

Oppdragsnr.	Oppdragsnavn:	
13411	Kryssing av Talgsjøen	
Notat nr.:	Notatdato:	Utarbeidet av:
01	03.09.2024	Stein Atle Haugerud
Dokument nr.	Revisjon:	Godkjent av:
13411-OO-N-02	02	[Manager]
Sak:		
Kryssing av Talgsjøen – Ett-spenns hengebru (Tentativ)		

Distribueres til:

Firma	Navn (e-postadresse)	Til	Kopi
NNBT AS	Olav Ellevset (post@nn-bt.no)	☒	

Innholdsfortegnelse

1	Generelt	2
2	Krysningsløsning	2
2.1	Forutsetninger	2
2.2	Kryssingstrasé	2
2.3	Bruløsning	3
2.3.1	Linjeføring	3
2.3.2	Hovedkonfigurasjon	4
2.3.3	Grunnforhold	6
2.4	Kostandskalyle	6
2.4.1	Metode	6
2.4.2	Trippelanslag	6
2.4.3	Indre og ytre påvirkninger	7
2.4.4	Entreprisekostnad	8
3	Referanser	10

1 Generelt

I kartleggingen av mulige brukonsepter for kryssing av Talgsjøen [1] ble opprinnelig flytebru og hengebru i 2 spenn vurdert som aktuelle alternativer til undersjøisk tunnel. Evaluering av registrerte bølgedata [3] basert på ett år med kontinuerlig måling i perioden mars 2023 til mars 2024 har vist at et flytebrukonsept ikke er egnet for kryssing av Talgsjøen. Med en entreprisekostnad grovt estimert til 11 mrd. kr. eks. mva. er en hengebruløsning med 2 spenn og sentertårn på et dypvannsfundament nedsatt på 330 m vanndyp midtfjords vurdert som lite konkurransedyktig i forhold til undersjøisk tunnel. Følgelig er det vurdert om en hengebru med ett-spenn kan være et realiserbart og billigere krysningskonsept, og dette notatet sammenfatter skissert bruløsning og estimerte kostnader for en ett-spenns hengebru mellom Ørnberget og Golma.

Hengebrukonseptet er basert på erfaringer fra en tilsvarende bruløsning utarbeidet av arbeidsfellesskapet *Norconsult – Dr.techn. Olav Olsen* for E39 Halsafjorden. Det er ikke utført egne statiske og dynamiske beregninger av brukonseptet, men tatt utgangspunkt i de konstruksjonsløsninger og dermed også den dimensjonering som er foretatt for Halsafjorden.

2 Krysningsløsning

2.1 Forutsetninger

Utforming av bruløsningen er basert på følgende generelle forutsetninger:

- Dimensjonerende brukstid: 100 år
- Trafikkmengde (ÅDT) : 2 200
- Dimensjoneringsklasse : H2
- Fartsgrense : 80 km/t
- Seilingsled B × H : 1 000 × 50 m (sentrisk led)

2.2 Krysningstrasé

Foreslått krysningsstrasé for ett-spenns hengebru er vist i Figur 1. Linjeføringen over fjorden og landingspunkter for hengebrua er stor grad styrt av bruløsningen, mens det for tilførselsveger vil være større frihet i valg av egnet trasé. Tabell 2-1 sammenfatter lengde og oppbygning fordelt på hovedløp og tilknytninger for den foreslåtte krysningsstraséen i Figur 1, hvor linjeføring tilførselsveger og påkobling til hhv. Fv6248 på Nordlandet og Fv680 på Tustna kun er indikativ skissert.

Tabell 1: Veg- og brulengder [m]

Tilknytning Ørneberget		Hengebru med viadukt	Tilknytning Golma		Totalt
Veg	Bru		Veg	Bru	
1 310	480	3 265	1 445	2 190	8 690



Figur 1: Krysningstrasé med linjeføring fordelt på hengebru (gult), bru (oransje) og veg (hvitt).

2.3 Bruløsning

2.3.1 Linjeføring

I vurdering av mulig brutrasé for en ett-spenns hengebru er det tatt utgangspunkt i hengebrukonseptet som ble utviklet for kryssing av E39 over Halsafjorden. Hengebrua over Halsafjorden, som er planlagt for 2 kjørefelt og G/S-veg på begge sider, ble utredet for ett hovedspenn på 2 065 m. For ikke å utfordre dimensjoneringsforutsetningene for referansekonseptet, er det for Talgsjøen følgelig sett etter tårnplasseringer som vil gi tilnærmet samme hovedspennslengde.

