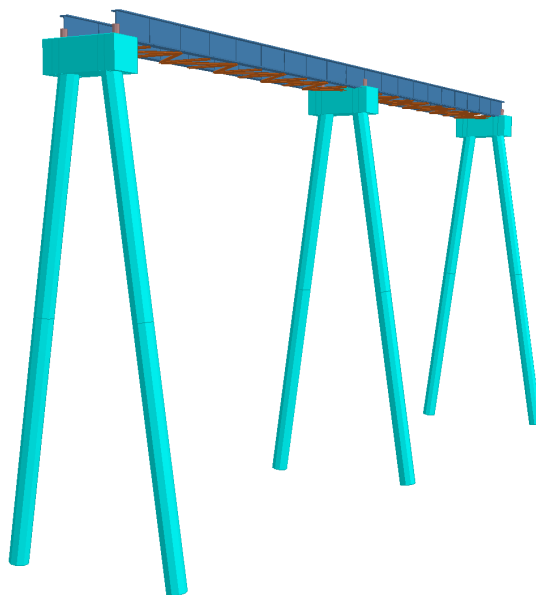
Lysanlegget vil strekke seg ut i sjøen i begge ender av rullebanen. I vest ut til de ytterste skjærene på Skagodden, og i øst skrått ut fra land mot marbakken i Saltenfjorden.

Bæresystemet for lysanlegget består i hovedsak av betongfundamenter som bygges hver 15. meter langs lengdeaksen. Annet hvert fundament (for hver 30 meter) korresponderer med en gruppe lyspunkter. For hver 150 meter kommer tverrgående lysgrupper av større lengde, fra ca. 37 til 53 meter. Her forlenges fundamentene slik at de dekker lysgruppene sine fulle lengde. Se Figur 3 og Figur 7 i kapittel 5. Lysgruppene er vist i rødt.

Fundamentene bygges som pelehoder med et betongtverrsnitt på B x H ca. 1,2 x 1,2 meter og en typisk lengde på ca. 2,4 meter der det ikke bygges ut for lange lysgrupper. Typiske pelehoder står på par av pilarer som igjen står innsenket i sjøbunn / fjell, se Figur 12 og Figur 13. De lange pelehodene (for hver 150 meter) bygges som tverrgående betongbroer på større pele-grupper.

Betongdimensjonene vil gi tilstrekkelig store og rene flater for innfesting av lysrammene. Master, søyler etc. monteres med forankringsbolter inn i pelehodene. Her benyttes limankre eller innstøpte bolter i vibrasjonssikre og korrosjonsbestandige utførelser.

Løsningene er tilrettelagt for tilpasninger og fremføringer av kabelanlegg til innflygingslysene.



Figur 12: Gangbro, utsnitt med 3 fundamenter og 2 x 15 m brosegmenter

7 TILGJENGELIGHET OG SIKKERHET

7.1 Innledning

Anlegget strekker seg utover værharde sjø-arealer. Bærekonstruksjonen for innflygingslysene bygges derfor som en gangbro, slik at anlegget kan driftes uten bruk av båt. Men selv med en slik adkomst vil en måtte forholde seg til perioder med ekstrem vind, sjøsprøyt, ising og tildels snø.

7.2 Personell

Langsgående brooverbygning etableres med gangbane av gitterrist. Denne vil slippe gjennom noe sjøsprøyt, men vil til gjengjeld ikke kreve snømåking. Gangbanen ligger i underkant av bærebjelkene, se Figur 14 i kapittel 9. Høye stålbjelker vil således danne en tett skjerm i ca. 80 cm høyde. Håndlist etableres i 1 meters høyde over gangbanen.

De nevnte tverrgående armene av betong (for hver 150 meter) vil utgjøre gangbaner med fri bredde 1,2 meter. Betongoverflaten bygges med tverrfall og kostet overflate. Det må likevel påregnes perioder med glatt overflate vinterstid. Tverrarmene sikres med industrirekkverk bestående av håndløper, knelist og sparkelist. Dette skjermer ikke mot vær og vind, men gir til gjengjeld minst opphopning av snø og is.

Ut fra lokal erfaring må man regne med at broene kan bli utsatt for ising i kortere perioder med mye kulde og vind. Brobanen ligger ca. 6 meter over middelvannstand. Den vurderes å ligge så høyt at personelltrafikk hindres av vær og vind før bølgetopper begynner å utgjøre en trussel.

7.3 Kjøretøyer

Lysanleggets utstrekning gjør det fornuftig å tilrettelegge for bruk av lette kjøretøyer i driften av lysanlegget. Hele den langsgående broen bygges derfor med bæreevne for lette kjøretøyer av type ATV o.l. Fri kjørebredde på 1,60 meter gir ca. 20 cm klaring på hver side av en typisk ATV. Dette er vurdert som tilstrekkelig ved forsiktig kjøring.

I vestenden anlegges en snuplass på skjæret mellom Lyngholmen og Kvannøya. På østenden må stålbroen utvides til snuplass. Hvis det kjøres med tilhenger, antas det at denne i praksis kobles fra og snues for hånd.

