


Avgitt august 2023

RAPPORT VEI 2023/03

Delrapport 1

Kollapsen av Tretten bru i Øyer kommune 15. august 2022

 *English summary included*

Statens havarikommisjon (SHK) har utarbeidet denne rapporten utelukkende i den hensikt å forbedre trafikksikkerheten.

Formålet med Havarikommisjonens undersøkelser er å klarlegge hendelsesforløp og årsaksfaktorer, utrede forhold som antas å ha betydning for forebyggelsen av ulykker og alvorlige hendelser, og fremme eventuelle sikkerhetstilrådinge. Det er ikke Havarikommisjonens oppgave å ta stilling til sivilrettslig eller strafferettslig skyld og ansvar.

Bruk av denne rapporten til annet enn forebyggende trafikksikkerhetsarbeid skal unngås.

Innholdsfortegnelse

MELDING OM HENDELSEN	4
SAMMENDRAG	5
ENGLISH SUMMARY	7
OM UNDERSØKELSEN	9
1. FAKTISKE OPPLYSNINGER	11
1.1 Hendelsesforløp.....	11
1.2 Rivningsarbeid og berging av kjøretøy	16
1.3 Tekniske undersøkelser	18
1.4 Iverksatte tiltak	22
2. HAVARIKOMMISJONENS VURDERINGER OG VIDERE UNDERSØKELSER	24
2.1 Vurdering av hendelsesforløp og redningsarbeid	24
2.2 Vurdering av tekniske undersøkelser	24
2.3 Oppsummering og videre arbeid	25
3. SIKKERHETSTILRÅDINGER	27
VEDLEGG	28

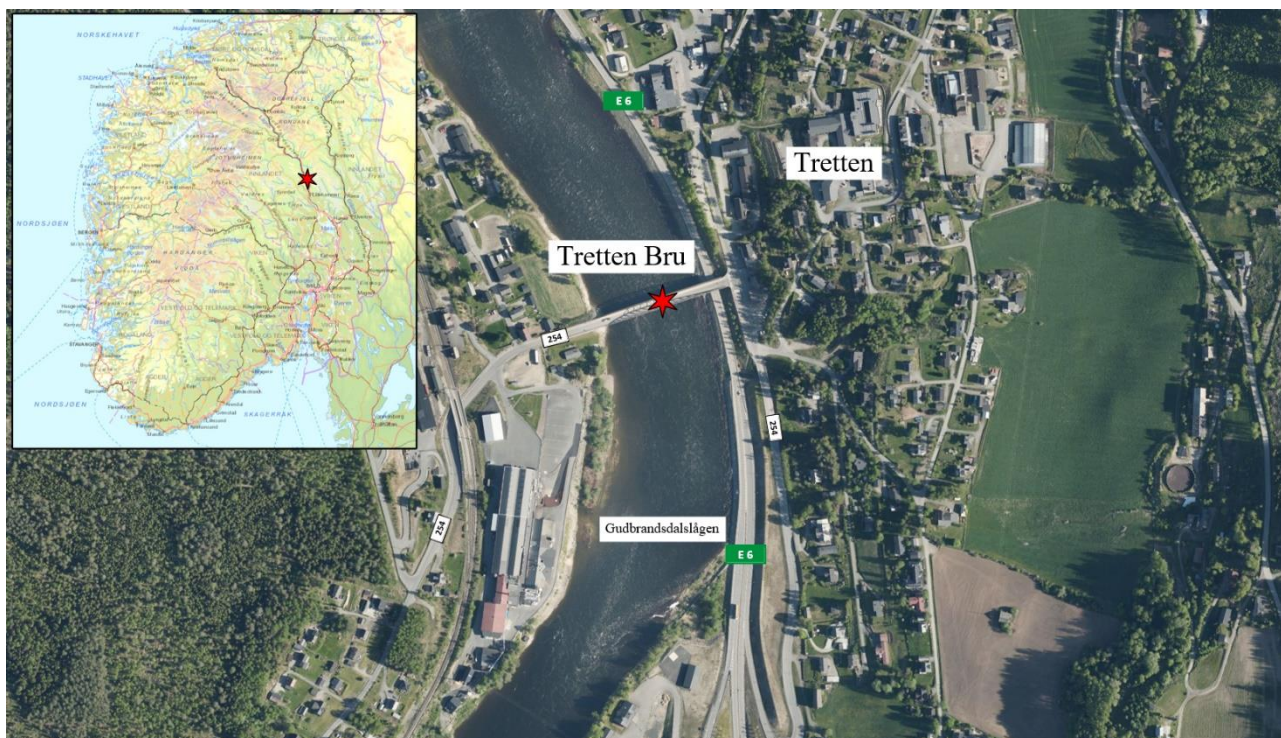
Melding om hendelsen

Tabell 1: Hendelsesdata

Dato:	15. august 2022
Tidspunkt:	Kl. 0733
Ulykkessted:	Tretten bru i Øyer kommune
Veinumner, hovedparsell, km:	Fylkesvei (fv.) 254 som krysser E6 og Gudbrandsdalslågen
Ulykketype:	Brukollaps

Statens havarikommisjon (SHK) ble varslet om brukollapsen fra politiet kl. 0838 om morgenen 15. august 2022. SHKs representanter ankom Tretten kl. 1430 (se figur 1), og startet innledende undersøkelser av brukollapsen.

SHK besluttet uka etter å iverksette en sikkerhetsundersøkelse av hendelsen, og overtok da ansvaret for den eksterne faggruppen som opprinnelig ble opprettet av Statens vegvesen og Innlandet fylkeskommune umiddelbart etter brukollapsen. Faggruppen har bestått av fagressurser fra Aas-Jakobsen, NTNU, SINTEF og SWECO, og faggruppen ledes av SHK.



Figur 1: Oversikt over Tretten bru. Kart/flyfoto: © Kartverket. Illustrasjon: SHK

Sammendrag

Innledning

Om morgenen 15. august 2022 kollapset Tretten bru og falt ned i Gudbrandsdalslågen og på E6, etter å ha vært i drift i om lag 10 år. SHK har sammen med en ekstern faggruppe gjennomført tekniske undersøkelser i tilknytning til kollapsen. Fordi det er viktig for samfunnet og for videre drift av eksisterende trebruene å få klarhet i de tekniske årsaksfaktorene til kollapsen, har SHK valgt å fremlegge resultatene fra dette omfattende arbeidet først i delrapport 1.

Hendelsesforløp og redningsarbeid

Det var ingen lokale forvarsel om at Tretten bru var i ferd med å kollapse før et vogntog og en personbil kjørte ut på brua kl. 0733 om morgenen. Det var først da vogntoget som kjørte østover var omtrent midtveis at brua begynte å bevege seg, noe som ble observert av føreren av personbilen som lå bak vogntoget. Føreren av personbilen evakuerte selv ut av kjøretøyet, mens føreren av lastebilen ble evakuert ved hjelp av helikopter. Ingen av de involverte trafikantene ble alvorlig skadet i hendelsen. At det kun var to kjøretøy på brua da den kollapset og ingen biler under brua på E6, var vesentlig for at skadeomfanget ikke ble større. Redningsarbeidet og bergingen ble også utført på en tilfredsstillende måte.

Hovedkonklusjon på tekniske undersøkelser

En rekke hypoteser til årsaken til kollapsen har blitt undersøkt av den eksterne faggruppen basert på eksterne innspill og tilgjengelig grunnlagsmateriale, samt egne undersøkelser og testing av elementer fra kollapset bru. SHK har fulgt opp faggruppens arbeid tett og kontinuerlig, og stiller seg bak faggruppens konklusjoner.

Fra dette arbeidet synes den mest sannsynlige årsaken til kollapsen å være såkalt blokkutrivning¹ i en av diagonalelementene av tre nær elfevundamentet i vestre del av elva. Denne konklusjonen støttes av utførte etterregninger av kapasiteten i gjeldende knutepunkter i aktuelle diagonaler, av beregnede kollapsscenarioer, av vitneobservasjoner, samt av vurderinger av billedmateriale og bruelementer fra etter kollapsen.

En slik bruddform kan teoretisk utløses av en momentan overbelastning fra trafikk eller fra en gradvis svekkelse av kapasiteten på grunn av gjentagende tung belastning fra trafikk (såkalt *utmattning*), ev. sammen med andre effekter. Ut fra kjent informasjon om tunge kjøretøy på brua, og tatt i betraktning at det var en relativt lav belastning på brua ved kollapsen, er det overveiende sannsynlig at aktuelt bruddsted har vært utsatt for svekkelse over tid.

