

Målselvbrua

Krefter på lager fra vann, strømning og is

8. mars 2013

Elisabeth Gundersen, Harald Norem og Trond Stigum, Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Målselv bru i Olsborg, Troms kommune er ei platebærerbru i 5 spenn med total lengde 220 m. Brua ble bygget i 1974. Den har et svakt lavbrekk og liten fri høyde til elva.

Ettersom Måselva stadig blir påvirket av store vår og høstflommer som oversvømmer større områder langs elva ønsker Statens vegvesen, region nord å kartlegge hvilke krefter flomvannet gir Målselvbrua. Siden vårflom er den dominerende flomtypen er krefter fra isgang og støtkrefter fra drivis en aktuell problemstilling.



Figur 1 Flomstein, satt ut av NVE etter flommen i 1997. Bilde er tatt i forbindelse med vårflommen i 2010 av Geir Østvik, SVV region nord.

Vårflommen i 1997 var den største flommen i elva siden kraftutbyggingen i vassdraget tok til midt på 60 – tallet /2/. Flommen hadde to flomtopper med to dagers mellomrom (den 11. og den 13. juni). Kulminasjonsvannføringer ved Målselvbrua ble anslått til hhv. ca. 1145 og 1309 m³/s. I følge NVE førte kraftutbyggingen i Dividal og i øvre del av Barduvassdraget til at flommen ble betydelig dempet ettersom vannet ble samlet opp i vannmagasinene Devdisvatn og Altevatn. Vannstanden nådde, på det høyeste opp til ca. 30 cm under underkant brubjelker. Hadde vassdraget vært naturlig, uten kraftutbygging mener NVE at vannstanden hadde blitt vesentlig høyere.

Beskrivelse av flommen i 1997 er dokumentert i NVEs rapport nr. 21, 2001, se /2/. I NVEs rapport nr. 12, 2001 ble det utført vannlinjeberegninger for ulike tverrsnitt i elva, blant annet rett ovenfor og nedenfor Målselvbrua. Disse viser at for en 200 års flom vil man få en antatt vannstand på kote 6,02 ovenfor brua og kote 6,01 nedenfor.

Det ble også sett på effekten av stormflo ved at man økte vannstanden i sjøen med en halv meter over beregnet tidevann. Ved mindre flommer vil sjøvannstanden ha størst innvirkning. For en middelflom ble det beregnet at stormflo vil føre til en vannstandsøkning ved Målselvbrua på 14 cm. For de største flommene blir effekten av stormflo dempet oppover i elva. For en 500-års flom ble det beregnet en økning på kun 3 cm ved brua.

I forbindelse med at Statens vegvesen, region nord ønsker å utrede behovet for en heving av Målselvbrua har NVE utført nye flom- og vannlinjeberegninger for området rundt brua. Disse er gitt i Oppdragsrapport B 28-2012 /3/. Sammenliknet med beregningene fra 2001 gir de nye beregningene høyere verdier for vannstand og vannføring. Med nye antagelser om størrelsen av 200-årsflomen, hydraulisk ruhet gitt ved Manningstallet og strømform, her 1D strøm gir vannlinjeberegningene en vannstand ved brupilarene på 6,59 m (NN1954). Høyeste nivå for vannstanden er 6,69 m 6 m oppstrøms brua. Vannstanden synker med andre ord 10 cm inn mot brua.

Resultatet fra flomberegningene gir at en 200 års flom vil ha en kulminasjonsverdi på 2538 m³/s, dvs. nesten det dobbelte av hva som ble anslått under flommen i 1997.

I rapporten har NVE gjennomført en følsomhetsanalyse. Denne sier at en feil i vannlinjeberegningen på 20 % (som ikke er uvanlig) vil gi +0,6 m eller -0,67 m endring i vannstanden. I tillegg vil en liten endring av Manningstallet gi +0,45 m eller -0,49 m endring. Oppsummerer vi disse to effektene kan beregningene av vannstanden være 1,05 m underestimert eller 1,16 m overestimert.

Beregningene fra 2012 er kalibrert mot beregningene fra 2001 og stipulerte flomvannføringer og vannstander i etterkant av flommen i juli 2012. Kulminasjonsvannføringen for flommen i 2012 ble beregnet til ca. 1600 m³/s. Vannstanden ble vurdert til ca. kote 5,2 m, se Figur 2 under.