7.4 Redningsbåt

Under de forhold hvor det er aktuelt å operere med mindre fartøyer på sjøen, vil det stort sett være mulig å passere under broen med redningsbåt og lett servicebåt. Relevant båttype i dette farvannet, kloss ved land og mellom skjær, antas å være RIB med utenbordsmotor eller vannjet.

7.5 Redningsutstyr

Kalkylen inkluderer redningsstasjoner langs broene ca. hver 60. meter, dvs. ved annen hver lysgruppe i anlegget. Hver stasjon har livbøye og leder. Livbøye med brakett, line etc. monteres på rekkverket. Redningslederen starter ved brodekket og føres ned langs en pel til 1 meter under lavvann, på le side av fremtredende bølgeretning. Stasjonene markeres med signalfarge på brobjelke og pel.

På faste kaier anbefales en maksimal avstand på 30 meter mellom ledere. Siden broene har kontinuerlige rekkverk, og adkomst er strengt begrenset til fagpersonell, vurderes 60 meter som et fornuftig utgangspunkt. Fall i sjø vurderes som en risiko stort sett bare ifm. arbeider oppe i lysstativer. Rekkevidde for kasteline og svømmer i opprørt sjø kan neppe antas mer enn 30 meter fra nærmeste stasjon.

Håndløperne til rekkverkene må ha dimensjon og styrke som egner seg til å forankre fallsikringsutstyr.

7.6 Fugler

En trygg broatkomst for driftspersonell vil også kunne oppleves som en trygg reirplass for fugler. Som utviklingsplass blir høye punkter foretrukket, dvs. lysbommene og lampene, som uansett skal etableres i gitte posisjoner.

Den beste måten å begrense problemet på er at broene er i regelmessig bruk. Hvis det er uro flere ganger pr. uke, antas det at reirbyggerne skyr unna. Således kan broene tenkes å gi lavere fugleaktivitet enn utilgjengelige innflygningslys på frittstående pæler ute i sjøen.

Fuglene kan likevel finne at utstikk av pelehoder utenfor stålbjelkene har usjenert beliggenhet, se Figur 14 i kapittel 9. Hvis det viser seg å bli et problem, kan man avhjelpe med glatte beslag som skrår fra betongkanten opp til bjelkens underflens.

Ellers er utsiden av stålbjelkene glatt og værutsatt. Det vil være overraskende om det etablerer seg fuglekolonier her. Det er i tilfelle mulig å hindre innflygingen til fuglene ved å spenne opp kevlarline eller wire foran underflensen.

8 LASTER

8.1 Ytre laster på peler og overbygning

I forprosjektet er det skjønnsmessig lagt inn bæreevnereserver for vindlast og ising på lysriggen.

Basisvindhastighet er 30 m/s med kastevind på 51,35 m/s. Bærebjelkene til den langsående brooverbygningen utgjør det meste av vindfanget i konstruksjonen.

Islast er på basis av lokale erfaringer vurdert med ca. 10 cm ispanser fra sjøsprøyt på hele gangbanen. Dette tilsvarer ca. 100 kg/m². Sjøis mot bropilarene er ikke vurdert som aktuelt tema, dette ut fra tidevannsbevegelse, relativt mildt klima og sterk strøm i Saltenfjorden.

Andre former for ising (rim, underkjølt regn, våtsnø, sky-ising) er ut fra lokalkunnskap ikke vurdert som relevante her.

Nyttelast på brodekket er satt til 2 kN/m² (200 kg/m²). Det er dekkende for gangtrafikk og lette kjøretøyer.

Bølgeslag mot pelene er beregnet for 200 års storm og 200 års høyvann. De mest utsatte pelene kan i slike ekstremtilfeller få over 3 tonn sidekraft. Bølgetopper vil kunne nå pelehodene med sidetrykk og oppadrettede støt. Overbygningen med gitterrist i underkant av bærebjelker vil ligge såpass høyt at den kan streifes av bølgetopper uten at skadelige støtkrefter eller løftkrefter utløses.

Kastevind, ekstreme havbølger og ising vil med stor sannsynlighet kunne opptre samtidig med stormflo. Kombinasjonen av disse naturlastene er bestemmende for det meste av brokonstruksjonen.

Ulykkesrisiko i form av påkjørsel fra skip er vurdert å være så lav at den aksepteres. Anlegget ligger inne i skjærgården, på grunt vann og nært land.

8.2 Temperaturbevegelser

I lysanleggets lengdeakse er det antatt ekspansjonsfuger ca. hver 150 meter for å ta opp temperaturbevegelser. Hvert 150 metersegment av broen er antatt å ha fastlagre på landkar eller på en av tverrbroene. Der to segmenter møtes på et pelehode, vil ett av dem ha glide-lagre med rom for langsgående bevegelse.

På de «korte» pelehodene er det ellers antatt fastlagre. Bølgeslag og vindkrefter på pilarene overføres til bro-overbygningen og inn i fastlagrene. Pilarene er antatt å kunne følge temperaturbevegelesene elastisk med liten motstand, men også ta opp noe langsgående kraft.

