

Notat om strømforholdene med redusert bruåpning på Veg 6000 i Sifjorden på Senja

av

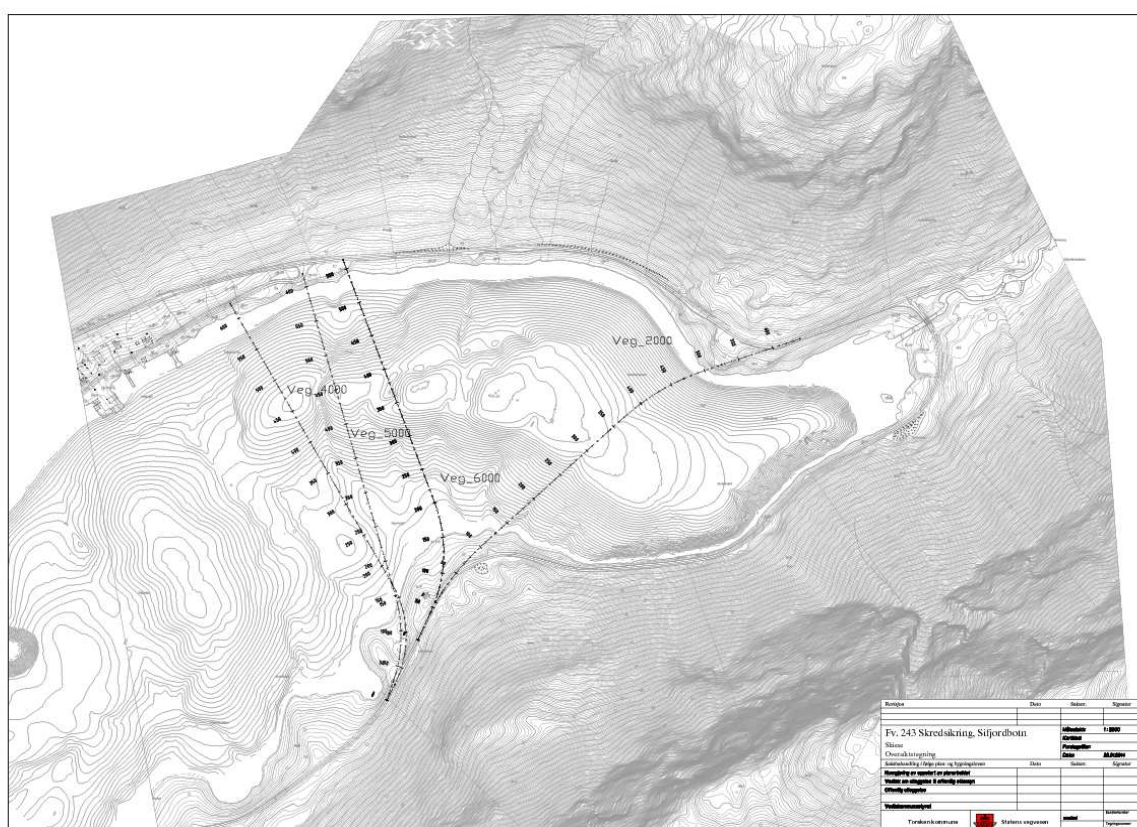
Bjørn Gjevik¹

Dato 25. oktober 2016

1. Innledning

Dette notatet er utarbeidet etter forespørsel fra Elisabeth Gundersen, Statens vegvesen i epost 20.10.2016. Spørsmålet er hvordan en reduksjon i tverrsnittsarealet for åpningen under den planlagte Sifjordbrua, Veg 6000, vil innvirke på strømforholdene og vannutskiftningen i fjorden innenfor brufyllingen.

En vurdering av hvordan brufyllingene for forskjellige planlagte vegtraséer ved omleggingen av veien langs Sifjorden kan påvirke strømforholdene i fjordbotn er gjennomført tidligere (Gjevik, Gundersen og Sandbo, 2014).



Figur 1: Kart over Sifjordbotn med de fire opprinnelige vegtraséene (Veg 2000, 4000, 5000 og 6000). Markeringene langs traséene (svarte rektangler) er med 50 m avstand. Fra Gjevik et al. (2014), fig. 1.