På det smaleste, mellom Stavbrekkneset og litle Ramsøya, er Talgsjøen 2 430 m bred. Måler en fra Stavbrekkskjæret er avstanden ca. 100 m kortere. Med tårnene fundamentert på land, ville en hengebru i denne akse få et hovedspenn på rundt 2 400 m, men ut fra vurderinger av batymetrien ser det ut til å være mulig å finne tårnplasseringer i sjø som vil gi en gjennomførbar trasé som oppfyller forutsetningene over. Grunnene utenfor Stavbrekkskjæret og litle Ramsøya ligger på moderate dybder og vurderes ut ifra batymetrien å bestå av godt berg. Med fundamentering av tårnene på senkekasser her, vil lengden på hovedspennet kunne reduseres til 2 120 m. Dette er fortsatt et betydelig spenn, men nær nok til at erfaringsdata fra Halsafjorden kan benyttes for et pålitelig kostnadsestimat.

En annen viktig premiss for linjeføringen er mulighet for rasjonell plassering av forankringskamrene. Mens det på Stavbrekkneset synes å være få begrensninger i plassering av spredekamrene, legger øyformasjonen på nordsiden strengere føringer for orientering av bruaksen. Forutsatt fundamentering over vann, vil her en

plassering av spredekammerne på vestsiden av Klubbøya være eneste mulighet. Med tårn på grunnen utenfor Stavbrekkskjæret, bestemmes horisontallinjeføringen av koordinert plassering av tårn og bakforankring i nord. Den foreslåtte linjeføringen er vist i Figur 3.

2.3.2 Hovedkonfigurasjon

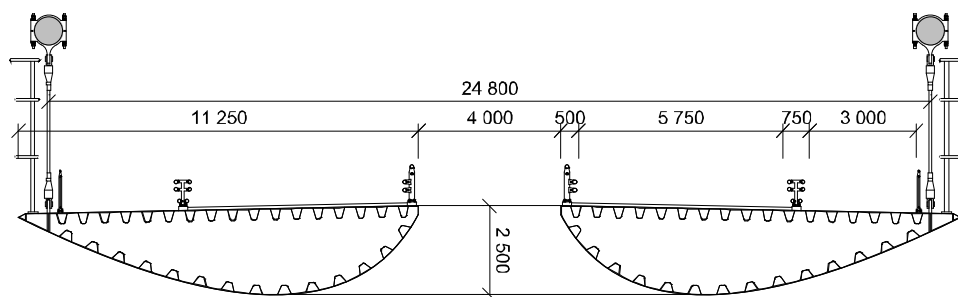
Hengebrua har et hovedspenn på 2 120 m og en samlet brulengde på 3 265 m med viadukter i sør og nord på hhv. 625 og 512 m. Viaduktene er foreslått som betongkassebruer.

Brutårna fundamenteres på berg i sjø ved hjelp av senkekasser. Senkekassen på Stavbrekkgrunnen står på ca. 27 meters vanddyb, mens senkekassen på nordsiden vil kunne settes på ca. kt. -10 m. Det er antatt at bunnforholdene for hovedfundamentene er berg med sannsynlig liten eller ingen overdekning, se kap. 2.3.3 vdr. fundamenteringsforutsetninger.

Tårnene har en høyde på 295 m og er bestemt av størrelsen på seilingsleden og bærekabelens pilhøyde. Brutårnet er forutsatt utført i betong og har tårnben med variabelt kassetverrsnitt som er sammenkoblet med 3 riegler over planumsriegelen, hvor sistnevnte tjener som opplegg for avstivningsbæreren.

Bærekablene forankres i tradisjonelle bergforankringer med spredekammer og forankringskammer. Spredekammeret er plassert over ekstremhøyvann, mens forankringskamrene i berg ligger under havnivå. Det er tilnærmet lik vinkel ($\sim 26^\circ$) på bakstagene på begge sider av fjorden.