8.3 Jordskjelv

Det er ikke utført særskilte undersøkelser for å fastlegge grunnens seismiske egenskaper. Grunntype er vurdert fra empirisk grunnlag etter tabell NA.3.1, Eurokode 8, Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning.

Forenklet er det satt grunntype D der løsmassemekktigheten er > 5 meter og grunntype A der løsmassemekktigheten er < 5 meter.

Dersom det etableres seismiske fuger mellom pelegruppene, hhv. de som står på grunntype A og D, kan det benyttes ulike grunntype mht. bestemmelse av seismiske laster på pelene.

For grunntype D settes forsterkningsfaktor $S = 1,3$ og for A settes forsterkningsfaktor $S = 1,0$ iht. eurokode 8, tabell NA.3.3.

Jordskjelv vurderes ikke å utgjøre noen reell trussel mot personsikkerhet eller havari av gangbroen. Konstruksjonen vurderes som elastisk og robust mot jordskjelvpåkjønning, se beskrivelse nedenfor.

Da landingslysene betraktes som en del av ny lufthavn, bør anlegget likevel plasseres i kategorien «*Viktig infrastruktur*» og settes i seismisk klasse III pga. følgeskader på selve lysene.

I Bodø er referansespissverdien for berggrunnens akselerasjon $a_{gR} = 0,8 \cdot a_{g40Hz} = 0,8 \cdot 0,65 = 0,52$. Seismisk faktor settes til $\gamma_1 = 1,4$ for seismisk klasse III iht. Tabell NA.4(901).

Grunnens dimensjonerende akselerasjon for grunntype A blir: $a_g \cdot S = \gamma_1 \cdot a_{gR} \cdot S = 1,0 \cdot 0,52 \cdot 1,4 = 0,73 \text{ m/s}^2$.

Grunnens dimensjonerende akselerasjon for grunntype D blir: $a_g \cdot S = \gamma_1 \cdot a_{gR} \cdot S = 1,3 \cdot 0,52 \cdot 1,4 = 0,95 \text{ m/s}^2$.

Grunnens dimensjonerende akselerasjon $a_g \cdot S$ er større enn utelatelseskriteriet for lav seismisitet, $a_g \cdot S \leq 0,49 \text{ m/s}^2$. Ettersom $a_g \cdot S \leq 0,98 \text{ m/s}^2$ kan byggverket dimensjoneres for bestemmelser gjeldende for lav seismisitet, gitt at konstruksjonsfaktoren q ikke gis høyere verdi enn 1,5.

Svingninger indusert av vind vil kunne sette opp akselerasjoner som er større enn grunnakselerasjon under jordskjelv. Jordskjelv vurderes derfor ikke å være en kritisk faktor. På forprosjektstadiet er det derfor ikke utført jordskjelvdimensjonering.

9 BÆRENDE KONSTRUKSJONER

9.1 Pelefundamentering

9.1.1 Generelt

Broen fundamenteres på borede stålrørspeler i pelepar for hver 15. meter brolengde. Det benyttes RD-peler, som er stålrør med påsveist borkrone. Disse bores med fullt tverrsnitt ca. 4 meter inn i fast fjell. Innboringslengden vurderes som representativ, og må detaljprosjekteres beroende på fjellkvalitet, strekkraft og innspenningskrefter i pelefot.

Det er forutsatt dimensjon Ø 610 x 8,0 mm som representativt for stålrørene. Dimensjonen kan varieres etter lokale forhold langs bro-linjen. Etter nedboring blir pelene armert og utstøpt med betong. Utstøping er antatt med pumpbar AUV-betong (undervannsstøp inntil 2 meter under lavvann), ev. med pumpbar normalbetong over sjønivå eller i tørre peler. Stålrørets kapasitet er ikke medregnet i pelenes bæreevne, de dimensjoneres som armerte betongpilarer. Stålrøret kan således korrodere bort uten konsekvens.

Pelene settes med helning ca. 10:1,5 for å fange opp sidekrefter og begrense bevegelser i broen.



Figur 13: Prinsippskisse av anlegget med utsnitt 90 meter lengde av stålbro og hel 50 meter tverrbjelke av betong

9.1.2 Pelehoder og tverrbjelker

På peletoppene bygges massive tverrbjelker av armert betong. De tjener som pelehoder og brokar til gangbanen, for hver 15. meter. Skråstilt pelepar med innspent topp og bunn gir tverrstabilitet på broen.

På de lange tverrbroene for lysramper hver 150. meter, tjener forlengede pelehoder direkte som gangbro. De har større pelegrupper med skråstilling i anleggets lengderetning. Langsgående krefter i anlegget overføres gjennom brooverbygningen til disse tverrbroene og til landkarene.