Etterregning av knutepunktene i aktuelt område viser en klar overutnyttelse av kapasiteten i forhold til gjeldende regelverk for prosjektering, og den aktuelle bruddformen er blokkutrivning. Dette er en bruddform som gjeldende regelverk krever at det skal sjekkes for, men som ikke ble omhandlet i regelverket som lå til grunn for prosjekteringen av Tretten bru. Etterregningen etter nytt regelverk gir en utnyttelsesgrad på godt over 200 % i forhold til kapasitet i bruddgrensetilstand. Dimensjonerende bruddgrensetilstand inkluderer sikkerhetsfaktorer både på last og motstand. En utnyttelsesgrad av denne størrelsesorden indikerer at brudd kan skje for de største dimensjonerende vogntog, eller en samling av flere slike. Det er imidlertid ingenting som tyder på at brua har vært utsatt for en slik belastning direkte forut for kollapsen.

¹ Blokkutrivning er en momentan bruddform som oppstår mellom tredel og stål/dybler ved knutepunkt. En «blokk» med treverk blir sittende igjen imellom dyblene i knutepunktet.

Belastningen på brua da den kollapset, var betydelig lavere enn det den var prosjektert for. Det er derfor sannsynlig at kritiske deler av brua var degradert som følge av utmatting i treet. En etterregning av utmattingskapasiteten i aktuelle knutepunkt basert på antatt omfang av tungtrafikk bekrefter at dette er et sannsynlig scenario.

Etter kollapsen av Perkolo bru i 2016, etterregnet Statens vegvesen Tretten bru etter gjeldende regelverk med kontroll mot blokkutring. Man fant da de samme overutnyttelsene som ekstern faggruppe har beregnet, og anbefalte at brua ble forsterket på disse punktene. En slik forsterkning ble aldri gjennomført. SHK er kritisk til at Statens vegvesen ikke fulgte opp dette i tilstrekkelig grad da ingen tiltak eller restriksjoner ble iverksatt.

SHK mener at kollapsen av Tretten bru synliggjør nødvendigheten av blokkutring som kontroll ved prosjektering av trekonstruksjoner. Med bakgrunn i dette fremmer SHK en sikkerhetstilråding om etterregning og kontroll av eksisterende trebruer mot blokkutring.

Videre undersøkelser

Delrapport 2 vil ha fokus på bruforvaltning og oppfølging av Tretten bru gjennom bruas livsløp, med utgangspunkt i hovedfunnene som er identifisert gjennom de tekniske undersøkelsene.

English summary

Introduction

On the morning of 15 August 2022, Tretten Bridge in Norway collapsed and fell into the river of Gudbrandsdalslågen and onto the E6 highway, after having been in operation for approx. 10 years. The NSIA, together with an external expert group, has carried out technical investigations with respect to the collapse. Due to the fact that it is important for society and for the continued operation of existing timber bridges to clarify the technical reasons for the collapse, NSIA has chosen to present the results from this extensive work in sub report 1.

Sequence of events and rescue work

There was no local warning that the Tretten bridge was about to collapse before a lorry and a passenger car drove onto the bridge at 07:33 in the morning. It was only when the lorry traveling east was about halfway across the bridge that the bridge started to deform, which was observed by the driver of the passenger car behind the lorry. The driver of the passenger car evacuated the bridge, while the driver of the lorry was evacuated with the help of a helicopter. None of the persons involved were seriously injured in the incident. The fact that there were only two vehicles on the bridge when it collapsed and no cars under the bridge on the E6 highway was essential to the extent of the consequences not being more severe. The rescue work was also carried out in a satisfactory manner.

Main conclusion of technical investigations

A number of hypotheses for the cause of the collapse have been investigated by the external expert group based on external input and available background material, as well as their own investigations and various testing of elements from the collapsed bridge. The NSIA has followed up the professional group's work closely and continuously, and fully supports conclusions of the expert group.

From this work, the most likely cause of the collapse appears to be so-called "block shear failure"² in one of the timber diagonal members near the river foundation in the western part of the river. This conclusion is supported by post-calculations of the capacity in the current connections in relevant diagonals, by calculated collapse scenarios, by witness observations, as well as by assessments of visual material and bridge elements from after the collapse.

Block shear failure as a form of fracture, can theoretically be triggered by a momentary overload from traffic, or from a gradual weakening of the capacity due to repeated heavy loading from traffic possibly together with other secondary effects (so-called fatigue). Based on known information about heavy vehicle traffic on the bridge, and based on the sequence of events prior to the collapse, it is predominantly likely that the fracture location in question has been exposed to weakening over time.

Calculation of potential fracture-connection in the relevant area shows a clear overutilization of the capacity in relation to the current design rules for timber structures. However, this set of rules had not been made applicable to the project at the time for designing Tretten Bridge. The failure mechanism in question was thus not checked for at that time. The control calculation gives a utilization rate of approx. 200% in relation to failure, including built-in safety factors in the

² Block shear failure is a momentary form of fracture that occurs between the wooden part and the steel/dowels in multiple dowel-type steel-to-timber connections. A "block" of wood remains between the dowels in the connection.

regulations. A utilization factor of this order of magnitude indicates that a breach can occur for the largest dimensioning lorries or a collection of several such. However, there is no indication that the bridge has been subjected to such a load directly prior to the collapse.

The load on the bridge when it collapsed was significantly lower than what it was designed for. It is therefore likely that critical parts of the bridge were degraded as a result of fatigue in the timber. A calculation of the fatigue capacity at the connection in question based on the assumed volume of heavy traffic confirms that this is a likely scenario.

After the collapse of Perkolo Bridge in 2016, Tretten Bridge was re-calculated according to the current rules with check against block shear failure by the Norwegian Public Roads Administration. The same overutilization as calculated by the external expert group were then found, and it was recommended that the bridge should be strengthened at these connections. Such a strengthening was never implemented. The NSIA is critical that the Norwegian Public Roads Administration did not follow this up sufficiently as no measures or restrictions were implemented.

The NSIA believes that the collapse of Tretten Bridge highlights the necessity of performing block shear failure controls in the design of timber structures. With this as a background, NSIA issues a safety recommendation on recalculation and control of existing timber bridges against block shear failure.

Further investigations

Sub report 2 will focus on bridge management and follow-up of Tretten bridge throughout the bridge's life cycle, based on the main findings identified through the technical investigations.

Om undersøkelsen

Formål og metode

Hensikten med denne undersøkelsen har vært å klarlegge hvordan og hvorfor Tretten bru kollapset. Videre har SHK utredet hva som kan bidra til å øke sikkerheten, og forhindre lignende hendelser og skadeomfang i fremtiden.

Hendelsen og omstendighetene rundt denne er undersøkt og analysert i tråd med SHKs sikkerhetsfaglige rammeverk og analyseprosess for systematiske undersøkelser (NSIA-metoden³).

Informasjonskilder

SHKs undersøkelse bygger i hovedsak på følgende kilder:

- Foto og videoopptak av brua
- Politidokumenter
- Intervjuer med involverte trafikanter
- Tekniske undersøkelser av elementer fra brua
- Modelleringer og statiske beregninger
- Informasjon og dokumentasjon innhentet fra Statens vegvesen, Innlandet fylkeskommune, Norconsult, Moelven Limtre AS, Norsk Treteknisk Institutt, NTNU og Insar NGU
- Intervjuer med involverte parter
- Trafikkdata og data om spesialtransporter fra Statens vegvesen
- Prosjekteringsstandarder, veinormaler og håndbøker

Undersøkelsesrapporten

Denne delrapporten formidler resultatene fra SHKs tekniske undersøker av brukollapsen på Tretten. Fordi det er viktig for samfunnet og for videre drift av eksisterende trebruer å få klarhet i de tekniske årsaksfaktorene til kollapsen, har SHK valgt å fremlegge resultatene fra dette omfattende arbeidet først i delrapport 1.

Opplysninger relatert til organisatoriske og systemiske faktorer av betydning for brukollapsen vil bli inkludert i andre delrapport. Delrapport 2 vil fokusere på bruforvaltning og oppfølging av Tretten bru gjennom bruas livsløp. Det kan imidlertid ikke utelukkes at innhenting av ytterligere informasjon og videre analyser kan avdekke behov for å revidere deler av delrapport 1.