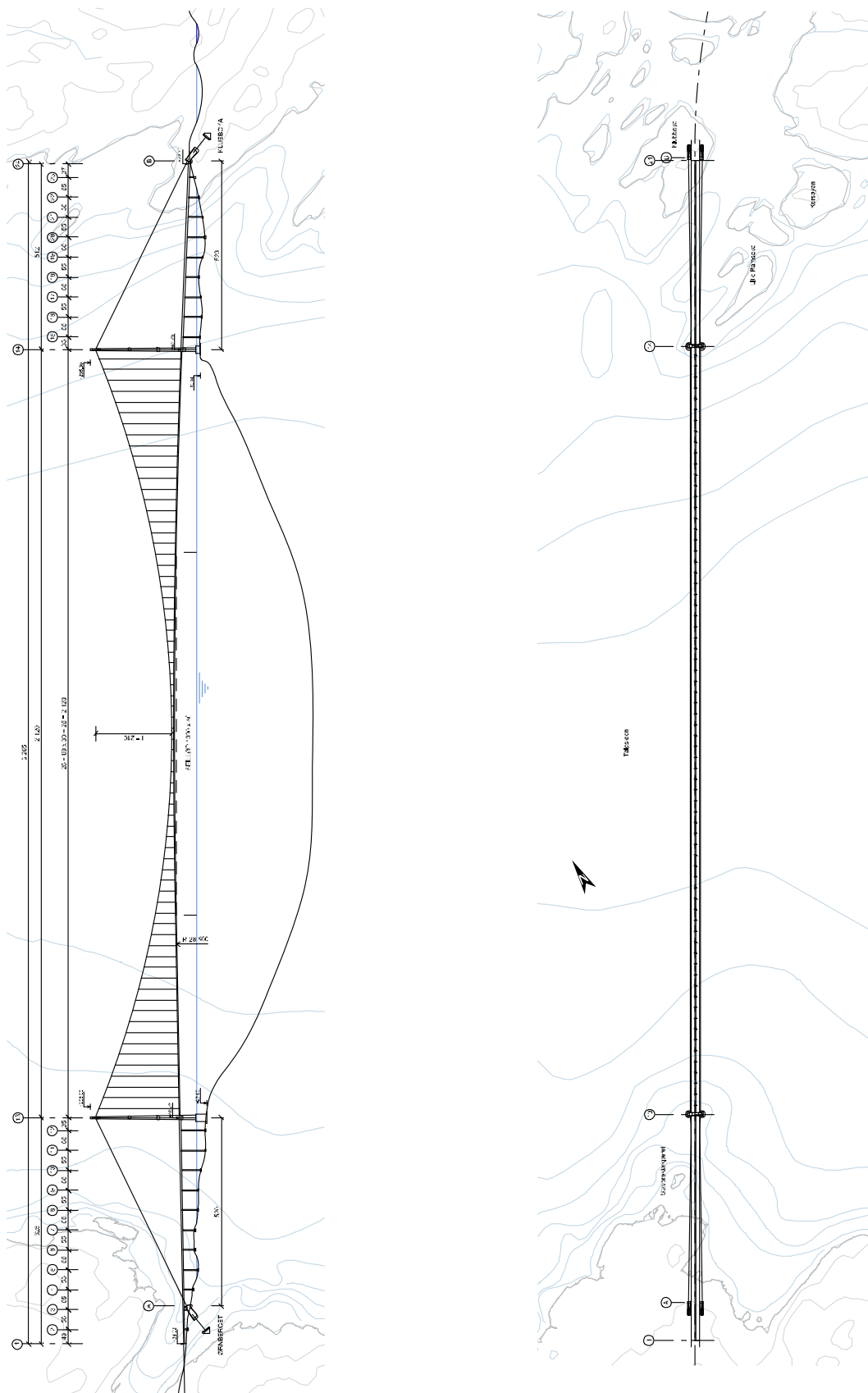
Avstivningsbæreren utføres som splittet brukasse av to lukkede, ortotrope stålkasser. Bredden på brukassen er bestemt av dynamiske lastvirkninger og gir plass til veg i dimensjoneringsklasse H2 med 2 kjørefelt og 3.0 m G/S-veg på begge sider. Avstivningsbæreren har tverrrskott hver 4. m og tverrbærer ved hvert hengestagsfeste (c/c typ. 30 m).



