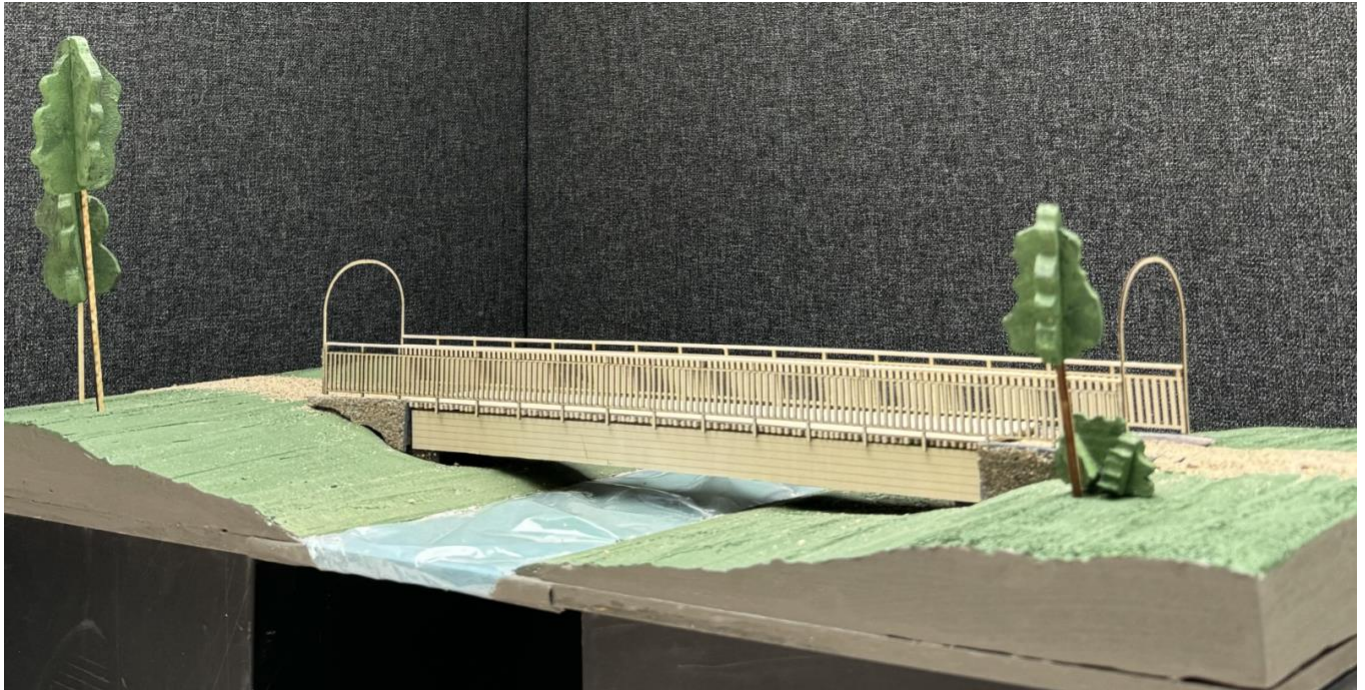




CHALMERS



Projektering av gång- och cykelbro över Bodelebäcken i Uddevalla

Konceptuell design och preliminär dimensionering

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

BJÖRN ALOANDER
LYDIA BINBACH
EMELIE EKLUND
DAVID MÅRTENSSON
SAGA SERNEKVIST
EMIL VENDELSTRAND

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

KANDIDATARBETE

Projektering av gång- och cykelbro över Bodelebäcken i Uddevalla

Konceptuell design och preliminär dimensionering

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

BJÖRN ALOANDER
LYDIA BINBACH
EMELIE EKLUND
DAVID MÅRTENSSON
SAGA SERNEKVIST
EMIL VENDELSTRAND

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2024

Projektering av gång- och cykelbro över Bodelebäcken i Uddevalla
Konceptuell design och preliminär dimensionering

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

BJÖRN ALOANDER

LYDIA BINBACH

EMELIE EKLUND

DAVID MÅRTENSSON

SAGA SERNEKVIST

EMIL VENDELSTRAND

© BJÖRN ALOANDER, 2024

© LYDIA BINBACH, 2024

© EMELIE EKLUND, 2024

© DAVID MÅRTENSSON, 2024

© SAGA SERNEKVIST, 2024

© EMIL VENDELSTRAND, 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola, 2024

Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Bild på fysisk bromodell.
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2024

PROJEKTERING AV GÅNG- OCH CYKELBRO ÖVER BODELEBÄCKEN I UDDEVALLA

Konceptuell design och preliminär dimensionering

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

BJÖRN ALOANDER

LYDIA BINBACH

EMELIE EKLUND

DAVID MÅRTENSSON

SAGA SERNEKVIST

EMIL VENDELSTRAND

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Genom Uddevalla kommun slingrar Bodelebäcken fram och mynnar ut i havet. För att möjliggöra gång- och cykeltrafik över bäcken ska en bro dimensioneras inför produktion. Bron förväntas spänna över en sträcka på cirka 16 meter och vara tre meter bred. Arbetet syftar till att analysera olika brokoncept och utforma ett förslag efter kommunens begäran.

För att välja ett lämpligt brokoncept gjordes urval i två steg. Först bedömdes fler alternativa brokoncept utifrån krav och bedömningskriterier. Därefter analyserades de mest lämpliga brokoncepten mer detaljerat utifrån olika utvärderingskriterier för att identifiera fördelar och nackdelar. I urvalen har man tagit hänsyn till beställarens krav, produktion samt förvaltning och underhåll.

