

# HANGBRUGGEN IN NOORWEGEN

ir. J. Geerse

Het tijdschrift *Bruggen* jaargang 11 nummer 1 van maart 2003 is het themanummer “vaste oeververbinding Westerschelde” waarin veel aandacht wordt besteed aan hangbruggen. Hoewel hangbruggen in Nederland zeker geen bekend verschijnsel zijn, heeft HSM Steel Structures b.v. (HSM) als Nederlands bedrijf inmiddels ruime ervaring met het bouwen van “traditionele” hangbruggen. In het onderstaande artikel wordt aandacht besteed aan het hoe en waarom van het grote aantal hangbruggen in Noorwegen en de betrokkenheid van HSM bij de bouw hiervan in de laatste 10 jaar. In dit artikel wordt niet ingegaan op de techniek van het bouwen en ontwerpen van hangbruggen. Dit is uitgebreid aan de orde geweest in bovengenoemd themanummer.

## Waarom hangbruggen?

Noorwegen heeft een lange historie met het bouwen van hangbruggen over de vele daar aanwezige fjorden. Hoewel het niet zo eenvoudig is om na te gaan wat de reden is om te kiezen voor hangbruggen in plaats van andere brugtypes laat een aantal redenen zich eenvoudig raden. Ten eerste heeft Noorwegen de juiste geologische structuur om op relatief eenvoudige wijze de grote benodigde verankeringskrachten van de kabels over te brengen (zie kabelverankering hieronder) en in de tweede plaats zijn daar de fjorden diep, wat de mogelijkheden voor het bouwen van fundaties beperkt tot de oevers van de fjorden met als resultaat dat de overspanningen relatief groot zijn.

Bovenstaande overwegingen hebben mede geleid tot de populariteit van hangbruggen in Noorwegen. Ook nadat andere types brug (met name de tuibrug voor de grotere overspanningen en vrije voorbouw brug voor de kleinere overspanningen) door de verdere technische ontwikkelingen geschikt werden om de aanwezige overspanningen te overbruggen is de hangbrug zijn grote populariteit blijven behouden. Een belangrijke reden hiervoor is dat Statens Vegvesen (de Noorse Rijkswaterstaat) de historische ervaring met het ontwerp, de bouw



<http://www.connection.se/hoga-kusten/>

Afb.1 The High Coast bridge, verankering van de hoofdkabel (anchoring of main cable)

Weg type	Aantal	Overspanningen	Bouwjaren
Europese en Nationale wegen	41	Tussen 61 en 850 meter.	Tussen 1934 en 2006
Provinciale wegen	31	Tussen 53 en 201 meter	Tussen 1844 en 1976
Gemeentelijke wegen	20	Tussen 20 en 127 meter	Tussen 1928 en 1969
Privé wegen	4 (schatting)	Tussen 52 en 107	onbekend

Tabel 1. Hangbruggen verdeeld naar wegtype.

Afb. 2 Bakke Bru



en het onderhoud van hangbruggen kon optimaliseren en maximaal benutten. Verder worden hangbruggen door het publiek geaccepteerd als passend in het soms overweldigende Noorse landschap. Dit is waarschijnlijk een gevolg van de aanwezigheid van een groot aantal hangbruggen en de slankheid van de brugligger die het zicht slechts weinig verstoort.

Specifiek aan Noorse hangbruggen is dat ze in vergelijking tot hangbruggen in de rest van de wereld relatief smal zijn. Normaal zo'n 12 tot 13 meter. Dit geeft genoeg ruimte voor twee rijbanen en fiets/voetpad. Er zijn ook een aantal oudere bruggen met slechts één rijbaan. Het verkeer hierop wordt nu met een verkeerslicht installatie geregeld.

#### Kabelverankering

Voor vrijwel alle Noorse hangbruggen geldt dat de kabels verankerd zijn volgens de methode als aangegeven in afbeelding 1. Als de hoofdkabel bestaat uit 'locked coil' worden deze verankerd aan in de 'splay chamber' ingestorte ankerstangen, als de hoofdkabel vervaardigd is met behulp van 'aerial spinning' worden de draadbundels met behulp van 'standshoes' bevestigd aan deze ankerstangen. Het verankeringblok in de 'splay chamber' is relatief klein, veelal slechts enkele tientallen m<sup>3</sup> beton. Een aan de ankerstangen bevestigde voetplaat wordt doormiddel van voorspanstrengen verbonden met een in een 'anchor chamber' aangebracht tweede verankeringblok. Op deze manier wordt dus het complete aanwezige bergmassief tussen de beide ankerblokken gebruikt om als verankering te dienen. Overigens heeft afbeelding 1 betrekking op een hangbrug waarvan de kabels gevormd zijn met aerial spinning en betreft het een brug in Zweden (Hoga Kusten) die op bovenomschreven manier is verankerd.