Figur 2: Avstivningsbærer – typisk tverrsnitt.

Bærekablene utføres av parallelltrådkabler, enten prefabrikkerte bunter av tråder eller tråder montert med luftspinning. Hengestenger er lukkede, spiralslåtte kabler. Avstivningsbærer, bærekabler, spredekammer og tårntopper utstyres med avfuktingsanlegg.

Viaduktene utføres som spennarmerte betongkasser med typisk spennvidde på 55 m. Viaduktene er fritt opplagt på planumsriegelen uten forbindelse til avstivningsbæreren i hovedspennet. Landkar og pilarer for viaduktene antas i tråd med kap. 2.3.3 alle å kunne direktefundamentert på berg.



Figur 3: Plan og oppriss av ett-spenns hengebru over Talgsjøen [4].

2.3.3 Grunnforhold

På land er det lite løsmasser. Foruten store områder med bart fjell synes det kun å være et tynt humusdekke over berg. For sidespennsfundamentene antas derfor berg i dagen.

De marine grunnforholdene ved hovedfundamentene er vurdert ut fra sjø- og terrengkart og bør kartlegges før en evt. videre utredning. Ifølge NGU sitt berggrunnkart over området, består berggrunnen på land av prekambrisk foliert granittisk gneis. Bergmassen fremstår som kompetent med moderat oppsprekking i overflaten. Ugunstig foliasjonsoppsprekking i forhold til fundamentering av tårnfundamentene nær skråningskant vil måtte kompenseres med enten flytting av fundamentene nærmere land, sprengning seg noe dypere ned i bergmassene eller benytte stålkjernepeler for å flytte vertikallasten under nivå for eventuelle glideplan. Usikkerheter knyttet til dårlig bergkvalitet grunnet skråstilte sprekkeplaner er foreløpig ikke hensyntatt i kostnadsestimatet.

2.4 Kostandskalkyle

2.4.1 Metode

Kostnadsestimatet er foretatt med en kalkylemodell basert på samme prinsipper som benyttet i anslagsmetoden [5]. Modellen inneholder mengderelaterte kostnader, kostnader knyttet til fabrikasjon, bygging og installasjon og fremhever også kostnadsdrivere og de største bidragsyterne til prosjektets usikkerhet. Kalkylen baserer seg på trippelanslag av både mengder, enhetskostnader og påslagskoeffisienter med høy / middels / lav verdi og tilhørende fordeling som input. Det er i kalkylen også tatt høyde for korrelasjon i kostnader for hhv. stål og betongarbeider antatt som 50 % samvariasjon av enhetskostnadene samt usikkerhetsfaktorer for indre og ytre påvirkninger (Tabell 3).

2.4.2 Trippelanslag

Usikkerhetsvariasjon i hovedmengder er basert på vurdering av status i prosjekteringen og konseptets modenhet mens enhetspriser er utledet fra erfaringstall fra relevante referanseprosjekter. Tabell 2 sammenstiller trippelestimater for hovedmengder og tilhørende enhetspriser.

Tabell 2: Kalkyleposter med trippelanslag for hovedmengder og enhetskostnader.

Post	Kalkylepost	Menge				Enhetskostnad		
		Enhet	Lav	Middels	Høy	Lav	Middels	Høy
B02	Hengebrutårn							
B02.01	Tårn Ørnberget	m ³	13 500	15 300	22 000	15 000	20 000	25 000
B02.02	Tårn Golma	m ³	13 500	15 300	22 000	15 000	20 000	25 000
B02.03	Senkekaske Ørnberget	m ³	7 100	7 950	10 000	12 000	15 000	20 000
B02.04	Senkekaske Golma	m ³	5 200	5 400	7 600	12 000	15 000	20 000
B03	Kabelsystem							
B03.01	Hovedkabel m/utstyr	tonn	16 000	17 150	18 522	62 000	75 000	95 000
B03.02	Hengestenger m/utstyr	stk	136	142	152	340 000	420 000	500 000
B04	Avstivningsbærer stål							
B04.01	Konstruksjonsstål S355	tonn	14 600	15 900	16 900	50 000	60 000	75 000
B05	Kabelforankringer							
B05.01	Kabelforankringer	stk	1	1	1	276 000 000	345 000 000	414 000 000
B06	Viadukter							
B06.01	Viadukt Ørnberget	M	585	625	680	350 000	450 000	530 000
B06.02	Viadukt Golma	M	490	512	542	350 000	450 000	530 000
B07	Utstyr							
B07.01	Heis, buffer, lager, sadler etc	Stk	1	1	1	50 000 000	80 000 000	120 000 000
B07.02	Rekkverk	m	3 200	3 265	3 350	12000	15 000	25 000
B07.03	Belegning	m ²	54 000	56 400	59 000	800	1 000	1 200
B07.04	Belysning	m	3 200	3 265	3 350	1200	1 500	1 800
B07.05	Vindskjerm	m	2 100	2 120	2 200	14000	16 000	22 000