Det slutgiltiga brokonceptet som valdes för att möjliggöra transport över Bodelebäcken utgörs av en balkbro i trä. Bron förväntas konstrueras utan stöd i vattendraget för att minimera påverkan på närliggande ekosystem. För att ge området ett enhetligt utseende kommer räcket till bron att gestaltas i enlighet med räckena på närliggande Uddevalla strandpromenad.

För att bestämma den preliminära dimensioneringen av bron identifierades kritiska laster och lastkombinationer. Därefter följde en iterativ beräkningsprocess där geometrin för de bärande balkarna fastställdes. Processen resulterade i att bron utformas med tre bärande balkar med måtten 810 x 215 millimeter. De preliminära beräkningarna genomfördes med hjälp av Matlab och Calfem och utfördes i enlighet med krav från Eurocode och relevanta normer och standarder.

Nyckelord: brokoncept, Bodelebäcken, gång- och cykelbro, balkbro, preliminär dimensionering

Engineering of pedestrian and bicycle bridge over the Bodele stream in Uddevalla.

Conceptual design and preliminary dimensioning.

Bachelor's thesis in Civil Engineering

BJÖRN ALOANDER

LYDIA BINBACH

EMELIE EKLUND

DAVID MÅRTENSSON

SAGA SERNEKVIST

EMIL VENDELSTRAND

Department of Architecture and Civil Engineering

Chalmers University of Technology

Abstract

Through the municipality of Uddevalla, Bodelebäcken meanders into the sea. To enable pedestrian and bicycle traffic across the stream, a bridge will be dimensioned prior to production. The bridge is expected to span a distance of approximately 16 meters and will be three meters wide. The work aims to analyze different bridge concepts and design a proposal according to the municipality's demands.

In order to choose a suitable bridge concept, selection was made in two stages. First, several alternative bridge concepts were assessed based on requirements and assessment criteria. The most suitable concepts were then analysed in more detail based on various evaluation criteria to identify benefits and disadvantages. In the selections, the client's requirements, production and maintenance have been taken into account.

The final bridge concept chosen to enable transport across Bodelebäcken is a wooden beam bridge. The bridge is expected to be constructed without a support in the watercourse to minimize impact on nearby ecosystems. In order to give the area a uniform appearance, the railing of the bridge will be designed in accordance with the railings on the nearby Uddevalla waterfront promenade.

To determine the preliminary dimensioning of the bridge, critical loads were identified and load combinations. This was followed by an iterative calculation process in which the geometry of the load-bearing beams were established. The process resulted in the design of the bridge with three load-bearing beams measuring 810 x 215 millimeters. The preliminary calculations were carried out using Matlab and Calfem and performed accordingly with requirements from Eurocode and relevant norms and standards.

Keywords: bridge concept, Bodelebäcken, pedestrian and bicycle bridge, beam bridge, preliminary dimensioning

Innehåll

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Innehåll	iii
Förord	v
Begreppsförklaring	vi
1 Inledning	1
1.1 Syfte och mål	1
1.2 Avgränsningar	2
1.3 Samhälleliga och etiska aspekter	2
1.4 Metod - projektering och dimensionering	2
2 Förutsättningar	4
2.1 Beställare och geografisk plats	4
2.2 Grundläggning, leveranser och produktion	4
3 Typer av brokonstruktioner	6
4 Hållbar broprojektering	8
5 Urval 1	9
6 Utvärderingskriterier för Urval 2	10
7 Urval 2	12
7.1 Fackverksbro i trä med överliggande fackverk	12
7.2 Fackverksbro i stål med överliggande fackverk	13
7.3 Balkbro i trä	13
7.4 Balkbro i stål	14
7.5 Balkbro i betong	15
7.6 Plattbro i betong	16
8 Val av slutgiltigt brokoncept	17
9 Preliminär dimensionering	18
9.1 Avvikelse från Trafikverkets krav	18
9.2 Lasteffekter	18

9.3	Lastkombinationer	19
9.4	Systemmodell	20
9.5	Analys i tvärled	22
9.6	Analys i längsled	22
9.7	Resultat	23
9.8	Dimensionering av förband	23
10	Beskrivning av valt brokoncept	25
10.1	Utformning	25
10.2	Grundläggning och landfästen	26
10.3	Preliminär produktionsplan	26
10.4	Preliminär underhållsplan	26
11	Diskussion	28
11.1	Projekteringsprocessen	28
11.2	Dimensioneringsprocessen	28
12	Slutsats	30
	Referenser	31
	Bilageförteckning	34

Förord

Rapporten, Projektering av gång- och cykelbro över Bodelbäcken i Uddevalla, är ett kandidatarbete omfattande 15 högskolepoäng skrivet på institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik. Arbetet är skrivet av sex studenter som studerar civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola.

Arbetet har utförts med hjälp av gästföreläsare och varit möjlig tack vare den tidigare utbildningen försedd av institutionen. Kursansvarig Alexander Kjellgren och examinator Carlos Gil Berrocal, båda på fakulteten konstruktionsteknik, har bidragit med handledning och återkoppling vilket medfört intressanta reflektioner och struktur i arbetet. Till dessa säger vi tack. Slutligen vill vi även tacka våra handledare, Staffan Lindén och Marcus Davidson på COWI som besvarat frågor samtidigt som de hållit sig neutrala för att ge oss utrymme att utveckla vår analys- och problemlösningsförmåga. Arbetet har resulterat i en djupare insikt och utökad kompetens inom området.