#### Historie

Voor zover na te gaan is een van de eerste grotere in Noorwegen gebouwde hangbruggen de Bakke brug uit het jaar 1844 met een overspanning van 53 meter (Afb. 2.). De 'kabels' van deze brug zijn nog opgebouwd uit met pennen verbonden smeedstalen stangen zoals in die periode gebruikelijk.

Hierna zijn er nog vele hangbruggen met grotere en kleinere overspanningen gebouwd waarvan, zoals uit tabel 1 blijkt, er nu bijna 100 stuks in gebruik zijn.

De eerste in Noorwegen gebouwde hangbrug met gebruik van spiraal geslagen staalkabels dateert van het eind van de 19e eeuw. Deze bruggen waren opgebouwd uit een relatief, in vergelijking met de



slappe kabels, stijve brugligger. Een voorbeeld van een dergelijke brug is de Gulsvik brug uit 1905 met een overspanning van 97 meter (Afb. 3.).

Een aantal vergelijkbare bruggen werd gebouwd in de periode tot 1920. Omtrent die periode ligt ook het begin van de verdere ontwikkeling van hangbruggen voor de specifieke Noorse omstandigheden.

Deze ontwikkeling laat zich onderverdelen in drie periodes met voor elke periode specifieke hangbruggen.

### De 'slappe' hangbrug.

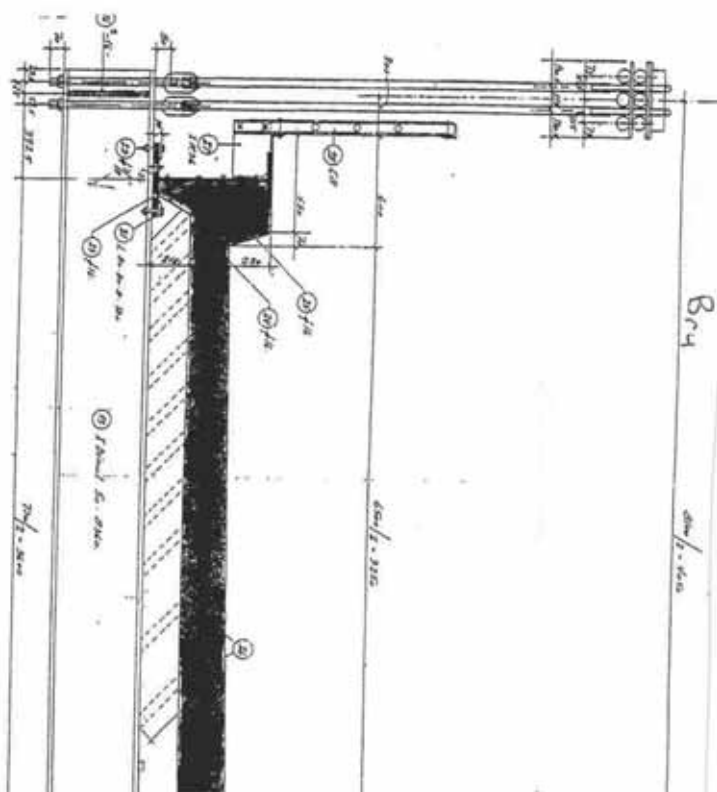
Onder leiding van Olaf Stang, hoofd van de bruggenafdeling van de Noorse Rijkswaterstaat (1912 tot 1939) werd dit brugtype ontwikkeld omdat naar zijn mening de 'stijve' hangbruggen voor de Noorse omstandigheden oneconomisch waren. Hij introduceerde een meer flexibel type hangbrug waarvan de brugligger was opgebouwd uit gewalste stalen balken, met daarop een wegdek van planken of in de meeste gevallen een betonnen wegdek dat door middel van deuvels verbonden is met de balken. Van dit type hangbrug zijn er in de periode 1920 tot de tweede wereldoorlog een veertigtal gebouwd. De laatste in 1937 de Fyksesund brug met een overspanning van 230 meter. Ook na de oorlog werden er nog vele bruggen van dit type gebouwd, naar men schat in totaal ongeveer 150, de laatste in 1965 de Sundfloen brug.