I beregningene av effekten på brua har vi brukt en vannstand på kote 6,59 m rett oppstrøms brua, dvs. en økning på 57 cm sammenliknet med beregningene fra 2001. Resultatet er diskutert i lys av følsomhetsanalysen og den usikkerhet som ligger i beregningene til NVE.



Figur 2 Bilde er tatt fra vårfloppen i 2012 av Geir Østvik, SVV Region Nord.

Ettersom flommen i 2012 var større enn flommen i 1997 er denne til nå den største flommen i vassdraget etter kraftutbyggingen.

Beregninger av horisontale krefter fra flom på bru

Trond Stigum utførte i 1997 beregninger av bruas sideveis kapasitet mot vanntrykk. Disse viser at ut fra gitte forutsetninger tåler brua en vannstand ca. 1 m opp på bjelkene.

Brua har et lavbrekk ca. 13 m nord for akse 3. Kotehøyder ved brupilarene er gitt som:

Brupilar	1	2	3	4
Kjørebane	8,82	8,02	7,67	7,78
Underkant brubjelker	6,42	5,62	5,27	5,38

Tabell 1 Verdiene i tabellen er hentet fra rapport fra NVE (ref. 3)

Akse 3 ligger nærmest lavbrekket og blir derfor mest påkjent. Ettersom det er 50 m mellom hver akse må lageret i akse 3 ta sidekrefter og løftekrefter på brubjelken 25 m til hver side av pilaren.

Elvas tverrsnitt rett ovenfor brua er målt opp av NVE og viser at elvebunnen er noe grunnere mellom akse 3 og 4 enn resten av elveløpet. Effekten av å grave ut elva mellom akse 3 og 4 slik at vi får en flat elvebunn på ca. kote -2, er en reduksjon av gjennomsnittlig vannhastighet i tverrsnittet, men en liten økning av hastigheten mellom akse 3 og 4.

Fra Figur 20 i rapport /3/ finner vi et hastighetsprofil for tverrprofil 8.1 (rett oppstrøms brua) for en 200-års flom. Dette viser at den maksimale vannhastighet er gitt som, V_{maks}

= 3,6 m/s, og gjelder vannet som strømmer mellom akse 1 og landkaret. Mellom akse 3 og akse 4 er vannhastigheten ca. 1,6 m/s. Fiuren viser at vannhastigheten oppstrøms brua er størst der elva er dypest og vannet får gå fritt, dvs. blir ikke hindret av brubjelken. Når vannstanden går over brubjelken får vi en oppstuvning som reduserer vannhastigheten. Dette blir kompensert ved en raskere vannstrøm under brua. Den gjennomsnittlige vannhastigheten rett oppstrøms brua er gitt som $v_{\text{middel}} = 2,3 \text{ m/s}$, kulminasjonsvannføring ble beregnet til $Q_{200} = 2538 \text{ m}^3/\text{s}$ og vannstanden når kote 6,59m.

Kritisk dybde (y_c) er gitt av formelen under der q er vannføring pr. breddeenhet og g tyngdeakselerasjonen.

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(2538/50)^2}{9,81}} = 6,4 \text{ m}$$

Dette viser at hvis elvebunnen jevnes ut med en bunn i kote -2, dvs. en vannhøyde på 8,59 har vi en rolig strømning under en 200-års flom. Med dagens situasjon vil vi ha en strømning som er rolig der elven er dypest og strykende strømning under brua mellom akse 3 og 4.

Reynoldstallet er gitt som

$$Re = v \cdot \frac{L}{\nu}$$

Der L er vanddybden, v vannhastigheten og ν vannets kinematiske viskositet (ca. $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$). Mellom akse 3 og 4 stiger elvebunnen på det grunneste nesten opp til kote 3. Med en antatt gjennomsnittsverdi på elvebunnen i kote 1,5 blir $Re = 8,14 \cdot 10^6$ dvs. turbulent strømning.



Mot brubjelken vil det virke et stagnasjonstrykk og et hydrostatisk trykk. Det hydrostatiske trykket blir motvirket av et tilsvarende trykk, men motsatt rettet på andre siden av bjelken, dvs. at bjelken vil kun kjenne stagnasjonstrykket. Dette er gitt som

$$P_s = \frac{1}{2} \rho C_D v^2 A$$

Der ρ er tettheten til vann, $\rho = 999 \text{ kg/m}^3$ (ved 4°C), C_D Dragkoeffisienten, v vannhastigheten og A arealet normalt strømretningen. Ettersom vi har turbulent strømning kan C_D settes til 2 for en bjelke.