Göteborg 2024

BJÖRN ALOANDER

LYDIA BINBACH

EMELIE EKLUND

DAVID MÅRTENSSON

SAGA SERNEKVIST

EMIL VENDELSTRAND

Begreppsförklaring

Brolager	Byggnadsdel mellan landfäste och övergångskonstruktion som kan överföra statiska krafter samt tillåta rörelser.
Dymling	Stålpinne som används vid sammanfogning av träelement.
Egenfrekvens	Den naturliga vibreringsfrekvensen hos ett system, bestäms av systemets massa, styvhet och dämpning.
Elastomerlager	En typ av brolager konstruerade som en gummiplatta med stålskiva i.
GC-bro	Gång- och cykelbro.
Grusskift	Sidan av landfästet som är vänd mot anslutande balk.
HHW	Högsta högvattenstånd. Det högsta beräknade vattenståndet som kan tänkas komma inom 100 år.
LCA	Metod att bestämma miljöpåverkan av en produkt, process eller tjänst.
LCC	Metod för att bedöma de totala kostnaderna för en produkt över hela dess livslängd.
Lignin	Ett samlingsnamn på ämnen som binder ihop cellulosa fibrer i träs cellväggar.
MW	Medelvattenstånd. Medelvärde av vattenståndet uppmätt året runt.
Pilodyn	Inspektionsverktyg för att analysera träs grad av förfall.
Plocktest	Inspektionsmetod för att upptäcka ytligt förfall på trä.
Shigometer	Inspektionsverktyg som mäter resistans i träet med hjälp av konduktivitet i syfte att upptäcka förruttelse.
Träsyll	En horisontell träbalk som utgör den lägsta delen eller en av de lägsta delarna av en ram eller stödstruktur

1 Inledning

Genom Uddevalla kommun slingrar Bodelebäcken fram och mynnar ut i havet. I anslutning till havsmynningen planeras det att byggas en ny gång- och cykelbro med Uddevalla kommun som beställare. Bodelebäcken är lokaliserad i ett naturområde och bron ska därför utgöra en viktig del av kommunens infrastrukturens system som binder samman naturområdets två sidor om bäcken. Förutom att säkerställa effektiv kommunikation för både fotgängare och cyklister ska bron också passa in i omgivningen. I dagsläget finns det redan en bro i området, men eftersom den är uttjänad vill kommunen ta fram ett förslag på en ny bro som ska ersätta den befintliga. Se Figur 1.1 (Uddevalla Kommun, 2017) för att se berörd plats.



Figur 1.1: Karta över Uddevallas kust med anläggningsområdet markerat. <https://www.uddevalla.se/download/18.4c635da91558fd2162d87d/1524562512549/Cykelkarta.pdf>
Använd och redigerad med tillåtelse.

Arbetet fokuserar på den planerade projekteringen av gång- och cykelbron över vattendraget Bodelebäcken i Uddevalla kommun. Rapporten utreder tekniska och ingenjörsmässiga aspekter vid projektering och dimensionering av en brokonstruktion.

1.1 Syfte och mål

Syftet med studien är att analysera olika brokoncept och slutligen ta fram ett broförslag som ska möjliggöra gång- och cykeltrafik över Bodelebäcken i Uddevalla kommun. En central del av arbetet är att genomföra en mångfaldig bedömning av brokoncepten för att jämföra produkterna mot varandra. Brokonceptet som anses vara mest lönsamt ska preliminärdimensioneras samt modelleras. Det ska tydligt framgå varför det slutliga brokonceptet anses vara mest lämpligt, samt hur bron ska dimensioneras, konstrueras och förvaltas ur ett hållbart perspektiv. I slutet av arbetet förväntas ett komplett broförslag och en skalenlig modell för gång- och cykelbron över Bodelebäcken.

1.2 Avgränsningar

För att anpassa arbetsprocessen efter rapportens omfattning har avgränsningar gjorts. De geotekniska förhållandena kommer att beaktas i urval för brokoncepten men beräkningar för grundläggning och släntstabilitet kommer inte att utföras. Geotekniskt underlag kommer användas vid fastställande av bron grundläggningsmetod. Material som utvärderas är trä, stål och betong och förutsätts vara limträ, konstruktionsstål och anläggningsbetong.

Specifika ekonomi- (LCC) och miljö-kalkyler (LCA) kommer inte att presenteras för broförslagen, men ekonomi och miljöpåverkan finns med som utvärderingskriterier i Kapitel 6. Ytterligare faktorer som buller, bron egenfrekvens och trafik kommer inte utredas vidare.

1.3 Samhälleliga och etiska aspekter

Det finns flera olika samhälleliga och etiska aspekter att beakta när en bro ska uppföras. Det väsentliga är att brokonstruktionen gör mer nytta än skada för omgivande samhälle och natur. Syftet är att öka tillgängligheten för gång- och cykeltrafik i området vilket anses främja den sociala hållbarheten. I detta fall ska bron anläggas i ett naturområde vilket kräver visad respekt för både fauna och flora i området. Skulle ursprungsmiljön påverkas för mycket kan det få en negativ påverkan på ekosystemet och resultera i att det inte längre är lönsamt att anlägga bron.