¹Dr. philos, professor emeritus, Matematisk institutt, Universitetet i Oslo. epost: bjorng@math.uio.no

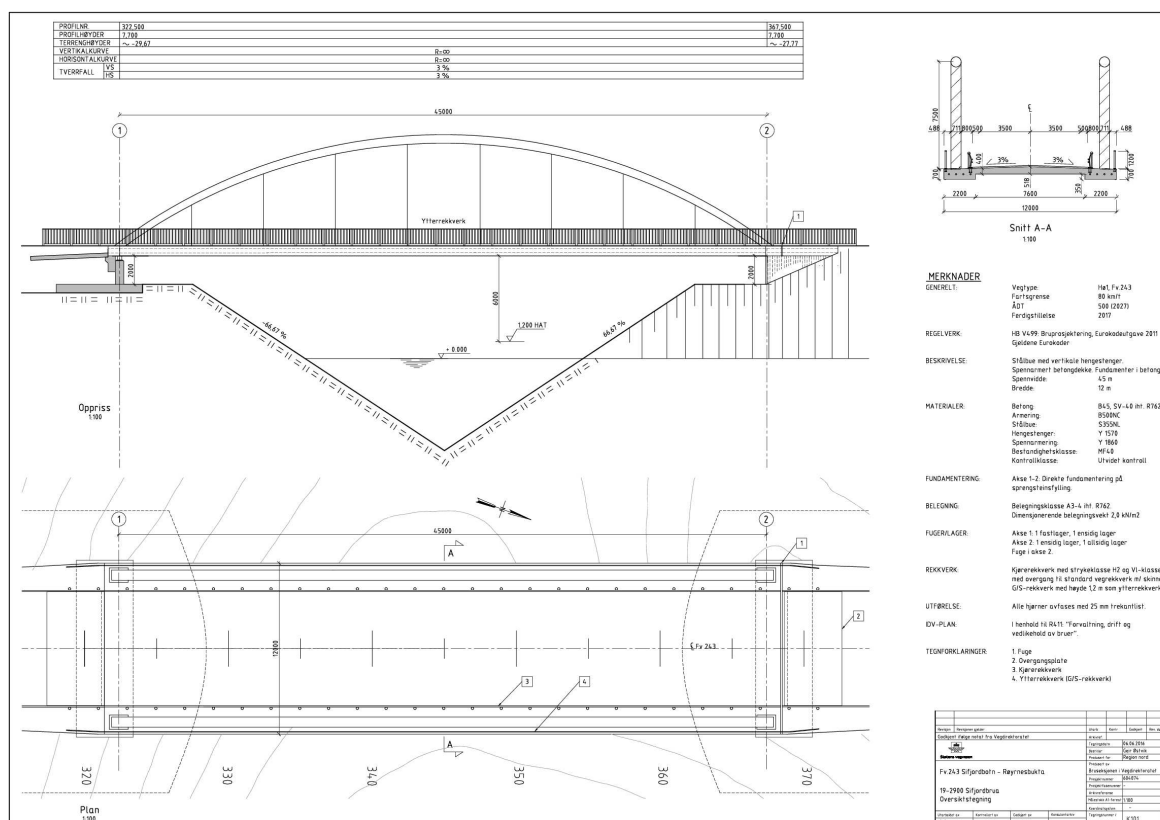
1. Faktorer bestemmende for strømforhold og vannutveksling

I Sifjordsbotn er tidevannsforskjellen relativ stor $HAT - LAT = 2,50\text{ m}$ og tidevannet er den viktigste faktoren for vannutvekslingen i fjorden. Tilførselen av ferskvann fra Botneelva er forholdsvis liten, med en anslått vannmengde på $\dot{Q}_f = 2,6\text{ m}^3/\text{s}$ med et gjentaksintervall på ca. 2 år (Gjevik et al. 2014).