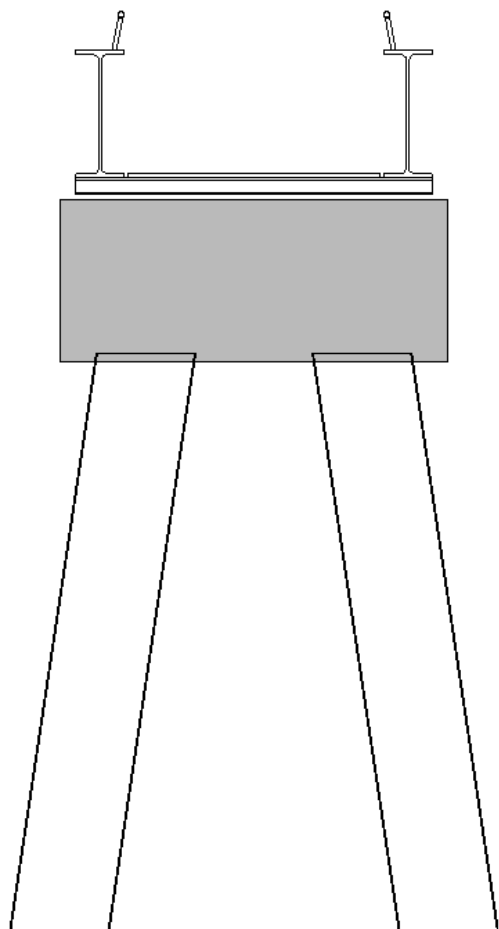
Rigg for landingslys forutsettes innfestet i disse betongkonstruksjonene.

I detaljfasen vil det være gunstig å avklare armeringsfrie soner der man uhindret kan montere forankringsbolter for brolagre, brobjelker, lys-rigg og øvrig teknisk utstyr.

Pelehoder og tverrgående gangbaner avrettes med fall for avrenning, og med brettskuring og kosting for friksjon. Anleggsflater for brolagre avrettes horisontalt.

Dimensjon på pelehodene vil kunne tilpasses for praktisk gjennomføring i samråd med entreprenør, basert på ønsket produksjonsmetode og forventet toleranse på peletopper.

Grad av prefabrikasjon kan tildels bestemmes av entreprenør, også dette avhengig av peletoleranse. For å redusere krevende forskalingsarbeid over sjøen, kan systemer av plattendekke, kanskje med Conformlignende sidekanter vurderes.



Figur 14: Typisk tverrsnitt av bro med pelehode og pilarer

9.1.3 Bæreevne for pelene

Pelens bæreevne i fjell er beregnet og funnet tilfredsstillende, under forutsetning av tilstrekkelig innboring i berg av god kvalitet. Generelt blir berget utsatt for moderat trykk, så berget må være av veldig dårlig kvalitet for at dette skal være dimensjonerende for pelene. Berggrunnens styrke oppgitt i tabell 1 indikerer i dette stadiet av prosjektet at pelene har tilstrekkelig bæreevne.

Under utførelsen må det kontrolleres at alle pelene er boret inn i berg og ikke har stoppet i morene. Overgangen mellom morene og berg er forventet å være lite tydelig enkelte steder. Krav til innboringsslengde for foringsrør og trykkpeler er minimum 2 meter i fast berg. Hvis påtruffet berg er av åpenbart dårlig kvalitet etter 2 meters boring, kan det være hensikts-

messig å opprette et kontrollprogram for å sjekke at tilstrekkelig bæreevne oppnås selv om berget er av dårlig kvalitet, ev. bore dypere. For innspente peler med strekkrefter og varierende bergkvalitet, er 4 meter innboringslengde antatt som representativ i kostnadsoverslagene.

9.1.4 Pelens bestandighet

Korrosjonsmonn er antatt ut fra erfaringsverdier presentert i Peleveiledningen 2012, tabell 6.0.1. Pelene bygges for 100 års levetid. Ensidig korrosjon på foringsrørene gir over 100 år 20-30 mm korrosjonstap for stål som er over vann.

Det betyr at alt stål er forventet å korrodere bort etter 25-40 år. Pelene vil deretter ha tilstrekkelig kapasitet i 70-100 år som armerte betongpilarer. Ved å øke godstykkelsen i pelerørene kan levetiden forlenges ytterligere.

9.1.5 Pelenes kapasitet

Det som er dimensjonerende for pelekapasiteten er knekking. Typisk dimensjon har ut fra foreløpige beregninger tilstrekkelig stabilitet mot knekking på dypt vann og ellers der pelene er eksponert mot bølgeslag. I enkelte partier kan avvikende dimensjon bli aktuelt.

Sjøbunnen består av sand over leire for store deler av de planlagte pelene. Pelene er spissbærende i fast fjell. Der det er noen meter løsmassemektighet, er pelene regnet som fastholdt mot knekning og forskyvning et par meter ned i løsmassene.

9.2 Brooverbygning

Den langsgående brooverbygningen er en stålkonstruksjon. Man ser for seg prefabrikasjon inne på land av komplette seksjoner på 15 meters lengde. Montasjen kan gjerne følge fremdriften på pele- og betongarbeidene slik at man har nytte av broen i byggefasen.