Ytterligare en aspekt att ta hänsyn till är valet av plats för produktionen. För- och nackdelar måste vägas mot varandra som både förespråkar den ekonomiska, ekologiska och sociala hållbarheten. En billigare produktion av komponenter utomlands är säkerligen möjlig men långa transporter bör undvikas ur miljösynpunkt. Om det är möjligt att producera lokalt ger det jobb-möjligheter, stärker den lokala ekonomin och gemenskapen (Bernhard, Steffen, Angela & Iztok, 2019). Att välja ett svenskt företag innebär förmodligen en högre produktionskostnad men de etiska aspekterna talar för detta alternativ.

I slutändan är det beställarens preferenser och målbild som bestämmer hur bron ska projekteras. Detta sker i samråd med ansvariga för produktion och underhåll. Samhälleliga och etiska aspekter kommer tas i beaktning men i huvudsak kommer fokus ligga på att projektera en beständig bro med teknisk livslängd 80 år.

1.4 Metod - projektering och dimensionering

Arbetet har genomförts i två delar: förstudie och preliminär dimensionering. I förstudien analyserades olika brokoncept efter krav och förutsättningar. Det alternativ som bäst uppfyllde de satta utvärderingskriterierna valdes till slutgiltigt koncept. Den andra delen var en iterativ process där en preliminär dimensionering togs fram för det valda brokonceptet. Därefter konstruerades en skalenlig modell av bron.

Förstudien inleddes med informationssamling i form av litteraturstudier, handledning med COWI, samt föreläsningar av sakkunniga. Arbetet fortgick i en första urvalsprocess, Urval 1, där olika brotyper utvärderades efter dess förmåga att uppfylla en rad kriterier. De kvarvarande koncepten analyserades sedan i en andra urvalsprocess, Urval 2, utifrån tre fokusområden: beställare, produktion samt underhåll och förvaltning. Bedömningskriterier formulerades utifrån dessa tre områden och speglar vad samtliga fokusgrupper anser vara

mest avgörande för ett välfungerande brokoncept. För att återspegla arbetets målsättning viktades sedan kriterierna på en skala ett till fem. Urvalet resulterade i ett slutgiltigt koncept som bäst möter projektets målsättning. Det valda brokonceptet preliminärdimensionerades därefter.

Inledningsvis av den preliminära dimensioneringen utfördes en omfattande analys av hela bron i Matlab och CALFEM där dimensionerande krafter och moment togs fram. Kritiska tvärsnitt och specifika detaljer som infästningar och förband analyserades i bruks- och brottgränstillstånd och dimensionerades därefter. Samtliga dimensioneringar och beräkningar har utförts i enlighet med Eurocode och normer, med målet att eftersträva kraven från Trafikverket.

Slutligen sammanställdes en beskrivning av brokonceptets utformning tillsammans med en produktions- och underhållsplan. För att öka förståelsen av bronns gestaltning monterades en skalenlig modell som visar de olika byggnadselementen samt helheten i miljön.

2 Förutsättningar

Krav och förutsättningar ges övergripande från Eurokoder, Trafikverket och beställaren, Uddevalla kommun. I detta kapitel ligger fokus framförallt på förutsättningar som är unika för projekteringen av GC-bron över Bodelebäcken, inklusive förutsättningar genererade av genomförda beräkningar.

2.1 Beställare och geografisk plats

Beställaren, Uddevalla kommun, vill ha ett broförslag som ska ersätta en befintlig bro över Bodelebäcken. Förslaget ska vara hållbart, ha en livslängd på 80 år och passa väl in i omgivande naturområde. Bron ska även vara utformad för att möjliggöra trygg och bekväm färdväg för fotgängare, cyklister och personer med rörelsehjälpmedel året runt. Enligt beställaren är det inte möjligt att ändra vägbanans utformning och en rak linje över bäcken måste följas både horisontellt och vertikalt, se Bilaga 1. Enligt planritningen ligger högsta högvatten 15 centimeter under brovägbanan, vilket medför att delar av brokonstruktionen kommer hamna under vattenytan. Vattennivån medför att trafikverkets högvattenkrav, 30 centimeter frihöjd över vattenytan, inte kan tillgodoses (Trafikverket, 2023). Att bortse från Trafikverkets krav anses rimligt eftersom högvattnet endast förekommer var 100 år och då framtagandet av en lösning som tar hänsyn till kravet skulle vara för komplext. Ytterligare ett krav är distansen till medelvattennivån, 1,2 meter. Medelvattennivån (MW) tas i åtanke under Urval 1 för ett gynnsamt beslut, men kommer åsidosättas under Urval 2.

Servicefordonet som används vid snöröjning av bron är av lättare variant. Vid dimensionering av bron används laster från fordonet, gång- och cykeltrafik och egentygden. Korrosivitetsklass för stål på platsen bestäms till C4 och för träkonstruktioner bestäms den till klimatklass 3 (M.Davidsson, personlig kommunikation, 27 februari, 2024). Besluten baseras på den geografiska platsen, Bodelebäckens mynning till Byfjorden och brons närhet till vatten.