For delrapport 2 gjenstår noe arbeid med kvalitetssikring av faktainformasjon, analyse og konklusjoner før rapporten kan sendes på eksternt gjennomsyn og publiseres. Undersøkelsens omfang og kompleksitet medfører at SHK ikke kan anslå en dato for utgivelse av andre delrapport. Undersøkelsen vil fortsette med et høyt aktivitetsnivå.

³ NSIA – Norwegian Safety Investigation Authority. Se <https://havarikommisjonen.no/Om-oss/Metodikk>.

1. Faktiske opplysninger

1.1 Hendelsesforløp	11
1.2 Rivningsarbeid og berging av kjøretøy	16
1.3 Tekniske undersøkelser	18
1.4 Iverksatte tiltak	22

1. Faktiske opplysninger

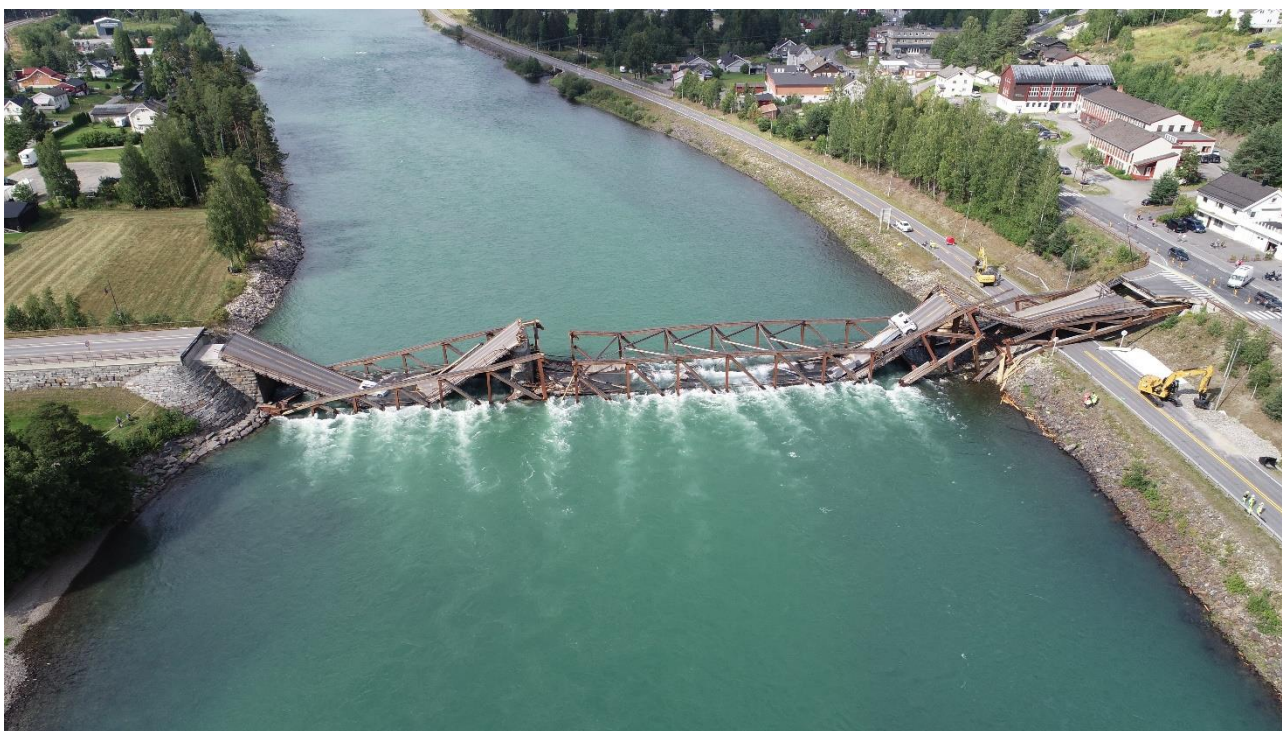
1.1 Hendelsesforløp

1.1.1 FORLØPET TIL KOLLAPSEN

Tretten bru var en fagverksbru i limtre og stål, og ble bygget av Statens vegvesen i 2012 som en del av prosjektet E6 Øyer–Tretten. Brua førte fylkesvei (fv.) 254 over Gudbrandsdalslågen og E6. Innlandet fylkeskommune eide, administrerte og vedlikeholdt brua⁴. Brua kollapset etter å ha vært i drift i om lag ti år og to måneder.

Om morgenen mandag 15. august ca. kl. 0730 var fv. 254 og Tretten bru åpen for normal trafikk. Tidspunktet tilsa en del trafikk over Tretten bru, da det for flere var første arbeidsdag etter sommeren. På E6, som gikk under Tretten bru på vestsiden, var det normal trafikk i begge retninger.

Retten før kollapsen var det ingen vestgående trafikk på brua, men på østsiden kom et vogntog etterfulgt av en personbil. Brua kollapset med kun disse to kjøretøyene på, og ingen kjøretøy på E6 direkte under brua. Brua kollapset i flere sekvenser, men brudekket forble intakt der kjøretøyene ble stående på brua. Vogntoget var i fart, mens personbilen hadde stoppet da kollapsen begynte. Innkommende trafikk stoppet før de kjørte inn på brua. Ingen av kjøretøyene ble fanget av vannmassene der temperaturen var på rundt 15 °C og vannføringen rundt 370 m³/s.



Figur 2: Tretten bru med to kjøretøy på brua etter kollapsen sett fra sør. Foto: SHK

⁴ Som følge av Regionreformen ble administrasjonen av fylkesveippgaver overført fra Statens vegvesen til fylkeskommunene fra 1. januar 2020.

1.1.2 BRUKKOLLAPESEN FOR DE INVOLVERTE

1.1.2.1 Føreren av lastebilen

Lastebilføreren har opplyst at han skulle levere landbrukskalk, og kjørte i denne forbindelsen østover på Tretten bru ca. kl. 0733 om morgenen 15. august. Vogntoget var en fireakslet lastebil med en toakslet kjerretilhenger. Det var fullastet og beregnet totalvekt på vogntoget var omkring 50 tonn⁵.

Føreren har forklart at han kjente vibrasjoner da han hadde kjørt et stykke ut på brua. Han har selv vurdert at han la merke til vibrasjonene før lastebilen og tilhengeren hadde passert det midterste bruelementet. Føreren trodde at vibrasjonene skyldtes at det ene dekket på lastebilen hadde punktert. Han kjørte litt videre på brua, og observerte da at brua begynte å riste og «bølge» opp og ned, først til høyre og så til venstre, gjentakende ganger. Han opplevde deretter at brua kollapset og at lastebilen og tilhengeren fulgte med brua nedover. Vogntoget ble deretter stående stille i en oppoverbakke på brua (se figur 3).



Figur 3: Sluttposisjon til vogntoget på den kollapsede brua og berging av føreren via luftambulans og redningsmann. Foto: NTB

Føreren så etter en mulighet for å evakuere kjøretøyet, men ble sittende inne i førerhuset, da han vurderte at en trygg evakuering ikke var mulig. Politiet fikk opprettet kontakt med føreren av lastebilen, og signaliserte til vedkommende at hjelp var på vei. Føreren hadde deretter kontinuerlig telefonisk kontakt med innsatslederen i politiet mens han satt inne i lastebilen. Han ble evakuert ut av førerhytta ved hjelp av luftambulansens redningsmann ca. kl. 0855 – om lag 1,5 time etter at brua hadde kollapset.

Lastebilføreren har videre forklart at han hadde kjørt over brua med både lastebil og personbil om lag en uke før brukollapsen. Han la på dette tidspunktet ikke merke til noen bevegelser i brua.

⁵ Vogntoget lastet opp 28,1 tonn kalkdolomitt kl. 0634 samme dag, og registrert egenvekt på vogntoget med fører var 21 585 kg.

1.1.2.2 Føreren av personbilen

Personbilføreren kjørte østover Tretten bru i forbindelse med transport til jobb. Hun ble liggende bak vogntoget som var et godt stykke ut på brua da den kollapset.

Personbilføreren har forklart at hun hverken så eller hørte noe unormalt i forkant av at hun kjørte ut på brua, og hun fikk ingen forvarsel på brukollapsen. Føreren av personbilen hørte høye lyder og kjente at underlaget til brua «sviktet» i det bilen kjørte ut på brua. Hun så samtidig at underlaget til brua gikk ned og «ble borte» bak vogntoget som kjørte lenger fremme på brua, og at bruddkanten bak vogntoget og foran egen bil etablerte seg. Føreren stoppet og var i ferd med å rygge, men på dette tidspunktet ble bilen med ned, sammen med den kollapsede brua.