Seksjonene består av 2 bærebjelker av valsede stålprofiler. På undersiden av disse boltes det inn tverrbjelker. De bærer en gangbane av gitterrist. Hovedbjelkene har i utgangspunktet kapasitet for sidekrefter fra vind. I forprosjektet er det likevel tatt med slingrefagverk mellom tverrbjelkene. Dette for å ta høyde for eventuelle problemer med sidekrefter og svingninger i senere faser av prosjektet. Se Figur 15.



Figur 15: Typisk tverrsnitt med bærebjelker, tverrbjelker, gangbane og rekkverk

Bærebjelkene er ca. 80 cm høye og tjener dermed også som rekkverk. De gir stor grad av skjerming og beskyttelse under arbeid og drift på lysanlegget. Rekkverket kompletteres med håndlist på toppen av bjelkene.

Selve gangbanen ligger altså nede mellom bærebjelkenes underflenser. Den består av gangsterk gitterrist, som også har bæreevne for lette kjøretøyer og konsentrerte laster. Gitterrist benyttes for å unngå snømåking, men man må tåle litt sjøsprøyt og kortere perioder med ising.

På innsiden av bærebjelkenes steg er det plass for skjermet fremføring av kabelbroer. Kabler kan krysse gangbroen under bærebjelkene, der de kan føres langs de underliggende tverrbjelkene.

I forprosjektfasen er det for tidlig å gå inn på detaljløsninger av tekniske anlegg, men de valgte løsningene har i seg en stor fleksibilitet for tilpasninger til diverse føringer og skap. Broelementene møtes på pelehodene hver 15. meter. Her er det lagt til rette for åpninger til skap, kabelkrysninger etc. Pelehodene utgjør solide betongfundamenter for å bolte inn annet utstyr.

10 MATERIALER OG KORROSJONSBESKYTTELSE

10.1 Betongkonstruksjoner

For landkar, pilarer, pelehoder og tverrbjelker av betong skal materialkvaliteter og overdekning følge Statens Vegvesens og Prosesskodens spesifikasjoner for broer og kaier med teknisk levetid på 100 år. Betongen er høyfast, ved behov egnet for undervannsstøp, og sammensettes for aggressivt miljø i sjøvann og sprutsone.

Ferdige bropilarer fungerer som betongsøyler uten bidrag fra stålrøret. Stålrørspelen vil som nevnt kunne ruste bort i tidevannssonen i løpet av broens levetid, uten at det får konsekvenser.

10.2 Stålkonstruksjoner

Overbygningen overflatebehandles til korrosjonskategori C5-M og holdbarhetsklasse H. Det skal brukes korrosjonsbeskyttende duplex-system bestående av rensing, katodisk beskyttende metallbelegg og maling.

Broene antas likevel å kreve regelmessig ettersyn og vedlikehold, tilsvarende f.eks. overbygget på en oljeplattform eller vegbru. Bærebjelkene utgjør rene og enkle flater. Stålkonstruksjonen bør ellers holde minst 50 år mellom hovedvedlikehold. Sekundære deler som gitterrist, lysrigg og deler av teknisk anlegg må kanskje re-galvaniseres, overhales eller skiftes ut oftere.

Gitterrister i gangbanen leveres varmforsinket. De er oppbygd av tynnveggede stålplater, og blir utsatt for slitasje. Ristene er imidlertid ukompliserte å inspisere og kan ved behov skiftes ut.

Festemateriell i betong (innstøpte enheter, limankre) skal være i rustfri/syrefast kvalitet A4.

11 BEVEGELSER

11.1 Deformasjoner

Nedbøyninger under vertikale laster er små, 5 mm midt i brospennet. Hovedbjelkene har kapasitetsreserver mot vipping, naturkrefter og mer udefinerte driftsuhell.

Utbøyning (sideveis forskyvninger) fra vindkast og trafikklast er maksimalt 9 mm midt i brospenn. Ekstreme bølgeslag utgjør ca. 2 mm, så med samtidighet til vindkast får vi en maksimal tenkelig sum på ca. 11 mm. Disse verdiene gjelder for de lange pelene på dypt vann.

11.2 Svingninger

Med skråpeler på 60 cm diameter og helning i 10:1,5 er laveste frekvens for egensvingning ca. 2,5 Hz som tilsvarer en periode på 0,4 sekunder. De viktige svingeformene er knyttet til sideveis bevegelse. Utslag i størrelsesorden 9 mm kan knyttes til første svingemodus midt i brospennet. Tilhørende akselerasjon er ca. 2 m/s^2 tilsvarende $0,2 \times$ tyngdekrafts-akselerasjonen g . Maksimal statisk utbøyning for vind er 6 mm på pelehodene. Med samme svingeperiode tilsvarer dette en akselerasjon på $1,3 \text{ m/s}^2$ tilsvarende $0,13 g$. Disse tallene er knyttet til bærende konstruksjoner alene, uten noen tekniske anlegg.