2.2 Grundläggning, leveranser och produktion

För grundläggningsmetodiken fattas beslutet att endast se över lösningar där spetsbärande pålar används. Anledningen är en otillfredsställande släntstabilitet och jordlagerföljd. Släntstabiliteten innebär risker ifall laster skulle överföras till markytan. Övriga grundläggningsmetoder skulle även kräva en omläggning av rör och ledningarna till följd av sättningar, vilket medför en ytterligare kostnad och bör undvikas. Förutsättningen anses rimlig och är i linje med projekterings-PM som hänvisar till spetsbärande pålar som lösning, se Bilaga 2.

Projekterings-PM, Bilaga 2, hävdar att området kring anläggningsplatsen består av ängsmark och vass. Huruvida ängsmarken presterar som underlag för tunga fordon under produktionsstadiet är en viktig aspekt, dock kommer beräkningar inte att genomföras. Produktionen av bron ska undvika att påverka den närliggande miljön, därför förutsätts endast

möjlighet till standardiserade transporter. Transporterna förutsätter att bärande element begränsas till tolv meter. Anläggningsplatsen anses ge möjlighet till produktion i nära anslutning för gjutning och montering av konstruktionsdelar.

Enligt projekterings-PM pågår erosion i bäckfåran. Erosionen måste beaktas då den försämrar släntstabiliteten i området. Erosionsskydd behöver tillhandahållas både över och under vattenytan ifall växtlighet inte ger tillräckliga skyddsmöjligheter.

3 Typer av brokonstruktioner

Broar kategoriseras främst efter deras verkningssätt. Nedan beskrivs vanligt förekommande brotyper som kan tänkas användas i akutuellt område över Bodelebäcken i Uddevalla. Valda brotyper och egenskaper är hämtade från BaTman (Trafikverket, 2014).

Balkbro

Balkbron är en vanligt förekommande brotyp, känd för sin kostnadseffektivitet och relativt enkla konstruktion. Dess huvudbärverk utgörs av bärande balkar och används oftast för längre spännvidder, vanligtvis över 20 meter. Den kan konstrueras i olika material och former, inklusive betong och stål samt trä i kortare spann. Exempel på varianter inkluderar spännarmerad betongbalkbro och samverkansbro i stål och betong (Karlsson, 2022). Balkbron är fördelaktig när risk för sättningar vid brostöd finns och höga balkar kan vara ekonomiskt och tekniskt fördelaktiga om det finns tillräckligt med utrymme. Dock kan höga balkar upplevas som klumpiga om bron ligger nära mark- eller vattennivå.

Fackverksbro

Fackverksbron kategoriseras som en typ av balkbro då den använder sig av en balkliknande struktur för att överföra laster. Brotypens huvudbärverk utgörs av fackverksbalkar. Dess struktur består av en under- och överstång som sammankopplas genom vertikala och diagonala stänger, vilket leder till att det huvudsakligen uppstår dragande och tryckande normalkrafter i stängerna (Trafikverket, 2014). Brotypen utförs antingen i stål eller trä. För konstruktioner i trä dimensionerade för vägtrafik kan spännvidder upp till 30 meter utformas, används stål kan spännvidden istället uppnå 100 meter.

Plattbro

Plattbron består vanligtvis av en enda horisontell överbyggnad som antingen utförs som fritt upplagd eller kontinuerlig. Dess enkla konstruktion underlättar byggnation och underhåll. Brotypen är bäst lämpad för kortare spännvidder och huvudbärverket utgörs av broplattan. Ifall spännvidderna är för stora kan man göra materialbesparingar genom att minska överbyggnadens egentynghet, vilket sker genom att utforma broplattan med slutna eller öppna ursparningar. Plattbron utformas antingen med en armerad betongplatta eller i trä där plattan består av lameller. Vid utnyttjande av spännarmerad betong kan spännvidden uppgå till 35 meter, används istället slakarmerad betong kan en spännvidd på 25 meter utföras. Om broplattan är av trä kan spännvidden nå upp till 17 meter.

Bågbro

Bågbron kan vara utformad med färdbanan under, mellan eller ovanför bågarna. Bron kan användas både till fordonstrafik samt gång- och cykeltrafik. Brokonstruktionen kan uppnå stora spännvidder i och med att radien på bågen kan variera, men rekommenderas mellan 25 (Karlsson, 2022) och 260 meter (Trafikverket, 2014). För att det ska vara möjligt att konstruera och transportera stora bågar brukar de tillverkas som treledsbågar (Träguiden, 2017b). Bågbron lämpar sig väl över stora ytor som till exempel hav eftersom bågen sprider

lasten över hela bron och förhindrar att lasten samlas i mitten. Denna brotyp är relativt dyr och var mer förekommande förr. I de fall då bron byggs idag är det främst på grund av estetiska skäl (Karlsson, 2022).

Snedkabelbroar

Det huvudsakliga användningsområdet för en snedkabelbro är för fall där stora spännvidder erfordras. Konstruktionen består av snedkablar som bär dragkrafter. Snedkablar förankras i pyloner som tar upp stora tryckkrafter. Pylornerna, tillsammans med snedkablarna och brobanan, utgör huvudbärverkan i konstruktionen. En av brotypens fördelar är att den kan byggas utan ställning, vilket kan vara avgörande i vissa miljöer (Karlsson, 2022). Pylonerna i stora snedkabelbroar består vanligtvis av betong och är de mindre kan de istället vara av stål. Vägbanan kan konstrueras i betong, stål eller genom en samverkanskonstruktion mellan de båda materialen. Brotypen är aktuell vid spännvidder över 100 meter.