Ved bilens sluttposisjon etter kollapsen lå en planke fra gangbrudekket under bilen og venstre bakhjul. Dette indikerer at bilen var i luften på vei ned. Personbilen ble stående på alle fire hjulene oppå brudekket etter sammenstøtet med bakken, som på dette tidspunktet lå på nivå med Gudbrandsdalslågen (se figur 4).



Figur 4: Personbilens sluttposisjon på den kollapsede brua og fluktvei til personbilføreren (rød linje).
Foto/illustrasjon: SHK

Det begynte å strømme vann inn i personbilen, og føreren vurderte at hun måtte evakuere ut av bilen så raskt som mulig. Hun kom seg ut av personbilen og fikk tak i rekkverket til brua. Hun klatret bortover og oppover rekkverket på gangbrudekket og opp på vestsiden av brua. Det tok om lag tre minutter fra føreren evakuerte ut av kjøretøyet og frem til hun var oppe på vestsiden av brua.

Føreren av personbilen hadde kjørt daglig over Tretten bru uka før kollapsen, og hun hadde på disse kjøreturene hverken sett eller hørt noe som hun hadde reagert på.

1.1.3 VITNEOBSERVASJONER

Det har ikke tilkommet noen foto eller video av selve brukollapsen gjennom undersøkelsen. Politiet mottok flere varsler om brukollapsen fra vitner kort tid etter at hendelsen inntraff. Noen av disse vitneobservasjonene er oppsummert i de påfølgende punktene:

- En skolebuss passerte Tretten bru like før den kollapset. Føreren av skolebussen kjørte over brua, fra østsiden til vestsiden, og møtte føreren av lastebilen rett før brua kollapset. Føreren

av skolebussen la på dette tidspunktet ikke merke til noen unormale bevegelser på eller lyder fra brua da han kjørte over. Busselskapet har også opplyst at det ikke har blitt innrapportert noen hendelser eller observasjoner knyttet til brua før kollapsen.

- Et vitne kjørte sørover på gamle E6 gjennom Tretten sentrum, da han så at brua kollapset. Han var den første som ankom brua på østsiden. Vitnet la merke til at flere fugler lettet da han begynte å nærme seg brua. Han hørte deretter et høyt smell, og tenkte at lyden muligens skyldtes at et steinlass ble lesset av i nærheten. Da han svingte av veien og skulle kjøre over brua så han at denne hadde kollapset.
- To vitner stod på utsiden av Tine Meieriet, på vestsiden av Gudbrandsdalslågen, da brua kollapset. En av disse to vitnene har forklart at den første lyden han hørte før brua kollapset, var som om at en stor kvist knakk. Vitnet har videre beskrevet at brua så ut til å kollapse på midten først.
- Et vitne satte inne på kontoret på Tine Meieriet da brua kollapset. Han var også i kontakt med føreren av personbilen etter brukollapsen. Vitnet har forklart at han hørte et smell, og at det blinket i lysene inne i TINE sine lokaler. Han så deretter ut av vinduet, og så at brua hadde kollapset. Vitnet har presisert at smellet kom i forbindelse med at brua kollapset, og at dette ikke var en lyd som kom i forkant av selve kollapsen.
- Et vitne hadde kjørt over Tretten bru, fra østsiden til vestsiden, rett før kollapsen, og møtte føreren av lastebilen rett før brua kollapset. Han hørte deretter et voldsomt smell. Han kikket i speilet i personbilen, og så en støvsky bak seg. Vitnet stanset bilen og gikk ut av kjøretøyet. Han så da at brua hadde kollapset. Vitnet hadde ikke lagt merke til noen unormale bevegelser, i form av gynging eller vibrasjoner, da han kjørte over brua.
- Et vitne kjørte nordover på E6, og hadde akkurat passert under brua da den kollapset. Vitnet hørte en rar lyd i det han kjørte under brua. Han har selv beskrevet lyden som en tippbil som tippet et lass med stor stein. Vitnet så deretter i speilet i personbilen, og observerte at brua hadde kollapset bak han. Han så også at en lastebil med tilhenger stod på brua. Vitnet har selv vurdert at brua kollapset over E6 før den midtre delen av brua kollapset. Vitnet har videre beskrevet at brua kollapset svært raskt.
- Et vitne hadde kjørt over brua, fra østsiden til vestsiden, like før brua kollapset. Han parkerte utenfor Tine Meieriet da brukollapsen inntraff. Vitnet hørte deretter noen lyder, og så bort mot brua. Han observerte da at brua kollapset. Det kom mye støv fra brua, og vitnet kunne ikke identifisere hvor brua kollapset først. Vitnet la ikke merke til noen unormale bevegelser på eller lyder fra brua da han kjørte over.
- Et vitne kjørte bak personbilen i forkant av brukollapsen. Han klarte å stanse bilen om lag 10 meter før innkjørselen til brua på vestsiden, da han innså at brua var i ferd med å kollapse. Vitnet la merke til, da han var ca. 15–20 meter fra brukanten, at det var noen bevegelser i asfaltdekket på brua. Vitnet har beskrevet disse bevegelsene som «bølger» som gikk opp og ned, og at hele veidekket beveget seg både i bredden og i lengden. Han observerte deretter at «trebuene» som gikk over brua knakk. Det kom en støvsky, og hele brua kollapset. Vitnet har videre beskrevet at alle elementene av brua datt ned samtidig, og at veidekket ikke «vred seg» i kollapsen. Vitnet har også beskrevet at hele kollapsen var over i løpet av noen få sekunder. Vitnet hverken så eller hørte noe unormalt før brua kollapset.

1.1.4 INNSATSARBEID

Hendelsesloggen til politiet beskriver at følgende tiltak ble iverksatt like etter brukollapsen:

KI. 0733 ble politiet varslet om brukollapsen av et vitne. Vitnet opplyste om at en personbil hadde havnet i elva, og at en lastebil med tilhenger stod 45° ut i vannet (stod på «halv tolv» på brua). Politipatruljer fra Lillehammer, Midt-Gudbrandsdal og Gjøvik ble deretter sendt til stedet. Politiet sendte også fire etterforskere til stedet for å gjennomføre vitneavhør.

KI. 0739 mottok politiet melding om at føreren av en lastebil som stod på brua trolig ikke var kommet seg ut, og at vedkommende fortsatt satt inne i førerhytta.

KI. 0753 meldte politiet at de ved bruk av kikkert ikke kunne se noen personer inne i personbilen, men at dette måtte verifiseres nærmere.

KI. 0759 ble VTS og Innlandet fylkeskommune varslet om brukollapsen av Hafjell Maskin.

KI. 0802 ble føreren av personbilen tatt hånd om av ambulanspersonell. Det ble på dette tidspunktet også bekreftet at det kun var én person i personbilen.

KI. 0803 meldte politiet at det var satt opp sperringer med bånd mot nord og sør på veinettet. Det ble også satt opp gjerdar langs med og mot fylkesvei 254, da trafikken fra E6 ble omdirigert gjennom Tretten sentrum.

KI. 0804 stengte VTS Øyertunnelen i nordgående løp.

KI. 0813 ble føreren av lastebil oppringt av brannvesenet, og fikk beskjed om å sitte rolig inne i kjøretøyet frem til han ville bli evakuert med helikopter.

KI. 0830 ankom Viking Tretten for å bistå i berging av kjøretøyene på brua.

KI. 0835 forberedte luftambulansen redningsoperasjon av lastebilføreren fra østsiden av brua, og det ble opprettet kontakt med føreren for å forberede han på evakuering.

KI. 0838 ble SHK varslet om brukollapsen.