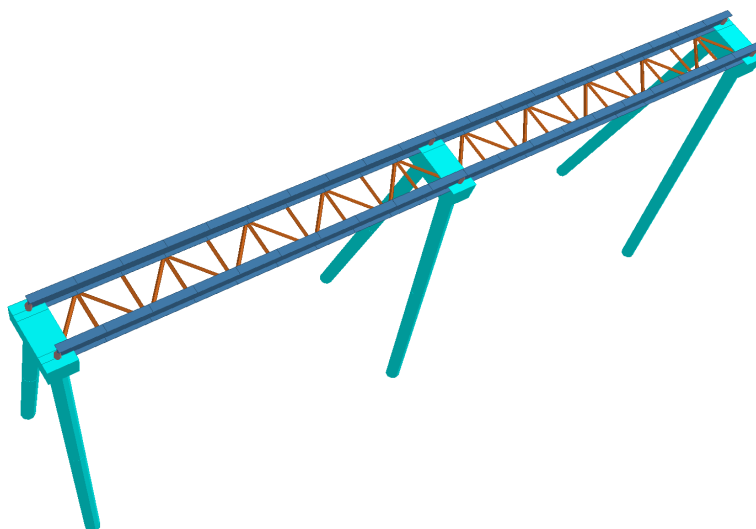
Det antas at $0,13 g$ kan være representativ verdi for påkjenninger på innflygingslysene. Høyt plasserte egenvekter fra lysutstyr vil imidlertid virke dempende på akselerasjon. Lysleverandør bør få svingedata til uttalelse.

Verdiene er beregnet for de dypeste stedene der pelene har ca. 14 meter effektiv lengde. Grunnere farvann vil gi svakere svingninger. De tunge tverrarmene av betong for brede lysgrupper vil virke dempende.

For en «sivil» fotgjengerbro vil frekvens og svingeperiode ligge innenfor anbefalte komfortkriterier, men der bør akselerasjonen ikke overskride $0,7 \text{ m/s}^2$. Det antas imidlertid at svingningene i overslagene ovenfor vil oppleves som akseptable på en arbeidsbro. I ekstremt vær vil ferdsel på broen begrenses av andre forhold.

Store havbølger vil ha periode i størrelsesorden 14 sekunder, og forventes derfor ikke å gi resonans i broen.

Statiske beregninger i forprosjekt gir moderate materialspenninger. Med riktig utforming av brolagre og sammenføyninger, bør konstruksjonen være robust mot utmatting.



Figur 16: Illustrasjon av slingrefagverk (skrå elementer i brun farge), utsnitt med 2 x 15 lengdemeter bro

12 TEMAER TIL DETALJPROSJEKTERING

Teknisk løsning omtalt i denne rapporten er en av flere mulige løsninger. Detaljprosjekteringen bør innledes med en kritisk gjennomgang av forhold rundt levetid, driftskostnader, aktuell markedssituasjon i byggebransjen m.v.

Peledimensjon i forprosjektet er en representativ dimensjon, styrt av lange peler og stormflo. Det kan som ledd i detaljprosjekteringen bli aktuelt å variere armeringsgrad og dimensjon avhengig av dybde fra pelehode til sjøbunn og/eller fjell.

Pelehodenes dimensjoner og til en viss grad posisjoner, kan tilpasses toleransene i peletopper, entreprenørens metodevalg og lysanleggets plassbehov.

Det må gjøres helhetlige vurderinger av utmatting, svingninger og jordskjelv. Lysenes tålegrense for bevegelser må oppgis av leverandør eller baseres på driftserfaringer. Lysriggene er i forprosjekt antatt å være betydelig mer bevegelige enn brokonstruksjonen.

Brolagre, bevegelsesfuger og eventuelle jordskjelvfuger må detaljprosjekteres. Utførelsen i forprosjekt er antatt å ha en elastisk virkemåte, med stivere punkter i landkar og store tverrgående brokar. Andre stivhetsfordelinger vil betinge revurdering av peleplan. Konstruksjonen må avstemmes helhetlig i detaljprosjekteringen.

Forankring av lysriggen må konstrueres i samarbeid mellom leverandør og byggeteknisk rådgiver.

Det må gjennomføres detaljprosjektering av nødvendige tiltak for å sikre områdestabiliteten.

Det tilrås en helhetlig risikoanalyse og avklaring med Arbeidstilsyn vedr. daglig drift, fall i sjø etc.

Konflikter med fugler må følges opp i detaljprosjekteringen. Det kan ende opp i andre utførelser med f.eks. fuglegitter. Det er ikke kjent hva broene gir av utslag på risikonivå for sammenstøt mellom fugl og fly.