2.4.3 Indre og ytre påvirkninger

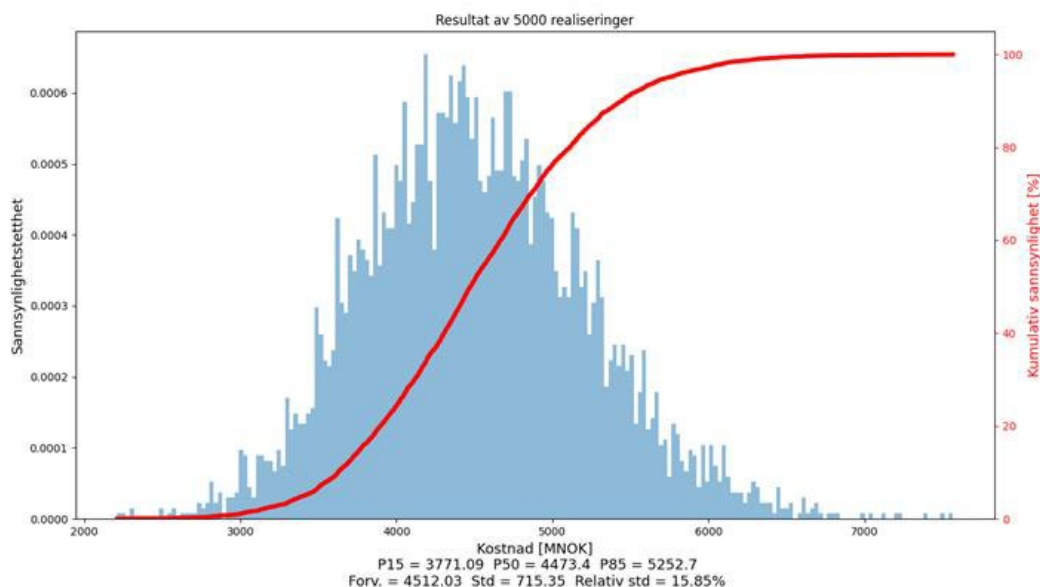
Kun usikkerhetsfaktorer som hadde stor tilknytning til det pågående prosjektarbeidet er blitt vurdert i overslagsanalysen. Disse er vist med tripplestimater, tilhørende fordeling og henvisning til hvilke poster de påvirker i Tabell 3. Faktor på 1 tilsvarer ingen usikkerhet.

Tabell 3: Usikkerhetsfaktorer og påvirkning.

UF-nr	Usikkerhet	Lav	Middels	Høy	Påvirkede kostnadselementer
UF01	Global markedsituasjon	0.85	1	1.15	B02, B03, B04, B05, B06, B07
UF02	Modenhet	0.96	1	1.06	B02, B03, B04, B05, B06, B07
UF03	Unøyaktige design analyser	0.98	1	1.05	B02, B03, B04, B05, B06, B07
UF04	Grunnforhold/geologi	0.98	1	1.1	B02, B03, B05, B06