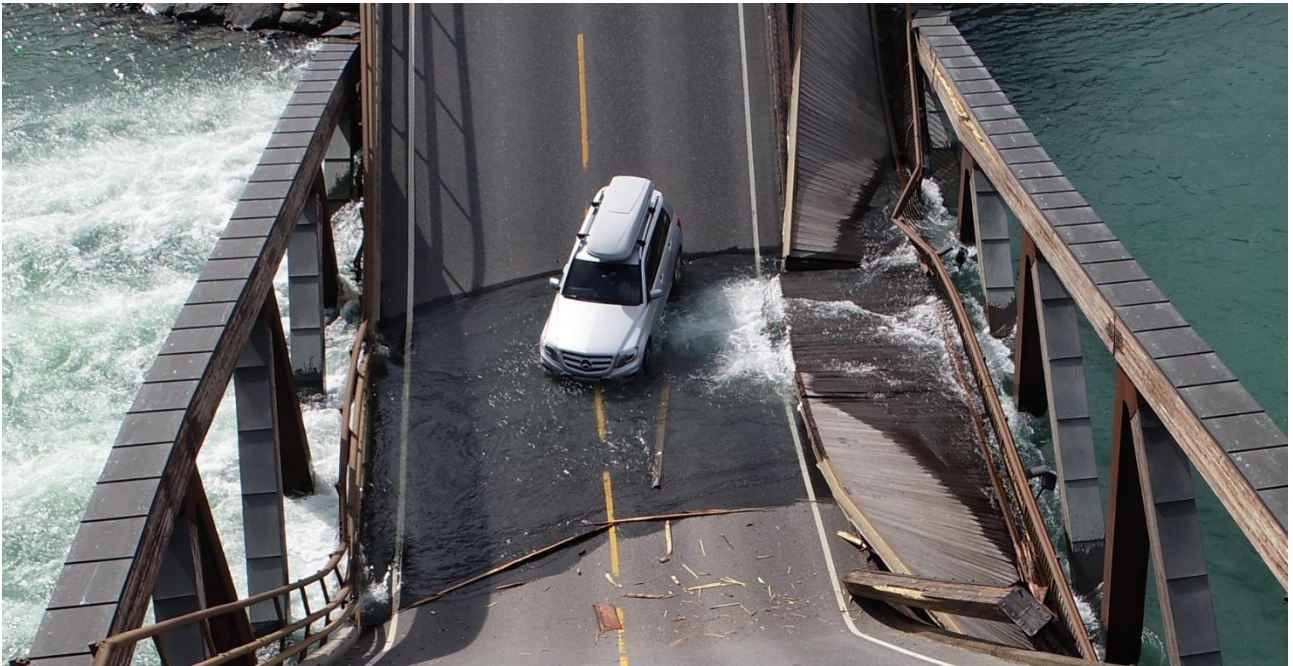
KI. 0847 var helikopteret i gang med å evakuere lastebilføreren ved hjelp av en redningsmann.

KI. 0855 ble det bekreftet at føreren var ute av lastebilen og evakuert vekk fra brua.

KI. 0909 kunne lastebilføreren bekrefte at personbilen, som kom kjørende bak lastebilen, var det eneste kjøretøyet, i tillegg til lastebilen, som var på brua da denne kollapset. Føreren kunne også bekrefte at han ikke hadde sett noen fotgjengere på brua i tidsrommet rett før brukollapsen.

KI. 0941 avsluttet alle luftressursene innsatsen på hendelsesstedet.

Flere enheter bistod med ressurser på hendelsesstedet i tillegg til personell fra politiet og ambulanse. Dette omfattet blant annet brannvesenet på Lillehammer og Tretten, luftambulans fra Ål og Lørenskog, redningshelikopter (Sea King) fra Rygge, Sivilforsvaret og Hafjell Maskin.



Figur 5: Personbilens plassering på den kollapsede brua. Foto: SHK



Figur 6: Lastebilens plassering på den kollapsede brua. Foto: SHK

1.2 Rivningsarbeid og berging av kjøretøy

Rivningsarbeidet ble ledet av Innlandet fylkeskommune som veieier. Som følge av et sterkt behov for å åpne E6, ble det prioritert å rive de delene fra brua som hadde falt over E6 på østsiden av Gudbrandsdalslågen først. Under rivningsarbeidet ble det, basert på innspill og vurderinger fra fagekspertene, foretatt en omforent og samordnet prioritering av hvilke deler som skulle sikres for nærmere tekniske undersøkelser basert på godkjente arbeidstegninger av brua. Delene ble

prioritert etter viktighet av å sikre delene så uskadet som mulig. Politiet ledet arbeidet med å sikre, lokalisere og registrere deler fra brua.

Som følge av bruas store dimensjoner, samt ivaretagelse av HMS for de som jobbet på stedet, var det ikke fysisk mulig å sikre alle delene fra brua på østsiden.

Onsdag 17. august ble fagverk og andre deler fra brua samlet, loggført og kjørt til egnet sted (se Figur 7 og Figur 8). Torsdag 18. august ble det brukt magneter i tau fra kurv med mobilkran oppstrøms og nedstrøms ved brupilarene ved akse 3 for å søke etter bolter som knyttet vertikalstavene til en tverrbærer festet til pilarene. Senere boltesøk ble utført med vannsikret gravemaskin-magnet. Boltene som ble funnet, ble sendt til SINTEF for analyse. E6 ble åpnet for trafikk om morgenen 26. august.

Tilsvarende vurdering og prioritering ble gjort for delene av brua på vestsiden av Gudbrandsdalslågen.

De delene av brua som var hele etter kollapsen, samt brudekket og gangbanen, ble ikke prioritert sikret.

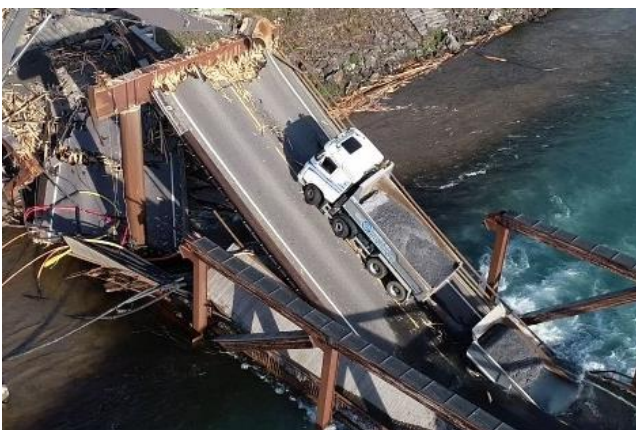


Figur 7: Området for loggføring og merking av innhentede deler før frakt. Foto: SHK



Figur 8: Transport av deler fra brua. Foto: SHK

Bergingen av kjøretøyene ble gjort i dagene etterpå. Personbilen ble løftet ut med mobilkran på vestsiden. Vogntoget ble berget gjennom å senke det ned langs brupilarene ved å klippe brudekket (se Figur 9 og Figur 10). Dette medførte blant annet ytterligere blokkutrivinger i fagverket. Etter dette ble det etablert en midlertidig anleggsvei, og vogntoget kjørte ut ved egen maskin og trekking fra bergingsbil.



Figur 9: Klipping av brudekket. Foto: SHK



Figur 10: Senking ned langs brupilarene. Foto: SHK

1.3 Tekniske undersøkelser

1.3.1 INNLEDNING

SHK har sammen med den eksterne faggruppen gjennomført tekniske undersøkelser i tilknytning til kollapsen av Tretten bru. Faggruppen har bestått av fagressurser fra Aas-Jakobsen, NTNU, SINTEF og SWECO, og faggruppen ble ledet av SHK. SHK har jobbet tett og kontinuerlig sammen med faggruppen.

I tilknytning til de tekniske undersøkelser har blant annet relevant teknisk materiale, videoer og bilder av brudeler, samt vitneobservasjoner, blitt gjennomgått. Det har i tillegg blitt utført statiske analyser av brua. Relevante innspill til tekniske årsaksfaktorer, som SHK har mottatt og fått kjennskap til underveis i undersøkelsen, har også blitt gjennomgått.

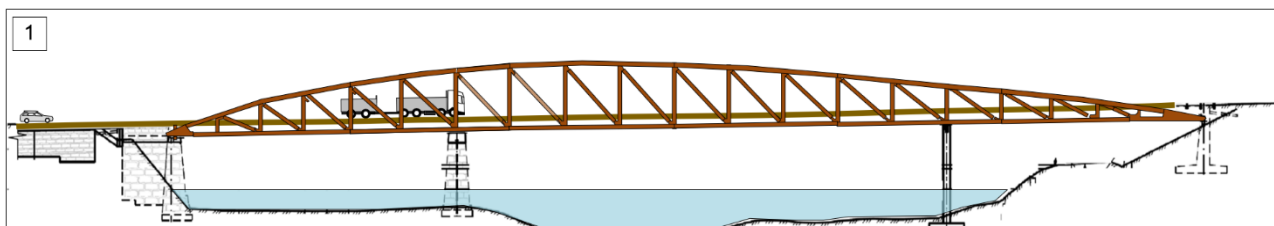
Det har vært krevende å avdekke de tekniske årsaksfaktorene til kollapsen av Tretten bru. Faggruppen har jobbet seg gjennom flere hypoteser for å kunne ekskludere ikke-relevante bruddmekanismer, ved å koble funn opp mot beregningsanalyser. Det kom betydelige følgeskader på brukonstruksjonen, både fra selve kollapsen, sammenstøtet med bakken og bergingsarbeidet, og det har vært utfordrende å skille disse fra hverandre.