### De vakwerk hangbrug.

Door toename van de hoeveelheid verkeer en de grotere aslasten moest men constateren dat de rol van bovenomschreven 'slappe' hangbruggen was uitgespeeld. Er was sprake van aanzienlijke schade aan de structurele elementen, niet alleen als gevolg van overbelasting, maar ook als gevolg van mechanische slijtage veroorzaakt door de veelvuldige en grote vervormingen waaraan de bruggen waren blootgesteld. Stijvere hangbruggen met een als vakwerk opgebouwde brugligger voorzien van een betonnen wegdek werden geïntroduceerd om de ontwikkelingen van het verkeer te kunnen volgen. Ook de vraag naar grotere overspanningen vereiste stijvere en meer solide constructies.

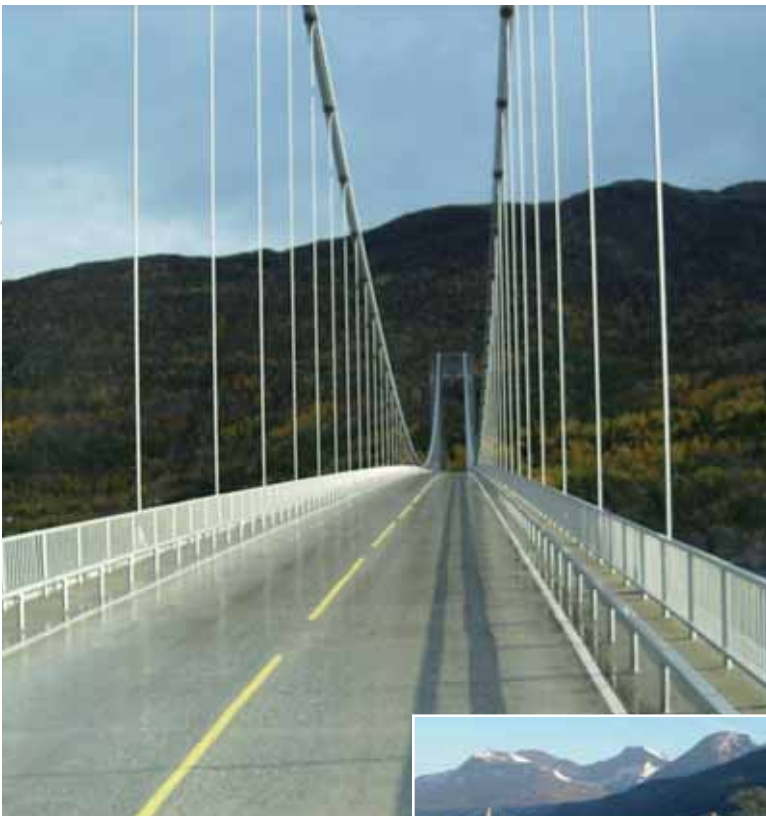
Het tijdperk van de vakwerk hangbrug begon in 1956 met de bouw van de Varoddbru (overspanning 337 meter) en eindigde met de Haglesundet bru in 1982. In totaal werden er 15 bruggen van dit type gebouwd met als grootste overspanning 525 meter, Skjomenbru en Kvalsunbru.

In dezelfde periode waren er natuurlijk ook ontwikkelingen op het gebied van de fabricage van de staalconstructies. De eerste brug werd uitgevoerd als een geklonken constructie, terwijl de laatste bruggen uitgevoerd werden als gelaste constructie. Ook op het gebied van de draag- en hangkabels deden zich ontwikkelingen voor. De spiraal geslagen kabels werden meer



(boven) Afb. 4. Detail van de bevestiging van de hangkabel aan het brugdek. (Vamma Bru)





Afb. 5. Skjomenbrua.



Afb. 3. Gulsvik Bru



en meer vervangen door de zogenaamde 'locked coil' kabels. Dit voornamelijk vanwege de betere bescherming tegen corrosie.