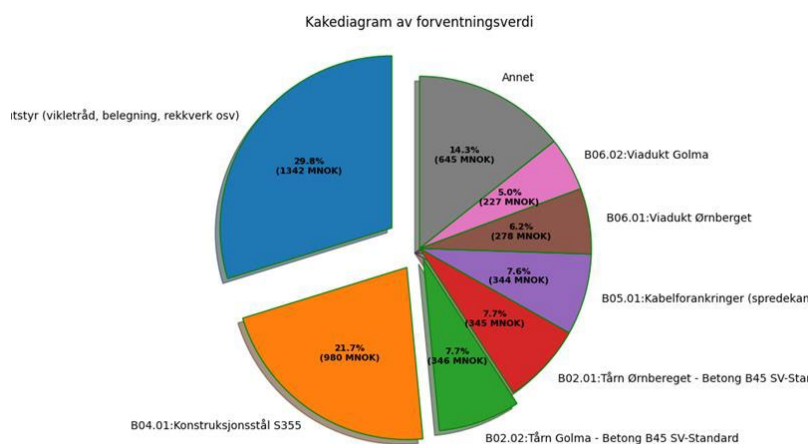
2.4.4 Entreprisekostnad

Sannsynlighetstetthet og kumulativ sannsynlighetsfordeling for prosjektkostnad er vist i Figur 4. Prosjektkostnad tilsvarer her entreprisekostnad med P50 (Styringsramme) beregnet til 4.5 mrd. ekskl. mva. P85 (Kostnadsramme) er 5.2 mrd. ekskl. mva.



Figur 4: Sannsynlighetstetthet og kumulativ sannsynlighetsfordeling av prosjektkostnad.

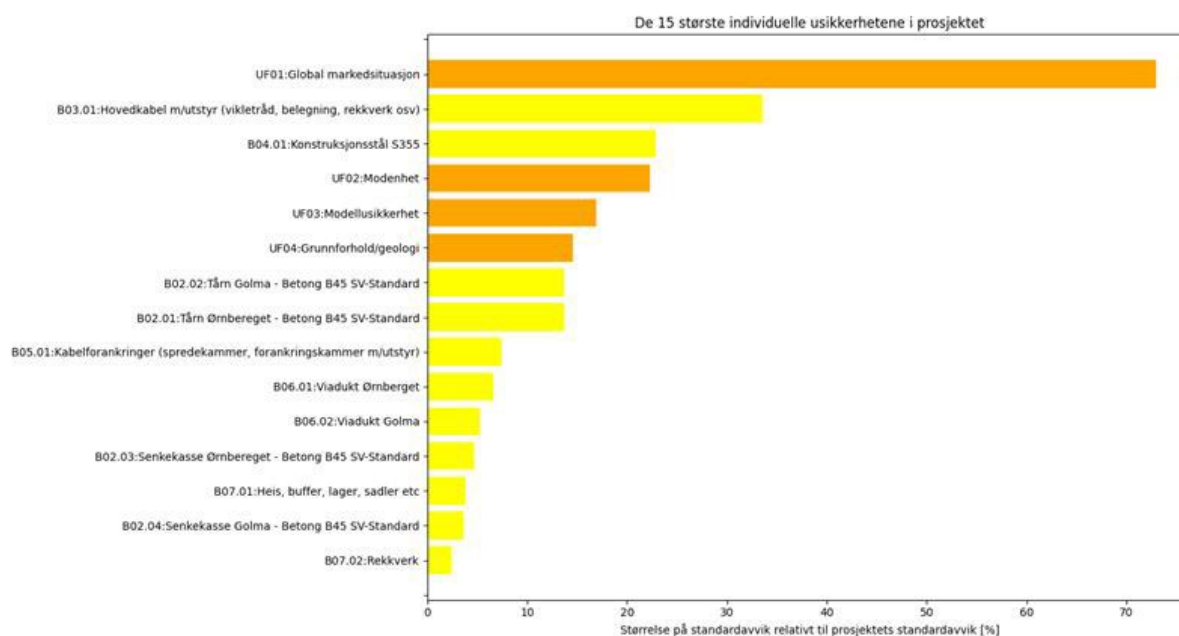
Figur 5 viser den relative andelen av de ulike kostnadselementene. Annet er her en sammenslåing av mindre elementer, i dette tilfellet usikkerhetsfaktorer og B07 (Tabell 2). Elementene som utgjør den største andelen av kostnadene (B02-B04, se Tabell 2) er også de som i referanseprosjektet er detaljert i størst grad.