Hängbro

Precis som snedkabelbron har en hängbro även den kablar, pyloner och stäldäck. Utöver dessa har hängbrokonstruktionen även förankringsanordningar i marken vid brons ändrar. Kabelsystemet består av huvudkablar och vertikala hängare som binder samman vägbana och huvudkablar (Karlsson, 2022). Konstruktionen är i de flesta fall tillverkad med kablar i stål och pyloner i betong. Bron är lämplig över stora spännvidder eftersom kablar och hängare kan föra ned stora dragkrafter genom ankare i marken.

4 Hållbar broprojektering

För ett positivt utfall av bron krävs en hållbar projektering utifrån tre aspekter: social, ekologisk och ekonomisk. Det är viktigt att hållbarhetsanalyser görs redan i projekteringsfasen där den största möjligheten att skapa förutsättningar för en hållbar produktion ligger (Karlsson, 2022). Hållbarhet ska präglade hela bronns livslängd från planering till rivning.

Social hållbarhet

För att som byggherre arbeta hållbart krävs en djup förståelse för de företag man samarbetar med samt förmågan att uppställa krav och samordna olika parter. Under projektets gång är arbetsförhållanden centrala och kan indelas i faktorer som buller, luftkvalitet, tillhörighet och trygghet. Utöver de direkta projektdeltagarna kan även individer i närområdet påverkas av ljudnivåer, luftkvalitet samt möjlighet till alternativ färdväg. Det är även av vikt att säkra byggarbetsplatsen för att förhindra obehörigt tillträde och minimera risker. Val av brokoncept kan dessutom påverka hållbarheten då olika strukturer och material har olika utfall vad gäller bland annat produktionstid, kulturell inverkan, och olycksrisk. Slutligen är produkten av stor betydelse för den sociala aspekten, där både användningsmönster och de känslor bron väcker är av betydande roll (Lisa Andersson, 2021).

Ekologisk hållbarhet

Gällande den ekologiska aspekten är utformning, val av material och produktionsmetod av stor vikt (Karlsson, 2022). Vid utformning av bron ska materialåtgång minimeras och material med lågt koldioxid-avtryck rekommenderas för att minska klimatpåverkan. För att uppnå effektivt materialutnyttjande ska konstruktioner dimensioneras med välavvägda förhållanden mellan materialåtgång och statistiska egenskaper. Vilket material av stål, trä och betong som är mest miljövänligt är utmanande att avgöra då flera faktorer påverkar konstruktionens totala miljöpåverkan. Faktorerna innefattar bronns livslängd, möjligheterna till återanvändning samt energiåtgången vid tillverkning och transport. Den främsta miljöpåverkan lokalt kring Bodelebäcken uppkommer under anläggningen och inkluderar bullrande arbeten, grundvattensänkning och påverkan på vattendrag, vilka kan störa ekosystemet. För att minimera påverkan på vattendraget bör placering av mittstöd undvikas.

Ekonomisk hållbarhet

För att analysera kostnader för broar över dess livslängd används LCC. Analysen jämför samtliga kostnader under livslängden för att optimera användningen av de tillgängliga ekonomiska medlen (Karlsson, 2022). LCC delas huvudsakligen upp i kostnader för investering, drift och underhåll, och strävar efter att uppnå både hög kvalitet och kostnadseffektivitet. Det åligger främst projektören att välja en konstruktionstyp som minimerar materialåtgång samtidigt som den inte blir för komplicerad med lång konstruktionstid. Det är även viktigt att väga livslängd mot underhållskostnader eftersom en lång livslängd kan leda till höga underhållskostnader medan en kortare livslängd leder till högre frekvens av ny- och ombyggnationer av konstruktionen.

5 Urval 1

Urval 1 baseras på om olika brotyper är lönsamma på den givna platsen. I BaTman (Trafikverket, 2014) redogörs det för om en bro är effektiv och möjlig att skapa för önskad spännvidd. Krav ställs på att bron ska vara funktionell för en spännvidd på 20 meter. Enligt de givna förutsättningarna i Kapitel 2 eftersträvas en lösning som minimerar att konstruktionen ockuperar utrymme under bron på grund av vattennivån. Kravet om huruvida brokoncepten är möjliga för markförhållanden fokuserar främst på de olika lösningarnas tendenser att skapa horisontella krafter, vilket skall undvikas. Nedan i Tabell 5.1 redogörs det för vilka brotyper som anses relevanta.

Tabell 5.1: Utvärdering av brotyper i Urval 1.

Typ av bro	Typ av utformning	Typ av material	Spännvidd [m]	Uppnådd spännvidd	Gynnsam höjd över vattennivå	Möjlig för aktuella markförhållanden	Aktuell för Urval 2
Fackverksbroar	Överliggande fackverk	Trä	<30	Ja	Ja	Ja	Ja
	Överliggande fackverk	Stål	<100	Ja	Ja	Ja	Ja
	Underliggande fackverk	Trä	<30	Ja	Nej		
	Underliggande fackverk	Stål	<100	Ja	Nej		
Balkbroar		Trä	<30	Ja	Ja	Ja	Ja
		Stål	<80	Ja	Ja	Ja	Ja
	Spännarmerad	Betong	<200	Ja	Ja	Ja	Nej
	Slakarmerad	Betong	<25	Ja	Ja	Ja	Ja
Plattbroar		Trä	<17	Nej			
	Slakarmerad	Betong	<25	Ja	Ja	Ja	Ja
	Spännarmerad	Betong	<35	Ja	Ja	Ja	Nej
Bågbroar	Överliggande båge	Trä	<30	Ja	Ja	Ja	Nej
	Underliggande båge	Trä	<30	Ja	Nej		
	Överliggande båge	Stål	25 till 260	Nej			
	Underliggande båge	Stål	25 till 260	Nej			
	Överliggande båge	Betong	25 till 260	Nej			
Hängbroar		Betong och stål	<1200	Ja	Ja	Nej	
Snedkabelbroar		Betong och stål	50 till 410	Nej			