I Vedlegg B presenteres faggruppens rapport og de tekniske undersøkelsene i sin helhet, med tilhørende resultater og konklusjoner. En stor del faktiske opplysninger som normalt finnes i en undersøkelserapport fra SHK, og som faggruppen også hadde behov for i sitt arbeid, er beskrevet i faggruppens rapport.

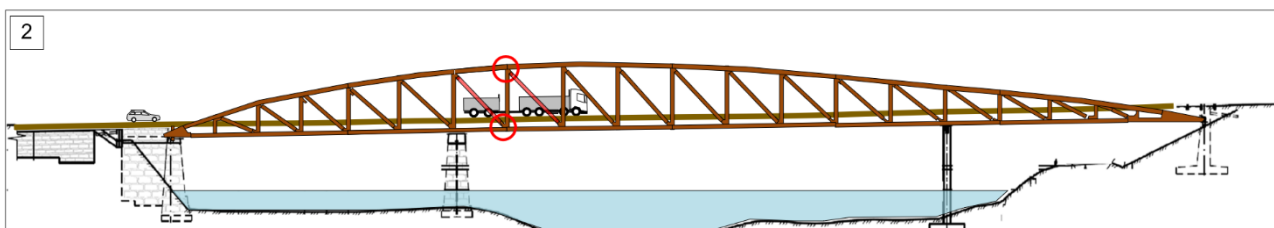
Nedenfor følger en kort beskrivelse av bruddinitiering og bruddrekkefølge, samt faggruppens hovedkonklusjon når det gjelder de tekniske årsaksfaktorene til brukollapsen.

1.3.2 BRUDDINITIERING OG BRUDDREKKEFØLGE

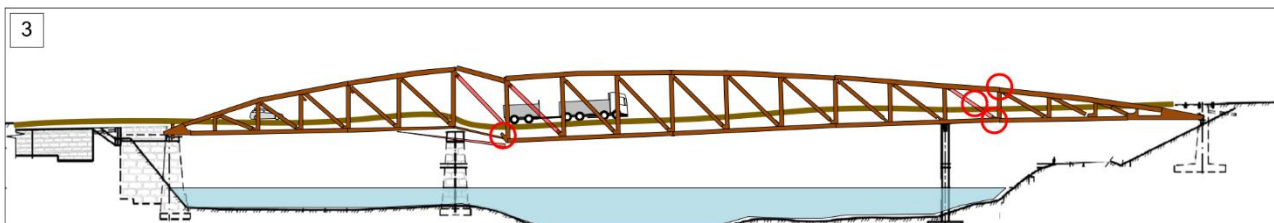
I dette kapittelet illustreres den mest sannsynlige bruddinitiering ved blokkutrivning⁶, og videre bruddrekkefølge i kollapsen av Tretten bru (se Figur 11 til Figur 17). Utdypende forklaring av dette er gitt i faggruppens rapport.



Figur 11: Bru før sammenbrudd. Illustrasjon: SHK

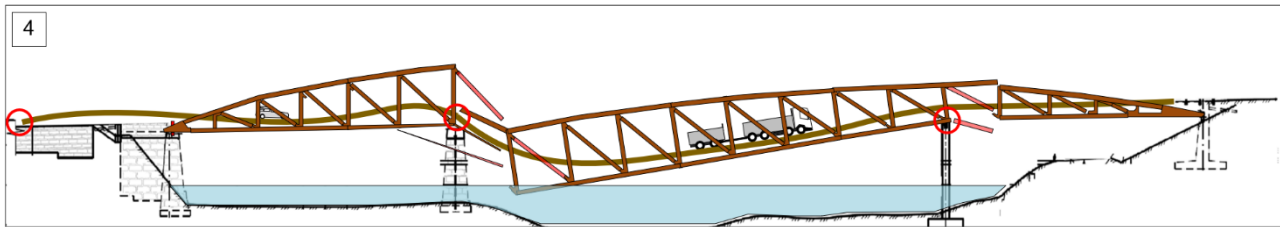


Figur 12: Sammenbrudd i knutepunkt i diagonal 6 eller 7. Illustrasjon: SHK

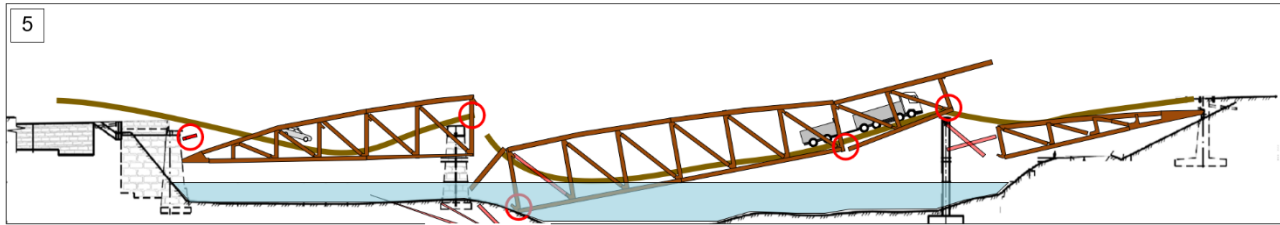


Figur 13: Brudd i undergurt ved akse 2 og i diagonaler og gurter øst for akse 3. Illustrasjon: SHK

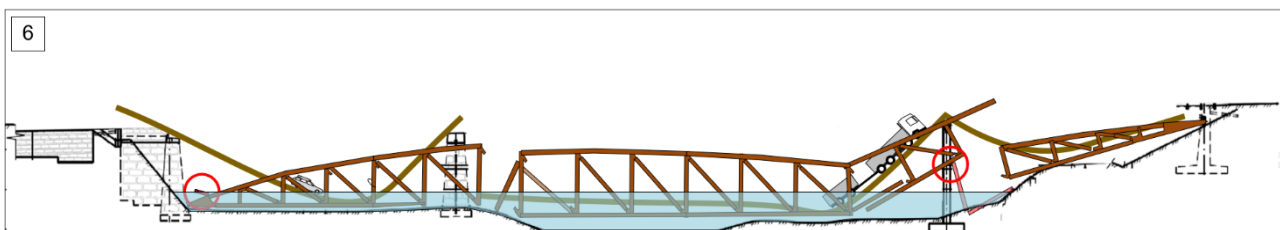
⁶ Blokkutrivning er en momentan bruddform som oppstår mellom tredel og stål/dybler ved knutepunkt. En «blokk» med treverk blir sittende igjen imellom dyblene i knutepunktet.



Figur 14: Brudd i diagonal 15 ved akse 3 og i innfesting av tverrbærer til søyler. Illustrasjon: SHK



Figur 15: Tverrbærer faller ned i akse 1 og 2. Brudd i dekket ved akse 2 og 3. Illustrasjon: SHK



Figur 16: Total kollaps av brua. Illustrasjon: SHK



Figur 17: Tretten bru 15. august 2022, kl. 1515. Foto: SHK

1.3.3 HOVEDKONKLUSJON

En rekke hypoteser til årsaken til kollapsen har blitt undersøkt av den eksterne faggruppen basert på eksterne innspill og tilgjengelig grunnlagsmateriale, samt egne undersøkelser og testing av elementer fra kollapset bru.

Fra dette arbeidet synes den mest sannsynlige årsaken til kollapsen å være såkalt blokkutrivning i en av diagonalelementene av tre nær elvefundamentet i vestre del av elva (se Figur 18). Denne konklusjonen støttes av utførte etterregninger av kapasiteten i gjeldende knutepunkter i aktuelle diagonaler, av beregnede kollapsscenarioer, av vitneobservasjoner, samt av vurderinger av billedmateriale og bruelementer fra etter kollapsen.