### De aerodynamische brugligger.

Onderzoek had uitgewezen dat, voor de typische smalle Noorse hangbruggen (2 rijbanen plus een voet/fietspad), de vakwerk hangbrug bij overspanningen groter dan 550 meter, op grond van statische- en windbelastingen, niet meer toegepast kon worden. In 1970 is de Noorse Rijkswaterstaat daarom onderzoek gaan doen naar een 'aerodynamische' hangbrug die geschikt was voor de typische smalle Noorse bruggen. De uitkomst van dit onderzoek is een gesloten kokerligger met een op een vliegtuigvleugel lijkende doorsnede. Men concludeerde dat het economische omslagpunt voor de keus tussen vakwerk hangbrug en kokerligger hangbrug bij ongeveer 500 meter overspanning lag. Intussen is ook om esthetische en onderhoud redenen het kokerbrug type ook bij hangbruggen met een kleinere overspanning favoriet. Deze ontwikkeling loopt gelijk aan de ontwikkeling van hangbruggen in de rest van Europa. In 1967 werd de eerste 'aerodynamische' hangbrug over de Severn in Groot-Brittannië gebouwd, waarna diverse andere bruggen volgden zoals: Lillebelt, Humber, Bosporus 1 & 2, Hoga Kusten, Great Belt etc. In het algemeen kan men zeggen dat dit type hangbrug nu wereldwijd het standaard type is geworden. Een uitzondering daarop is de Akashi brug in Japan en de tweede Tacoma brug. Bij deze laatste heeft men om esthetische redenen gekozen voor een vakwerkbrug omdat de bestaande brug ook zo is uitgevoerd. Overigens zijn er aan de Kvistibru en de bruggen in het Trekantsambandet project later spoilers aangebracht omdat de bruggen toch minder stabiel bleken te zijn. Hoewel de bewegingen niet tot schade zouden leiden waren deze toch zo groot dat ze oncomfortabel waren voor de gebruikers van de bruggen. Bij de later gebouwde en ontworpen bruggen (Feda en Hardanger) zijn deze spoilers al tijdens de bouw aangebracht.

### Nederlandse betrokkenheid bij Noorse hangbruggen.

#### *Kvistibru, later Osteroybru genoemd*

Tot begin jaren negentig was bruggenbouw in Noorwegen een Scandinavische aangelegenheid. Pas nadat Noorwegen besloot zich met overheidsaanbestedingen te conformeren aan de Europese regels is daar verandering in gekomen. In 1995 nam HSM kennis van de gepubliceerde uitnodiging tot deelneming aan een openbare aanbesteding van de Kvistibru. In die periode liep de betrokkenheid van HSM bij de fabricage van de Maeslantkering ten einde en nieuwe mogelijkheden werden gezocht. HSM besloot tot deelname aan de aanbesteding van deze brug. Omdat hangbruggen ook voor HSM toen een totaal onbekend vakgebied waren werd naarstig gezocht naar bedrijven die daarmee wel ervaring hadden maar niet betrokken bij deze aanbesteding. Nu zou men met Google op internet gaan zoeken maar internet was toen nog nauwelijks toegankelijk. Na het doornemen van allerlei publicaties over staal- en bruggenbouw kwam HSM terecht bij het



Oostenrijkse Waagner Biró. Zij werden bereid gevonden aan HSM een aanbieding te doen voor het bouwen van de 'catwalks' en het aanbrengen van de kabels. Naar later bleek was deze toezegging een soort éénmans actie van één hangbruggenhobbyist binnen Waagner Biró die niet erg door het management werd gedragen. Het eindresultaat van dit alles was dat HSM op basis van een eigen begroting, waarbij wel de specifieke kennis van Waagner Biró werd gebruikt, bij de aanbesteding van de brug laagste bleek te zijn. Het project is toen in eerste instantie niet gegund omdat de beschikbare budgetten waren overschreden, maar bij een nieuwe inschrijving op basis van vrijwel dezelfde documenten was HSM wederom laagste inschrijver. Op basis van deze tweede inschrijving is het project toen aan HSM gegund.