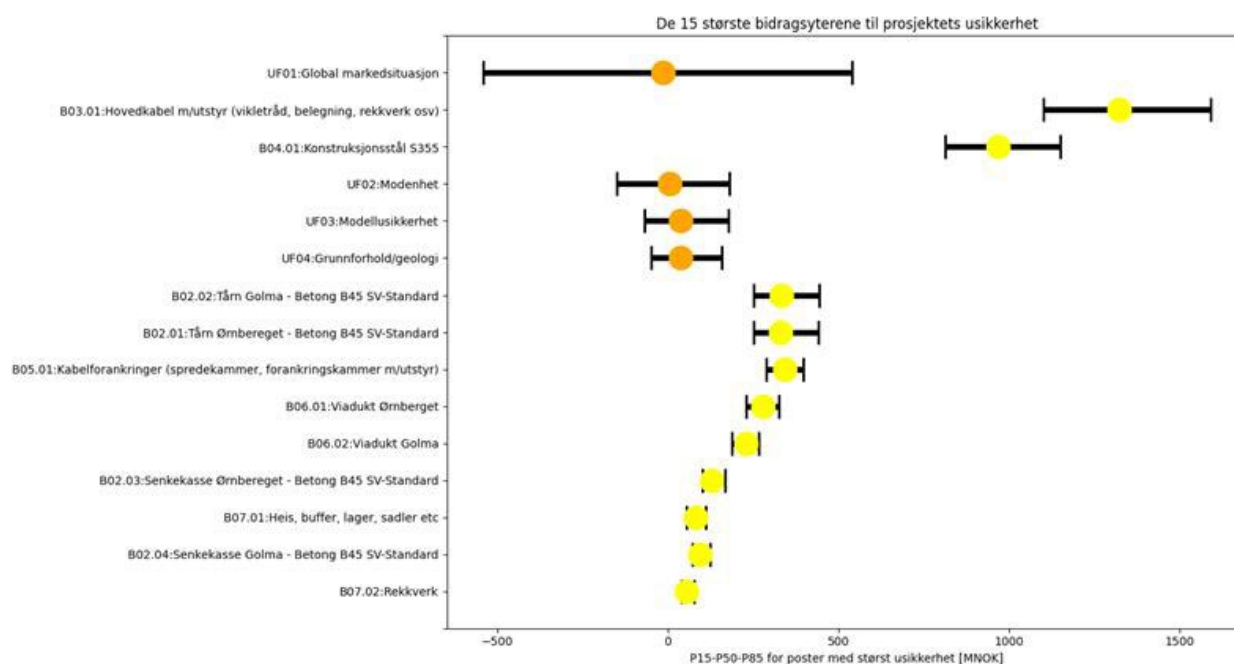
Figur 5: Fordeling av kostnader (forventningsverdi) på de enkelte kalkylepostene.

Usikkerhetsprofil for projektkostnadene er vist i Figur 5 for de største usikkerhetene i prosjektet. Prosentsatsen angir hvor stor del av prosjektets usikkerhet som ville blitt borte dersom angitt post ikke hadde hatt usikkerhet, spesifikk samvariasjon eller usikkerhetsfaktor.

Figur 6 viser de største bidragsyterne til prosjektets usikkerhet som andel av forventet totalkostnad. Den totale usikkerheten i kostnader er beregnet til 15.8 %.



Figur 5: Usikkerhetsprofil med de 15 postene med størst påvirkningskraft på prosjektets usikkerhet.



Figur 6: Tornadodiagram med de 15 største individuelle bidragsyterne til prosjektets usikkerhet (P15 – P50 – P85).

3 Referanser

- [1] Dr.techn. Olav Olsen: Kryssing av Talgsjøen - Workshop konseptalternativer. Rapport datert 17.06.2021.
- [2] Artelia: *Norway Floating Bridge Pilot Project / Olav Olsen*. Rapport ver. 1.0, 07.01.2022.
- [3] Dr.techn. Olav Olsen: *Evaluering av bølgemålinger i Talgsjøen*. Notat nr. 13411-OO-N-01, rev. 01, 30.04.2024.
- [4] Dr.techn. Olav Olsen: K101 *Kryssing av Talgsjøen – Hengebrualternativ – Oversikt*. Oversiktstegning, rev. 01.
- [5] Statens vegvesen: *Håndbok R764 Anslagsmetoden*, Vegdirektoratet, 2021.