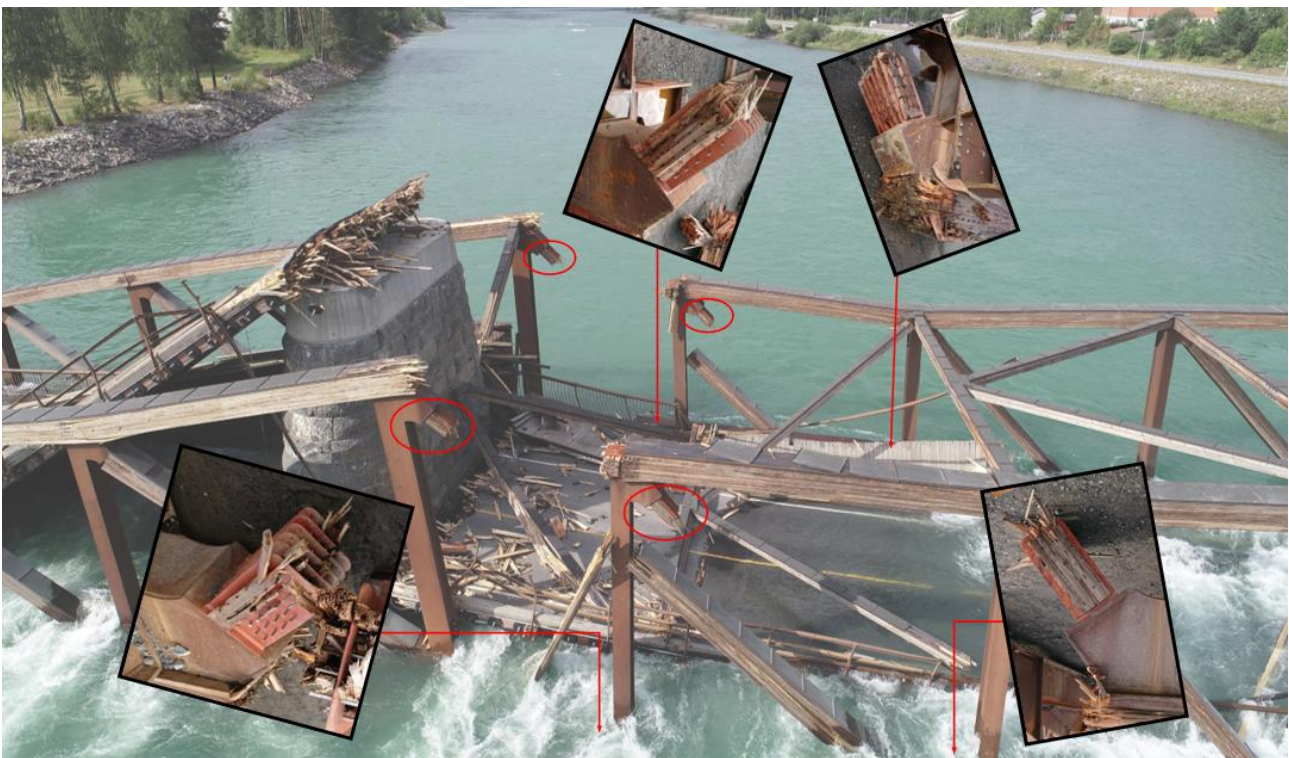
En slik bruddform kan teoretisk utløses av en momentan overbelastning fra trafikk eller fra en gradvis svekkelse av kapasiteten på grunn av gjentakende tung belastning fra trafikk (såkalt *utmattning*), ev. sammen med andre effekter. Ut fra kjent informasjon om tunge kjøretøy på brua, og tatt i betraktning at det var en relativt lav belastning på brua ved kollapsen, er det overveiende sannsynlig at aktuelt bruddsted har vært utsatt for svekkelse over tid.

Etterregning av knutepunktene i aktuelt område viser en klar overutnyttelse av kapasiteten i forhold til gjeldende regelverk for prosjektering, og den aktuelle bruddformen er blokkutrivning. Dette er en bruddform som gjeldende regelverk krever at det skal sjekkes for, men som ikke ble omhandlet i regelverket som lå til grunn for prosjekteringen av Tretten bru. Etterregningen etter nytt regelverk

gir en utnyttelsesgrad på godt over 200 % i forhold til kapasitet i bruddgrensetilstand. Dimensjonerende bruddgrensetilstand inkluderer sikkerhetsfaktorer både på last og motstand. En utnyttelsesgrad av denne størrelsesorden indikerer at brudd kan skje for de største lasttogene⁷, eller en samling av flere slike. Det er imidlertid ingenting som tyder på at brua har vært utsatt for en slik belastning direkte forut for kollapsen.

Belastningen på brua da den kollapset, var betydelig lavere enn det den var prosjektert for, eller som den beviselig har vært utsatt for tidligere. Faggruppen finner det derfor overveiende sannsynlig at kritiske deler av brua var degradert før kollapsen, og da trolig pga. utmatting. Den høye utnyttelsesgraden for statisk belastning tyder også på at knutepunktene, selv med moderat trafikk på brua, gjentatte ganger har fått en belastning som langt overgår det knutepunkt i trekonstruksjoner regelmessig skal utsettes for. Utmatting gir en uforholdsmessig raskere degradering ved høy belastning enn ved lav belastning. Den høye belastningen har dermed ført til en betydelig raskere degradering av kapasiteten enn det som hadde vært tilfelle dersom blokkutrivning hadde vært tatt hensyn til i prosjekteringen. En etterregning av utmattingskapasiteten i aktuelle knutepunkt basert på antatt omfang av tungtrafikk støtter oppunder dette som sannsynlig årsak til kollapsen.

Etter kollapsen av Perkolo bru i 2016⁸ ble Tretten bru etterregnet etter gjeldende regelverk av Statens vegvesen⁹. Man fant da de samme overutnyttelsene som ekstern faggruppe har beregnet, og anbefalte at brua ble forsterket på disse punktene. En slik forsterkning ble aldri gjennomført.



Figur 18: Blokkutrivning av diagonalene 6 og 7. Foto: SHK

⁷ Forskjellige idealiserte vogntog (lasttog) som er dimensjonerende etter Eurokode NS-EN 1991-2.

⁸ <https://www.vegvesen.no/globalassets/nyheter/bilder/komm/perkolo-bru---sluttfort-rapport.pdf>

⁹ <https://www.vegvesen.no/globalassets/nyheter/bilder/komm/kontroll-av-fagverksbruer-i-tre.pdf>

1.4 Iverksatte tiltak

SHK har underveis i undersøkelsen publisert to informasjonsskriv¹⁰ for å gi innsikt i deler av informasjonen som har blitt innhentet. Hensikten har vært å gi en kort oppdatering på utviklingen i de tekniske undersøkelsene og funnene som har blitt gjort. Informasjonsskrivene har basert seg på innhentede faktiske opplysninger, samt spor og sikrede deler fra brua, og har ikke inneholdt konklusjoner eller sikkerhetstilråinger.

SHK har hatt tett og kontinuerlig kontakt med Statens vegvesen gjennom den pågående undersøkelsen. Statens vegvesen ble gjort kjent med problemstillingen omkring blokkutring før publisering av informasjonsskriv nr. 2 som adresserte dette.

Statens vegvesen stengte i august raskt 14 trebruer av tilsvarende type som Tretten bru. For disse er det gjennomført spesialinspeksjoner og kontrollberegninger av kritiske elementer. Åtte av bruene er gjenåpnet med normal eller redusert trafikk, mens de siste seks må forsterkes før gjenåpning. Det er funnet ulike feil, mangler og avvik på flere av disse. Statens vegvesen har også stoppet arbeidet med den ene fagverksbrua som var planlagt – Tunna bru på riksvei 3 ved Tynset. Denne er nå omprosjektert og vil bli bygget på en annen måte¹¹.

¹⁰ SHKs informasjonsskriv nr. 1 publisert september 2022 og SHKs informasjonsskriv nr. 2 publisert desember 2022.

¹¹ <https://www.vegvesen.no/om-oss/presse/aktuelt/2022/12/blokkutring-etter-overbelastning-felte-tretten-bru/> (lest 03.08.2023).

2. Havarikommisjonens vurderinger og videre undersøkelser

2.1 Vurdering av hendelsesforløp og redningsarbeid	24
2.2 Vurdering av tekniske undersøkelser	24
2.3 Oppsummering og videre arbeid	25

2. Havarikommisjonens vurderinger og videre undersøkelser

2.1 Vurdering av hendelsesforløp og redningsarbeid

Undersøkelsen har vist at det ikke var noen lokale forvarsel om at Tretten bru var i ferd med å kollapse før de to kjøretøyene kjørte ut på brua kl. 0733 mandag morgen 15. august 2022. Det var først da vogntoget som kjørte østover var omtrent midtveis at brua begynte å bevege seg, noe som ble observert av føreren av personbilen som lå bak vogntoget fra østsiden.