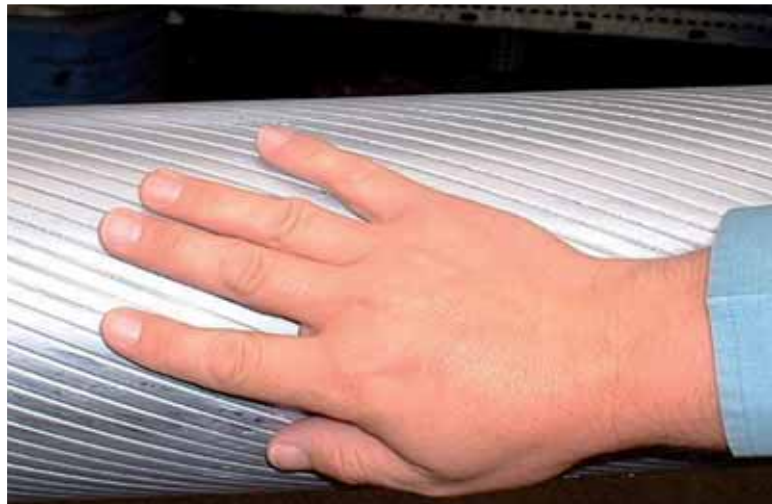
In de periode 1996 – 1998 is de Kvisti Bru door HSM zonder grote technische problemen gerealiseerd. De brugdelen zijn in Schiedam gefabriceerd. De kabels werden door de klant toegeleverd en zijn door HSM en haar onderaannemers geïnstalleerd. De kabels waren van het type 'locked coil' en behoorden toen met hun diameter van 110 mm, lengte van 1.100 meter en bijna 100 ton gewicht tot de grootste ter wereld. Installatie van de brugdelen is uitgevoerd met een hefportaal, afgesteund op de kabels en voorzien van strandlifts. Gedurende het project heeft HSM veel technische en lokale know how en goede relaties met zowel opdrachtgever als onderaannemers opgebouwd.

#### **Lysefjord project.**

In 1996 werd de aanbesteding voor de Lysefjord bru gehouden. Dit keer was HSM helaas niet succesvol bij de aanbesteding. De laagste inschrijver voor dit project was overigens ook een bedrijf met een Nederlandse achtergrond namelijk Heerema Tonsberg.

#### **Trekantsambandet project.**

In 1998 was het volgende project gereed voor aanbesteding het Trekantsambandet project. In dit project waren twee hangbruggen opgenomen met een overspanning van 700 (Stordabru) en 600 (Bømlabru) meter. Het bijzondere aan deze aanbesteding was dat dit keer niet alleen op de traditionele Noorse methode het beton- en staalwerk van de bruggen apart werd aanbesteed maar nu werden aannemers ook aangemoedigd in joint venture het gehele project aan te bieden. Daarnaast was er een ontwerp gemaakt voor twee types kabelconstructies, één bestaande uit 'locked coil' kabels en één gemaakt met 'aerial spinning'. Omdat bij HSM al ver voor de aanbesteding bekend was dat de eerder omschreven mogelijkheden aanwezig waren bij de aanbesteding zijn de volgende voorbereidingen getroffen. Allereerst is er een Noorse partner gezocht die zeer geïnteresseerd was in het betonwerk van de bruggen en in samenwerking. Daarnaast zijn we ons gaan verdiepen in 'aerial spinning' en hebben contacten gelegd met een aantal bedrijven, die betrokken waren bij de uitvoering van 'aerial spinning' op projecten als Hoga Kusten, Storebelt en de Taag brug. Toen de tenderdocumenten op de markt kwamen was HSM dus in staat om met gebruikmaking van de Noorse partner en de opgebouwde know how



Afb. 6. Locked Coil kabel.



Afb. 8. Osterøybru (Kvistibru)



Afb. 7. Spoilers aan Stordabru.