Med for trang åpning under brua vil det kunne oppstå struping av tidevannet med redusert tidevannsforskjell og forsinkelse av tidspunktet for flo og fjære i fjordbassenget innenfor. Hvorvidt det kan bli struping av betydning kan anslås ved å bruke kriteriene utledet av McClimans (1978) og Stigebrandt (1980). Denne fremgangsmåten ble brukt av Gjevik et al. (2014).

Ved struping av tidevannet, og liten utveksling av vannmassene, kan det også dannes stagnant anoksisk bunnvann. Det er spesielt fare for det dersom innløpet er grunt i forhold til dypet av bassenget innenfor.

Nedenfor skal det vurderes om den foreslåtte reduksjonen i bruåpning på Veg 6000 vil føre til struping av tidevannet og redusert vannutveksling og derved dannelse av stagnant bunnvann.



Figur 2: Tegning av ny bru på Veg 6000 med redusert lengde og bruåpning.

3. Fysiske parametere for bru og fjord

Fra data i Gjevik et al. (2014) og tegningen, fig. 2, anslås følgende verdier:

Parameter	Størrelse	enhet
For innløpet (ved middelvann):		
d_m største dyp	6,3	m
b bredde i vannflaten	19,3	m
$S = 0,5bd_m$ vått tvernsnittsareal	60,8	m^2
P våt perimeter	22,8	m
$R = S/P$ hydraulisk radius	2,67	m
L lengde av innløpet	60	m
$S_b = PL$ bunnareal	1368	m^2
For fjorden:		
A arealet av fjorden innenfor	$2,1 \cdot 10^5$	m^2
h_0 tidevannsamplitude	1,25	m
T tidevannsperioden	12,4	<i>timer</i>

Tidevannsamplituden er satt lik halvparten av forskjellen mellom høyest og lavest tidevann, $h_0 = 0,5 \cdot (HAT - LAT)$. Med disse verdiene er McClimans faktor:

$$q_c = \frac{A}{S} \frac{\sqrt{2gh_0}}{2gT} = 0,0195$$

hvor tyngdeakselerasjonen er $g=9,81 \text{ m/s}^2$. Faktor er altså langt mindre enn hva det kreves for å få struping.

Stigebrandt (1980) vurderte hvordan friksjonen i innløpet påvirker strupingen og innførte følgende friksjonsfaktor:

$$\lambda = 2\kappa \frac{L}{R}$$

hvor κ er koeffisienten for kvadratisk bunnfriksjonen (skjærspenning), dvs. proporsjonal med kvadratet av strømhastigheten i innløpet. Vanligvis brukes i modellsimuleringer verdier i størrelsesorden $0.001 \leq \kappa \leq 0.1$. Ofte brukes Mannings tall som mål for bunnfriksjonen i slike beregninger (Fergus et al. 2010). Friksjonskoeffisienten κ kan relateres til Mannings tall (se Gjevik et al. 2014).

Kriteriet som Stigebrandt satte opp for at strupingen har liten betydning kan uttrykkes ved tallet

$$q_s = q_c \sqrt{1 + \lambda} \ll 1$$

I tabellen nedenfor er q_s beregnet for forskjellige valg av bunnfriksjonskoeffisient med tilhørende verdier for Mannings tall.

Bunnfriksjon	Mannings tall	
κ	M	q_s
0.01	26.6	0.0235
0.02	18.8	0.0269
0.03	15.4	0.0299
0.04	13.3	0.0326
0.05	11.9	0.0351
0.06	10.9	0.0375
0.07	10.1	0.0397
0.08	9.4	0.0418
0.09	8.9	0.0438
0.10	8.4	0.0457

4. Vurderinger

Beregningene ovenfor viser at det ikke forventes struping med det oppgitte tverrsnittsarealet for innløpet og rimelig valg av koeffisientene for bunnfriksjonen. Både kriteriet satt opp av McClimans (1978) og Stigebrandt (1980) viser det samme.

I tillegg er det brukt en alternativ beregningsmåte beskrevet i Gjevik (2015). Heller ikke den tyder på at det blir struping for den nye planlagte bruåpningen på Veg 6000 med rimelig valg av bunnfriksjon i innløpet. Videre beregninger viser at tverrsnittsarealet av innløpet må reduseres med en faktor 4 til $S = 15 \text{ m}^2$ før det blir struping av betydning.