13 EKSEMPLER FRA ANDRE LUFTHAVNER

13.1 Hong Kong International airport

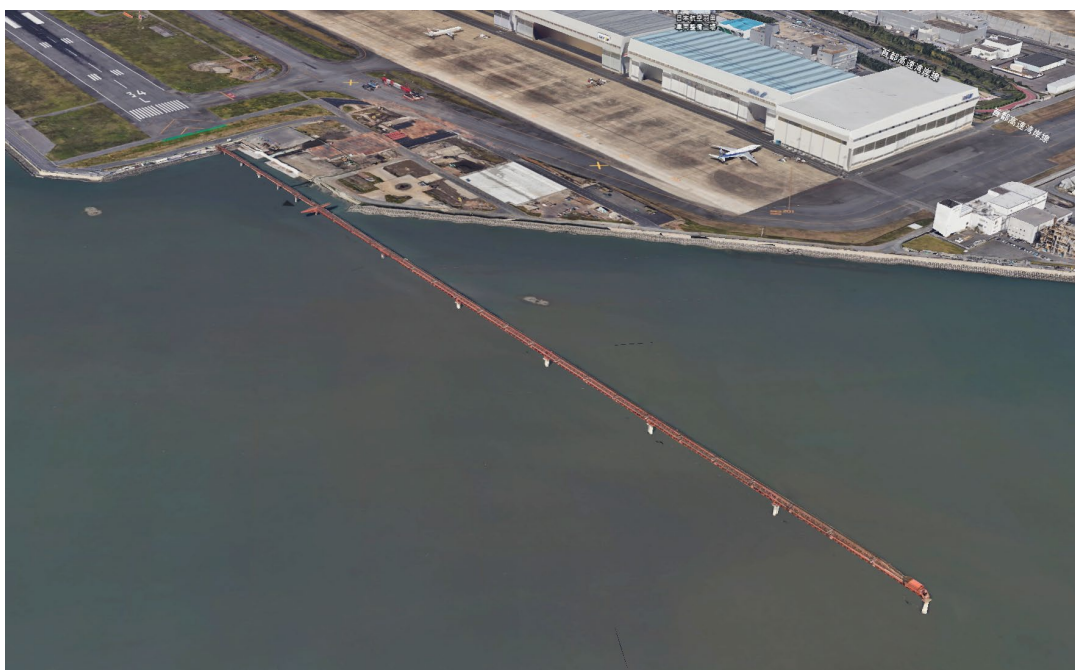
For innflygingen til Hong Kong er det brukt grupper av 3 relativt grove peler som er samlet i pelehoder for hver tverrgående lysrekke. Mellom lysene er det gangbru på stålrør som serviceadkomst.



Figur 17: Innflygingslys, Hong kong International airport (bilde fra google)

13.2 Tokyo airport

Tokyo flyplass har innflygingslys oppe på en fagverksbru i stål som står på pilarer.



Figur 18: Fagverksbru på pelefundament, med innflygingslys (bilde fra google Earth)

13.3 Kristiansand Lufthavn, Kjevik

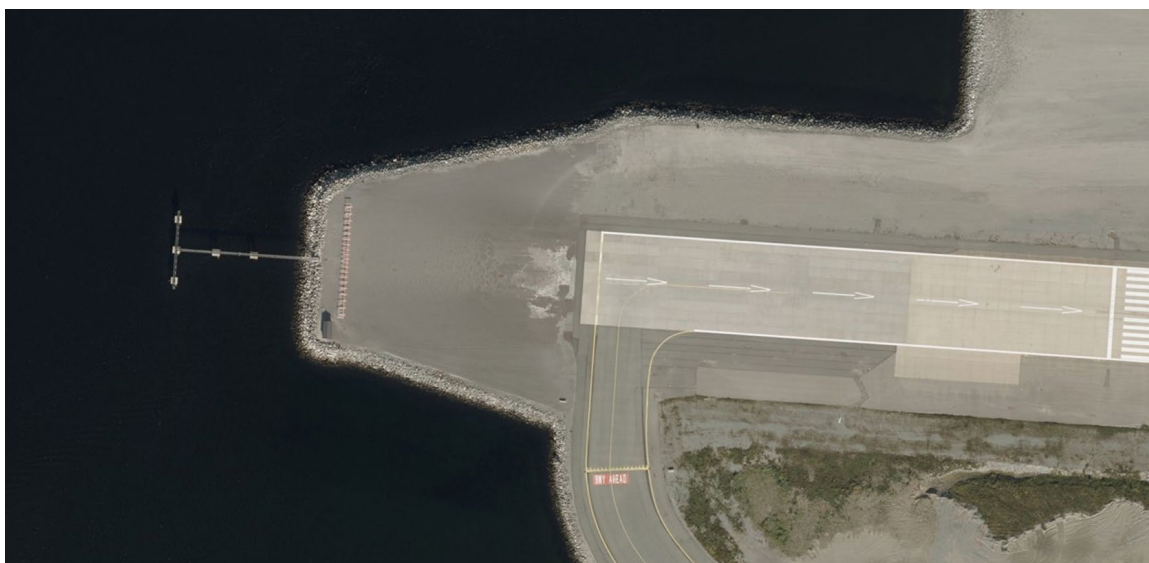
Kristiansand flyplass har etablert små steinfyllinger for hvert lys. For vedlikehold brukes båt.