SHK mener at det ikke var av uvesentlig betydning for skadeomfanget og overlevelsesaspektene at det kun var to kjøretøy på brua og ingen biler på E6 under brua da den kollapset. Måten brua kollapset på, uten vridning eller åpning i brudekket rundt kjøretøyene, samt at Gudbrandsdalslågen ikke var dypere enn et par meter, gjorde at det var mulig for personbilføreren å berge seg selv ved å klatre opp på vestsiden, og for vogntogføreren å bli hentet ut med helikopter. SHK mener at det både under, og rett etter kollapsen var fare for liv, men at begge førernes handlinger og personlige egenskaper i de ulike situasjonene de befant seg i rett etter kollapsen var med på å forhindre at skadeomfanget ble større.

Redningsarbeidet og bergingen av vogntogføreren ble utført på en tilfredsstillende måte som ikke satte personell som stod i beredskap langs vannet i unødig risiko. Bruk av redningsmann fra luftambulansen i denne situasjonen vurderes som den minst risikofylte bergingen av vogntogføreren.

2.2 Vurdering av tekniske undersøkelser

Faggruppens arbeid og rapport formidler resultatene fra de tekniske undersøkelsene av kollapsen av Tretten bru. SHK har fulgt opp faggruppens arbeid tett og kontinuerlig, og stiller seg bak faggruppens konklusjoner.

Trafikken på brua over ti år var lavere enn prosjektert trafikkmengde, og det er ikke funnet dokumentasjon og/eller bevis på transporter som har vært tyngre enn det som har vært lovlig å kjøre over brua. Undersøkelsen har vist at noen av knutepunktene med strekk hadde for liten kapasitet. Dette var som følge av for liten utstrekning på dybelgruppen på tvers av fiberretning. Resultatet ble at en blokk med tre ble trukket ut, såkalt blokkutrivning. Utnyttelsesgraden for diagonal 6 og 7 med tanke på blokkutrivning og dimensjonerende bruddgrensetilstand har vært i området 200 %.

Blokkutrivning har vært en kontroll i Eurokode 5 NS-EN 1995-1-1 siden 2004, men denne var ikke gjort gjeldende for prosjektering av Tretten bru. Den tidligere norske standarden NS 3470-1:1999, som Tretten bru var prosjektert etter, hadde ingen retningslinjer for kontroll mot blokkutrivning. Kontroll mot blokkutrivning er også beskrevet og gjeldende fra 1. januar 2022 i Vegnormal N400 Bruprosjektering. N400 beskriver at hensikten med å kontrollere for blokkutrivning er at denne bruddformen ikke skal «*være dimensjonerende for strekkforbindelser i hovedbæresystemet*». Med bakgrunn i dette fremmer SHK ingen sikkerhetstilråding relatert til regelverk eller standarder for prosjektering av trebruer.

SHK er kritisk til at Tretten bru ikke ble fulgte opp i tilstrekkelig grad av Statens vegvesen i 2016 da brua ikke ble forsterket og ingen andre tiltak eller restriksjoner ble iverksatt, basert på etterregningen etter gjeldende regelverk med kontroll for blokkutrivning. Det er imidlertid viktig å påpeke av kollapsen av Perkolo bru hadde en annen årsak (prosjekteringsfeil) enn kollapsen av Tretten bru.

Eksisterende fagverksbruer som Statens vegvesen stengte etter kollapsen av Tretten bru har gjennomgått omfattende kontrollberegninger mot blokkutrivning (se kapittel 1.4). Videre skal alle nye prosjekter for trebruer kontrolleres for blokkutrivning. Imidlertid har stål-tre knutepunkter med dybelforbindelser i strekk vært relativt vanlig i trekonstruksjoner lenge, og SHK utelukker derfor ikke at det også kan være behov for å kontrollere flere trebruer for blokkutrivning.

Som nevnt var det ingen lokale forvarsel i forkant av kollapsen av Tretten bru. Blokkutrivning er en momentan bruddform, og det var heller ingen mulighet for at visuelle inspeksjoner kunne avdekket at brua var nærme en kollaps. En kontroll for blokkutrivning sammen med teoretiske beregninger av utmatting i treverket, basert på en så reell trafikkbelastning som undersøkelsen har klart å finne gjennom 10 år, er med på å forklare hvorfor Tretten bru kollapse på det aktuelle tidspunktet.

SHK mener at kollapsen av Tretten bru synliggjør nødvendigheten av kontroll for blokkutrivning i Eurokode 5 NS-EN 1995-1-1. Med bakgrunn i dette fremmer SHK en sikkerhetstilråding om etterregning og kontroll av eksisterende trebruer mot blokkutrivning.

2.3 Oppsummering og videre arbeid

For delrapport 2 gjenstår noe arbeid med kvalitetssikring av faktainformasjon, analyse og konklusjoner før rapporten kan sendes på eksternt gjennomsyn og publiseres. Delrapport 2 vil ha fokus på bruforvaltning og oppfølging av Tretten bru gjennom bruas livsløp, med utgangspunkt i hovedfunnene som er identifisert gjennom de tekniske undersøkelsene:

- A. Tretten bru kollapse 15. august 2022 etter å ha vært i drift i ca. 10 år, mest sannsynlig som følge av blokkutrivning i en av diagonalelementene av tre nær elvefundamentet i vestre del av elva.
- B. Det er overveiende sannsynlig at aktuelt bruddsted har vært utsatt for svekkelse over tid (utmatting).
- C. Tretten bru var prosjektert etter den tidligere norske standarden som ikke hadde retningslinjer for kontroll mot blokkutrivning som bruddform.
- D. Etterregningen gir en utnyttelsesgrad på ca. 200 % i forhold til brudd i aktuelt område, inklusive innebygde sikkerhetsfaktorer i gjeldende regelverk.
- E. Tretten bru ble ikke fulgt opp i tilstrekkelig grad av Statens vegvesen i 2016 da brua ikke ble forsterket og ingen andre tiltak eller restriksjoner ble iverksatt.

3. Sikkerhetstilrådingar

3. Sikkerhetstilrådingar

Statens havarikommisjon fremmer følgende sikkerhetstilråding¹² som har til formål å forbedre sikkerheten:

Sikkerhetstilråding Vei nr. 2023/10T

Tretten bru kollapse 15. august 2022 etter å ha vært i drift i om lag 10 år, mest sannsynlig som følge av blokkutrivning i en av diagonalelementene av tre nær elvefundamentet i vestre del av elva. Det er overveiende sannsynlig at aktuelt bruddsted har vært utsatt for svekkelse over tid (utmattning). SHK mener at kollapsen av Tretten bru synliggjør nødvendigheten av kontroll for blokkutrivning i Eurokode 5 NS-EN 1995-1-1.

Statens havarikommisjon tilrår Statens vegvesen som veimyndighet å formidle til eiere av trebruer en anbefaling om å etterregne og kontrollere knutepunkt med strekk i fiberretning for blokkutrivning i henhold til Eurokode 5 NS-EN 1995-1-1, og iverksette hensiktsmessige tiltak ved funn av overutnyttelse.

Statens havarikommisjon
Lillestrøm, 14. august 2023

¹² Undersøkelserapporten oversendes Samferdselsdepartementet som treffer nødvendige tiltak for å sikre at det tas behørig hensyn til sikkerhetstilrådingene, jf. forskrift 30. juni 2005 nr. 793 om offentlige undersøkelser og om varsling av trafikkulykker mv. § 14.

Vedlegg

Vedlegg A Safety recommendations

The Norwegian Safety Investigation Authority proposes the following safety recommendation¹³:

Safety recommendation Road no. 2023/10T

Tretten bridge collapsed on 15 August 2022 after being in operation for about 10 years, most likely as a result of block shear failure in one of the wooden diagonal members near the river foundation in the western part of the river. It is predominantly likely that the fractured connection in question has been exposed to weakening over time (fatigue). The NSIA considers that the collapse of the Tretten bridge highlights the necessity of control for shear block failure in Eurocode 5 NS-EN 1995-1-1.

The Norwegian Safety Investigation Authority recommends the Norwegian Public Road Administration, as the road authority, to convey to owners of timber bridges a recommendation to calculate and check connections under tension in the fiber-direction for shear block failure in accordance with Eurocode 5 NS-EN 1995-1-1, and to implement appropriate measures if over-utilization is found.

¹³The investigation report is submitted to the Ministry of Transport, which will take necessary measures to ensure that due consideration is given to the safety recommendations, cf. the Regulations of 30 June 2005 No 793 on Public Investigation and Notification of Traffic Accidents etc. Section 14.

Vedlegg B Faggruppens rapport

Bidrag til sikkerhetsundersøkelse av brukollaps på Tretten
15. august 2022.

Vedlegget ligger på [Havarikommisjonens nettside](#).