Når det ikke er struping kan en anslå den største strømhastigheten (U_m) og volumstrømmen (\dot{Q}_m) gjennom innløpet i løpet av tidevannssyklusen.

$$U_m = 2\pi \frac{A h_0}{S T} = 0,61 \text{ m/s}$$

og

$$\dot{Q}_m = 2\pi A \frac{h_0}{T} = 36,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Denne beregningsmåten er detaljert beskrevet i Gjevik et al. (2014). Vannmengden som strømmer gjennom innløpet i den delen av tidevannsyklus når sjøen flør er:

$$V_t = 2h_0 A = 5,25 \cdot 10^5 \text{ m}^3$$

Graden av innblanding med vannet i bassenget innenfor vil bestemme hvor mye av det opprinnelige vannet i bassenget vil trekkes med ut når en tilsvarende vannmengden strømmer ut igjen i neste fase av tidevannsyklusen mens sjøen faller. Netto utskiftning av vann i hver tidevannsyklus kan settes til

$$\Delta V = pV_t$$

hvor faktoren p er et tall $0 < p < 1$.

Den totale vannmengden i bassenget innenfor fyllingene på Veg 6000 er

$$V_f = Ah_m = 41,4 \cdot 10^5 \text{ m}^3$$

hvor middeldypet er satt til $h_m = 19,7 \text{ m}$ ved middel vannstand.

Antall tidevannsykluser før vann er skiftet ut kan derved anslåes til

$$n = \frac{V_f}{pV_t} = 16$$

når blandingsfaktoren er satt til $p = 0,5$. Det betyr at vannet er skiftet ut i løpet av ca. 8 døgn (ca. 2 tidevannsykluser i døgnet). Denne sterkt forenklete regnemåten kan selvsagt rafineres, men overslaget tjener til å vise at det er relativ god vannutskiftning.

5. Konklusjon

Beregningen viser at det ikke blir struping av tidevannstrømmen av betydning med et tvernsnittsareal av innløpet $S = 60,8 \text{ m}^2$ (ved middelvann) som nå planlegges.

En ytterlig reduksjon av tvernsnittsarealet anbefales ikke. Det kan da spesielt bli kritisk på lavvann. Grensen for når struping får betydning går ved ca. $S = 15 \text{ m}^2$, med rimelig valg av koeffisienter for bunnfriksjonen.

Mengden av vann som strømmer inn til bassenget innenfor i hver tidevannssyklus er såpass stor ($5,25 \cdot 10^5 \text{ m}^3$) i forhold til den totale vannmengden innenfor fyllingen (ca. $41,4 \cdot 10^5 \text{ m}^3$) at en må regne med at bassenget blir godt ventilert. En relativ stor strømhastighet i inngående stråle (maks. 61 cm/s) vil bidra til å øke blanding med underliggende vann pga. av turbulensen i vannet.

Statens vegvesen bør gjennomføre strømmålinger i innløpet når fyllingene er ferdig. Det kan gi nyttig data for etterprøving av beregningene og bidra til å sikre best mulig beslutningsgrunnlag i liknende tilfeller i framtiden.

Litteratur

Fergus, Tharan, Knut Aune Hoseth og Einar Sæter (2010) Vassdragshåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk. Tapir akademisk forlag, Trondheim.

Gjevik, B., Elisabeth Gundersen og Hilde C. Sandbo (2014). Hvordan kan brufyllinger endre strømforholdene i fjorder. Vurderinger av endringer i strømforholdene i forbindelse med brufyllinger i Sifjordbotn på Senja. Statens vegvesens rapporter nr. 290 2014, 21 sider.

Gjevik, B. (2015) Tidal choking in landlocked fjords. Unpublished manuscript.

McClimans, T. A. (1978) On the energetics of tidal inlets to landlocked fjords. Marine Science Communications, 4(2), pp. 121-137.

Sigebrandt, Anders (1980) Some aspects of tidal interaction with fjord constrictions. Estuarine and Coastal Marine Science, Vol. 11, pp. 151-166.