Den överliggande, bågbron av trä ansågs inte aktuell för Urval 2, då beställaren ansåg att komplexiteten för konstruktionen inte skulle vara ekonomiskt försvarbar. Slakarmerad betong rekommenderas i de fall det är möjligt och därav faller de spännarmerade förslagen bort (M.Davidsson, personlig kommunikation, 27 februari, 2024).

Kvalificerade brotyper till Urval 2:

Fackverksbro i trä

Fackverksbro i stål

Balkbro i trä

Balkbro i stål

Balkbro i slakarmerad betong

Plattbro i slakarmerad betong

6 Utvärderingskriterier för Urval 2

Nedan beskrivs kriterium som används för att bedöma lämplighet hos de brokoncept från Urval 1. Vid framtagning av utvärderingskriterierna har intressen från beställare, produktion samt förvaltning och underhåll inkluderats. Materialen förutsätts vara anläggningsbetong, konstruktionsstål och limträ.

Innovation och estetik

Brokoncept bedöms i detta kriterie utifrån hur nytänkande och estetiskt tilltalande utformningen är. Att vara estetiskt tilltalande innebär att bron tar hänsyn till landskapets karaktär och samspelar med omgivningen. Den estetiska faktorn bedöms också huruvida människan upplever konstruktionen inbjudande.

Ekologi

Byggnation av broar ger miljöpåverkan vid produktion och från vagga till grav. Ekologikriteriet inkluderar både miljöpåverkan globalt och lokalt vid anläggningsplatsen. Det innefattar materialval, utsläpp och störningar av ekosystem.

Ekonomi

Det ekonomiska kriteriet syftar endast till att utvärdera kostnad och pris på det slutgiltiga broförslaget. Dock kan ett dyrare förslag vara mest ekonomiskt fördelaktigt om det innebär högre kvalitet med mindre underhåll och längre livslängd.

Arbetsmiljö och säkerhet

Kriteriet bedömer riskerna med det valda konceptet ur ett säkerhetsperspektiv. Riskerna avgränsas till de som kan ske på själva arbetsplatsen. En trygg arbetsplats skapar både goda arbetsförhållande för arbetarna och dessutom goda förutsättningar för att produktionen ska gå som planerat.

Byggbarhet

Kriteriet bedömer om det är möjligt att genomföra byggnationen på ett effektivt sätt. God byggbarhet innebär lätta transportvägar för material och konstruktionsdelar, flöde i produktionen och fungerande arbetsmoment. Det kan vara svårt att förutspå utfall av arbetsmoment och därför är det viktigt att i förhand utvärdera risker och eventuella åtgärder och lösningar. Ett koncept med en god byggbarhet uppfyller de ställda kraven utan att, i så hög mån som möjligt, kompromissa med andra essentiella delar.

Byggtid

Kriteriet ämnar till att bedöma de olika brokoncepten utifrån dess tid att färdigställas. Ett broalternativ som utförs med prefabricerade delar möjliggör kortare byggtid på anläggningsplatsen. Kort byggtid främjar effektivitet och minskar störning för omgivande

samhälle och natur.

Underhåll

Kriteriet bedömer hur lätt eller svårt det kommer vara att hålla bron i gott skick. För att bron ska få så lång livstid som möjligt är det viktigt att reparationer kan utföras, helst med lång tid mellan reparationerna.

Viktningstabell

Kriterierna bedöms mot varandra i följande viktningstabell, se Tabell 6.1. Kriteriet i vänster kolonn bedöms med en poäng mellan ett och tre. Tre poäng betyder att kriteriet till vänster viktas högre än kriteriet i övre rad. Två poäng betyder att de är lika viktiga och ett poäng betyder att kriterium i övre rad viktas högre. Poängfördelningen genomfördes av beställaren utifrån önskemål på projektet.

Tabell 6.1: Viktning av slutgiltigt brokoncept.

Kriterium	Innovation & estetik	Ekologisk	Ekonomisk	Social	Byggbarhet	Byggtid	Underhåll	Summa	Viktningfaktor [%]
Innovation & estetik	3	3	3	1	3	2	15	18,29	
Ekologi	1	3	3	1	3	1	12	14,63	
Ekonomi	1	1	2	1	1	1	7	8,54	
Arbetsmiljö & säkerhet	1	1	2	1	1	1	7	8,54	
Byggbarhet	1	3	3	3	3	3	16	19,51	
Byggtid	1	1	3	3	1	1	10	12,20	
Underhåll	2	3	3	3	1	3	15	18,29	
Summa							82	100,00	

Resultatet från viktningen visar att kriterier som rankas högst, och därmed anses mest betydelsefulla i arbetet, är byggbarhet, underhåll, samt innovation och estetik. Ekonomi samt arbetsmiljö och säkerhet prioriteras lägst. Viktigt att påpeka är dock att alla kriterier är värdefulla för att slutresultat ska nå bästa möjliga utfall.