For en 200-års flom vil vannet stå ca. $6,59 - 5,27 = 1,32$ m opp på bjelken, dvs. brubjelken vil kjenne et stagnasjonstrykk på

$$P_s = 0,5 \cdot 999 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 2 \cdot 1,32 \text{ m} = 3,38 \text{ kN/m}$$

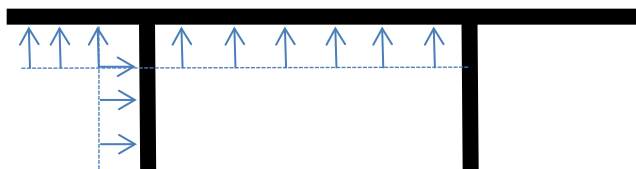
Stagnasjonstrykket vil virke på begge bjelkene. Total horisontalkraft på hvert lageret i akse 3 blir da

$$50 \text{ m} \cdot 3,38 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \approx 169 \text{ kN}$$

Vi har her benyttet en vannhastighet på $1,6$ m/s. En utgraving mellom akse 3 og 4 vil øke hastigheten til ca. 2 m/s. Stagnasjonstrykket blir da $5,27$ kN/m.

Beregninger av vertikale krefter fra flom på bru

Strømning kan i visse tilfeller gi løftekrefter. I likhet med en flyvinge kan strømning rundt eller over et legeme gi en løftekraft på grunn av trykkforskjeller som skyldes hastighetsvariasjoner. Når vannstanden når opp på brubjelkene vil brua være en innsnevring av vannbanen. Dette fører til en reduksjon av vannhastigheten inn mot bjelken samtidig som vannhastigheten rett under bjelken økes. Det er derfor et lavere vanntrykk rett under bjelken enn foran. Mellom bjelkene er det fritt vannspeil. Men effekten av at vannhastigheten oppstrøms er mindre enn hastigheten rett under bjelken, og at vi har en turbulent strømning mellom bjelkene vil ikke gi en signifikant løftekraft på brua.



Hvis flom fører til at vannstanden går helt opp til bruplata ville brua fått et løftettrykk tilsvarende stagnasjonstrykket ettersom vann har en hydrostatisk trykkfordeling. Dette trykket ville virket oppstrøms første bjelke og mellom bjelkene. I praksis vil trykke nok bli noe redusert fra nedre mot øvre bjelke, men denne effekten er vanskelig å beregne uten numeriske modeller.

Beregningene til NVE gir at vannstanden for en 200-års flom vil ligge $0,68$ m under brudekket. Brua vil derfor ikke bli påvirket av denne løftekraften. Legger en til 20% beregningsfeil og en noe større ruhet av elvebunnen, kan en få en vannstand som når helt opp i brudekket.

Den delen av brubjelkene som er under vann vil få en statisk oppdriftskraft, gitt som vekten av den fortrenkte væskemengden. For en 20mm tykk brubjelke blir oppdriftskraften for en 200-års flom

$$F = 999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (1,4 \cdot 0,02) \text{m}^2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,27 \text{ kN/m}.$$

På grunn av flensen under bjelken vil denne lasten bli en del høyere men den er uansett ubetydelig da tettheten til stål ligger på ca. 7850 kg/m³.

Beregninger av krefter fra isgang i elva

Bildene i figur 3, tatt fra flommen i 2010 viser at brua kan bli påkjent av krefter fra isgang og støtkrefter fra isflak som følger vannet.



Figur 3 Bilder fra vårflommen i 2010, tatt av Geir Østvik, Statens vegvesen region nord.

Islaster er beskrevet i Håndbok 185, Bruprosjektering kapittel 2.5.5. Av de ulike hovedtyper av islaster som kan forekomme er støtlaster fra isflak som driver eller presses mot konstruksjonen ansett som mest realistisk her. I følge Hb. 185 skal pilarer i vann der is kan forekomme minst dimensjoneres for et istrykk tilsvarende 200 kN i pilartverrsnittets lengderetning og 200 kN vinkelrett på dette. Lastene kan antas å ikke virke samtidig (Hb 185, kap. 2.5.5.1).