Figur 19: Innflygingslys, Kristiansand Lufthavn, Kjevik

13.4 Trondheim Lufthavn, Værnes

Ved Værnes er det etablert en gangbane på peler ut til en (kort) rekke av innflygingslys. Værnes er betydelig mindre utsatt for bølger enn Bodø, men har likevel et relativt hardt bølgeklima.



Figur 20: Gangbru på peler ved Værnes (Norge i bilder)



Figur 21: Pelerekke til gangbru og lysmaster, Værnes (Norconsult)

13.5 Bali flyplass

For Bali flyplass er det etablert en molo for innflygingslysene.



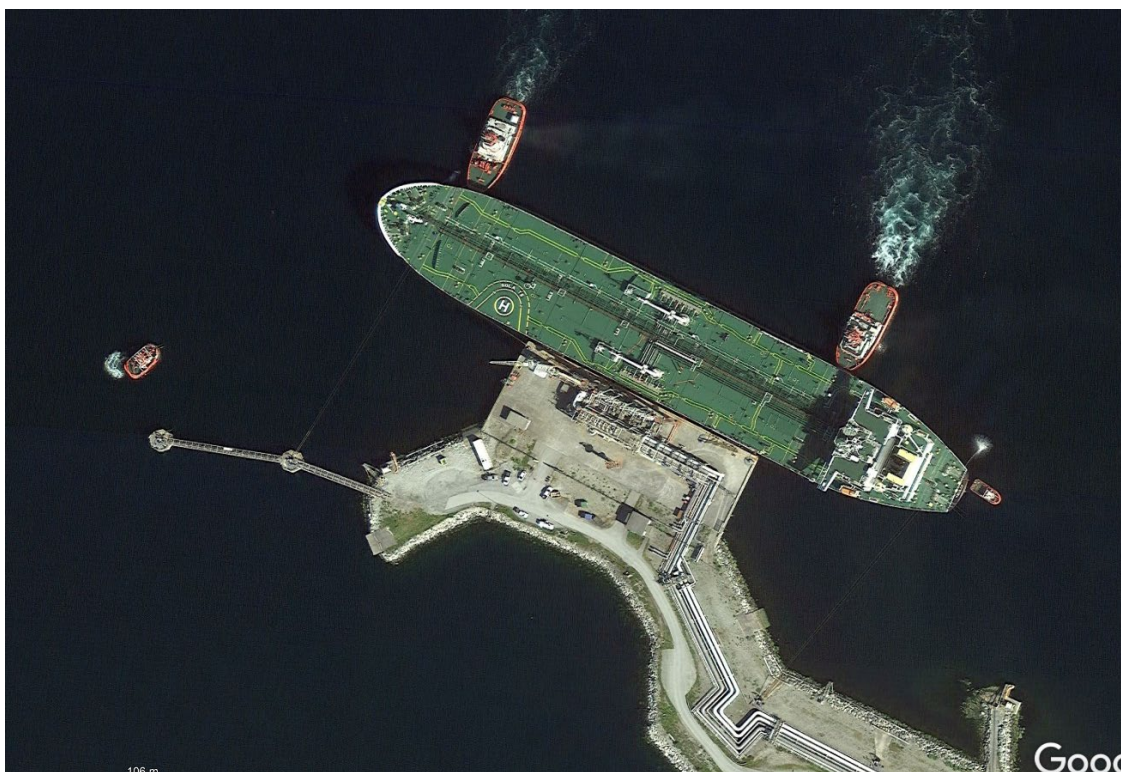
Figur 22: Fylling utenfor Bali flyplass (bilde fra google Earth)

13.6 Eksempler fra havneanlegg

Gangbruer på peler benyttes i stor grad ved havneanlegg. For større skip (spesielt tank- og gasskip) er det ikke behov for en lang kailinje, men det er behov for fortøyningspunkter i hele skipets lengde. Løsningen er ofte å sette fortøyningspunkter på peler og ha gangbaner ut til disse slik at de kan betjenes og vedlikeholdes.



Figur 23: Kaianlegg ved Sture i Øygarden. Bruspennet er på ca. 70 meter (Norge i Bilder).



Figur 24: Kaianlegg ved Mongstad. Bruspennet er på ca. 50 m (Google).



Figur 25: Kaianlegget ved Mongstad sett fra landsida. Gangbru på peler sees i fremre halvdel av skipet Google).

14 REFERANSER

- | | |
|----------------------------------|---|
| Palmström, A. 1995. | <i>Using refraction seismic velocities to characterize jointing, Appendix 5</i>
<i>In: RMI – a rock mass characterization system for rock engineering purposes.</i>
PhD thesis, Oslo University, Norway 1995. |
| 10001444-187075-BO000-G1-RA-0002 | Geoteknisk rapport |
| 10001444-187075-BO000-G1-NO-0111 | Områdestabilitet i sjø - østre del |
| Norconsult 2020-01-17 | Beregning av krefter på fundament for innflygningslys. <i>Internt notat vedr. bølgekrefter.</i> |
| NS-EN ISO 12944-2 | Korrosjonskategorier |
| NS-EN ISO 12944-1 | Holdbarhetsklasser |