en relaties een concurrerende aanbieding te maken voor het project. Bij opening van de inschrijvingen bleek dat de aanbidding gedaan door 'Triangle Contractors', de joint venture die NCC en HSM hadden gevormd voor het project, krap 1,5 promille lager was dan de som van alle laagste deelaanbiddingen. Tevens bleek ook dat de uitvoering met 'aerial spinning' ongeveer 1% goedkoper was dan de uitvoering met 'locked coil' kabels. In december 1998 is het werk dan ook opgedragen aan 'Triangle Contractors'. De beide bruggen zijn uiteindelijk in een versneld programma gerealiseerd. De Stordabru werd krap 2 jaar na opdracht opgeleverd en de Bømlabru 4 maanden later. Dit was ruim een half jaar sneller dan oorspronkelijk geëist. Doordat de tunnel die toegang gaf vanaf het vaste land naar de beide bruggen ver voor lag op schema was het voor de klant interessant om ook de bruggen eerder in gebruik te nemen. Immers op dat moment konden de veerboten uit de vaart worden genomen en kon het innen van de tol beginnen. Het versneld opleveren bracht voor onze combinatie een flinke bonus op. Dat het project zo voorspoedig is verlopen is niet allen te danken aan de inzet van het personeel van HSM en NCC maar ook aan de goede samenwerking met ervaren ontwerpers (Brouwn Beach), en de leveranciers van het spinning equipment (HMV). Een van de bruggen is in Schiedam gefabriceerd de andere is door HSM uitbesteed in Italië. Het spinnen, compacteren en wrappen van de kabels is met ingehuurd Noorse arbeiders uitgevoerd. Het spinnen en compacteren is min of meer probleemloos verlopen. Met het wrappen en conserveren van de kabels zijn wel de nodige problemen opgetreden die uiteindelijk naar tevredenheid en binnen de tijd zijn opgelost. De brugdelen voor beide bruggen zijn met behulp van een drijvende bok gemonteerd wat een enorme verbetering was ten opzichte van de bij de Kvistibru gebruikte methode.

#### **De Feda Fjord brug.**

Door de realisatie van bovengenoemde projecten had HSM inmiddels een naam opgebouwd in Noorwegen als hangbruggenbouwer. Het is dan ook niet vreemd dat de aannemer van het design, Build, Operate and Transfer project E39 Lygndal-Flekkefjord project, waar ook een hangbrug over het Feda fjord deel van uit maakte in 2002 uiteindelijk voor HSM koos als onderaannemer voor het leveren en aanbrengen van de kabels en de stalen brug. Met de ervaringen van de vorige projecten als bagage en met gebruikmaking van veel van dezelfde onderaannemers is dit project in 2005 en 2006 door HSM gerealiseerd. Gezien de relatief korte overspanning (325 meter) was de keus voor 'locked coil' kabels een eenvoudige. Werden bij de Kvistibru deze kabels nog door de klant toegeleverd dit keer was HSM ook verantwoordelijk voor deze levering. Ondanks een 3 maanden durende vertraging in de levering van de hangers als gevolg van afgekeurde gietstukken is de brug toch nog 2 weken eerder opgeleverd dan contractueel overeengekomen. Ook voor deze brug zijn de delen in Schiedam gefabriceerd en is de installatie van de brugdelen met behulp van een drijvende bok uitgevoerd.





Afb. 9. Trekantsambandet project (Stordabru en Bømlabru)

#### **De Hardanger brug.**

Tijdens de uitvoering van al bovengenoemde projecten zoemde altijd al één naam door de kantoren van de opdrachtgevers en HSM, de Hardangerbru. Steeds maar weer werd de aanbesteding van deze tot onze verbeelding sprekende brug met een overspanning van 1.325 meter uitgesteld. Maar in 2008 is het dan echt gebeurd. In november 2008 werd de aanbesteding gehouden. Groot was voor ons de teleurstelling dat HSM bij deze aanbesteding slechts als derde uit de bus kwam. Juist in deze periode stak de kredietcrisis de kop op wat ook veel gevolgen had voor de koers van de Noorse kroon ten opzichte van de Euro. Mede hierdoor hebben we waarschijnlijk de strijd verloren, hoewel de onwaarschijnlijk lage prijs van de laagste aanbieder zeker niet alleen een gevolg kan zijn van een andere inschatting van valutarisico's. Misschien is hier weer de uitspraak van een Belgische baggeraar van toepassing: "Het is niet de meest realistische aanbieder die de opdracht krijgt maar de meest optimistische".

#### **De toekomst.**

Ook na deze teleurstelling zullen de ogen van HSM gericht blijven op Noorwegen. Er liggen al weer andere hangbruggen op de tekentafels maar helaas is aanbesteding binnen 5 jaar niet te verwachten.

Met dank aan Gunnar Gundersen van Statens Vegvesen voor zijn hulp bij de totstandkoming van dit artikel.

#### **Referenties.**

Bruggen jaargang 11 nummer 1 maart 2003.  
 Bouwen met Staal nummer 163 december 2001.  
 Land en water nummer 4 april 2006.  
 Civiele techniek nummer 4 1997.



Afb. 10. Feda fjord bru