For Målselv kommune har vi følgende frostmengder, $F_{10} = 26\,000 \text{ h}^\circ\text{C}$ og $F_{100} = 48\,000 \text{ h}^\circ\text{C}$. Dimensjonerende frostmengde er da gitt som

$$F = (F_{10} + F_{100})/2$$

$$F = \frac{26\,000 + 48\,000}{2} = 37\,000 \text{ h}^\circ\text{C}$$

Istrykkelsen, t , på en innsjø kan da regnes å være:

$$t = \frac{\sqrt{F}}{175} = \frac{\sqrt{37000}}{175} \approx 1,1 \text{ m}$$

Formlene er hentet fra Hb. 185.

Ettersom isen som følger med elva i flom ikke er en sammenhengende isflate men oppknust, smeltet og transportert is, kan en anta at den aktuelle istykkelsen på drivis inn mot brua er vesentlig mindre. Men, ettersom isgangen blir hindret av brubjelkene under en 200-års flom kan isen pakke seg inn mot fremre bjelke. Dette vil føre til et tykkere islag.

Støtlaster fra drivende is mot fremre brubjelke er i Hb. 185 gitt som

$$I_1 = C_1 C_2 C_3 \sigma_k t b$$

Der C_1 , C_2 og C_3 er ulike formfaktorer, σ_k isens knusningsfasthet og b er lenden av bjelken til hver pilar. Isens knusningsfasthet er her valgt til 700 kN/m^2 , noe som er vanlig for regulerte elver i midt- og nord – Norge. Videre er det valgt $C_1 = 0,8$, $C_2 = 1,0$ og $C_3 = 1,0$.

Hvis vi benytter full istykkelse blir islasten pr. lengdemeter bjelke

$$I_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 700 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,1 \text{ m}$$

$$I_1 = 616 \text{ kN/m}$$

Hvis vi antar at lager i akse 3 vil merke islast fra 50 m brubjelke blir det en totalkraft på 30800 kN . Denne kraften vil virke mot fremre bjelke. Is som samles opp mellom bjelkene vil virke på bakte bjelke og lageret der.

Dette er et konservativt overslag. Det er mer nærliggende å anta en vesentlig mindre istykkelse. Isen som følger flomvannet vil også være svakere enn isen i et fast isdekke. En 70 % reduksjon gir en islast på 185 kN/m .

Konkusjon

Laster fra vannstrøm og is er beregnet. Horisontal last fra vannstrøm er gitt ved stagnasjonstrykket. På grunn av at elva er grunnet inn mot akse 3 og 4 blir vannhastigheten her redusert, noe som igjen reduserer stagnasjonstrykket.

Hvis vannstanden når opp til brudekket, vil brua bli påført en løftekraft tilsvarende stagnasjonstrykket. En slik situasjon er mulig men betraktes som lite sannsynlig.

Støtkrefter fra drivis er beregnet på bakgrunn av formler i Håndbok 185. I følge NVE (se /1/) er isoppstuvning vanlig i flere deler av Målselva men, reguleringen har redusert potensialet for ødeleggelse på grunn av isgang ved Moen/Olsborg. Dannelse av isdammer høyere opp i elveløpet har forekommet.

Ettersom vannhastigheten oppstrøms akse 3 og 4 er lavest, vil isgang under en flomtopp pakke seg mest her. Kraften dette påfører brua er vanskelig å beregne, men formler fra Hb. 185 indikerer at denne kan bli stor.

På grunn av usikkerheten rundt størrelsen på islast fra drivis anbefaler vi at brua heves.

Referanser

1. Flomsonekart. Delprosjekt Karlstad, Moen, Rundhaug og Øverbygd. Øyvind Lier, Dokument nr. 12, 2001
2. Flomsonekartprosjektet, Flomberegning for Måselvvassdraget, Roger Sværd. Dokument nr. 21 2001.
3. Flom – og vannlinjeberegninger for E6 Måselv bru i Olsborg. Oppdragsrapport B 28-2012 Utarbeidet av Seija Stenius, NVE 2012
4. Notat utarbeidet av Trond Stigum Måselv bru nr. 19-0862, Kontroll av lager m.h.p. flomsituasjon.