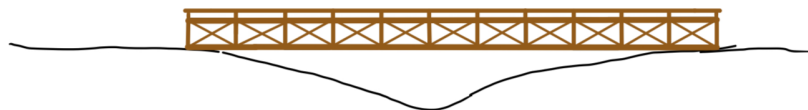
7 Urval 2

Bedömning och analys i Urval 2 utförs med Bilaga 3 och Kapitel 3 som underlag. I detta kapitel beskrivs brotyper som kvalificerats från Urval 1 utifrån perspektiven: beställare, produktion och underhåll.

7.1 Fackverksbro i trä med överliggande fackverk

Beställare

Fackverket i konstruktionen kan användas som räcke, detta är möjligt för broar med en bredd upp till 3,5 meter (Träguiden, 2015). Över- och underramen utförs i limträ med en vägbana i slitplank samt underliggande tvärbalkar. Bron ger ett rustikt intryck som smälter in i sin omgivning, se Figur 7.1. Att räcken utgör huvudbärningen gör att de kommer uppfattas som stabila och ge användare en känsla av trygghet.



Figur 7.1: Principiell skiss av en fackverksbro i trä.

Produktion

Prefabricering av fackverksbro i trä är att föredra eftersom det bidrar till god arbetsmiljö, reducerad byggtid samt god kvalitet på elementen. Transport av ett helt element ifrån verkstad på 20 meter är inte möjlig då transporten till området är begränsat enligt Kapitel 2. Mindre delar kommer transporteras och skarvas. För att skarvar ska fungera behöver detaljer utformas ordentligt och anslutningar tätas ordentligt. Trä är enkelt att jobba med både i produktion på plats och vid eventuell reparation.

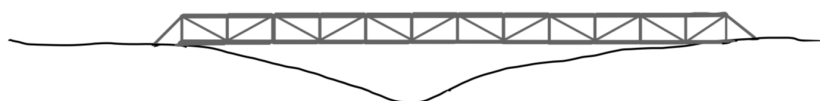
Underhåll

Träbroar är underhållskrävande där regelbundna inspektioner bör genomföras årligen. På så sätt kan skador som röta och brottanvisningar upptäckas och kontrolleras i god tid. Trä behöver skyddas från fukt genom målning och rengörs i det regelbundna underhållet (Abelsson, Båge & Westerlund, 1998). För fackverksbroar uppstår kritiska punkter i övergångskonstruktioner som behöver inspekteras. Utöver regelbundna inspektioner görs en grundlig inspektion var tredje år samt en huvudinspektion var femte år för att upptäcka eventuella skador. Även dräneringen är viktig så att det inte samlas vatten på oönskade ställen. I övrigt tillkommer underhåll för brofarbana samt övriga detaljer som räcke och förband.

7.2 Fackverksbro i stål med överliggande fackverk

Beställare

I och med stålets höga hållfasthet kan en fackverksbro i stål konstrueras betydligt slankare än en i trä. Både fackverken och bärverken är gjorda av stål och vägbanan täcks av slitplank. Fackverken kan utformas på olika sätt för att vara estetiskt tilltalande så länge fackverksverkan behålls. I detta fall utformas stålräcken som ett klassiskt fackverk med snedstag i trianglar, se Figur 7.2. Stål är inte något naturmaterial, vilket gör att valsade stålprofiler i sig kan se malplacerade ut i en grönskande miljö. Dock är det lätt att anpassa stålet efter omgivande miljö genom att rostskyddmåla elementen i en naturnära färg eller använda rosttrögt stål som med tiden får en naturlig roströd färg. En nackdel är att stål och rostskyddsfärg för att måla bron är dyrt.



Figur 7.2: Principiell skiss av en fackverksbro i stål.

Produktion

Stålbalkar produceras ofta i längder på tolv meter och svetsas alternativt bultas ihop på plats. Andra detaljer som räcket kommer också att svetsas fast på plats. Målningar sker ofta i flera lager beroende på exponeringsklass och är väderberoende. Målning vid minusgrader och regn är inte möjligt, vid dessa väderförhållanden används tält för att skydda mot vädret (M.Davidson, Personlig kommunikation, 27 februari 2024). Elementen lyfts på plats efter färdig behandling. Arbetsförhållanden är relativt goda med svetsning då det inte finns några trånga utrymmen och möjliggör ergonomiskt arbete. Ett fackverk består av många element och medför att svetsarbetet kan vara omfattande. Byggtiden beror på antal svetslängder och lager färg som stålbalken behöver.

Underhåll

Likt fackverksbron i trä, se Kapitel 7.1, har den bärande konstruktionen många angreppspunkter och utrymmen där smuts lätt kan ansamlas. Till följd av salt luften och det bräckt vattet måste stålet skyddas antingen genom flera eller tjockare lager skyddande färg. Vid inspektion och rengöring är det viktigt att kontrollera utrymmen mellan konstruktionens delar och infästningspunkter. Vid dessa utrymmen samlas det lätt smuts, fukt och salt som i sin tur kan leda rostbildning. För att minska risken för rostbildning kan man fördelaktigt välja ett balktvärsnitt som inte ger upphov till många hörn och som underlättar avrinning.

7.3 Balkbro i trä

Beställare

Balkbron har en simpel design som gör att den smälter in i omgivningen och kan därför vara ett föredrag för en plats där miljön ligger i fokus, se Figur 7.3. Huvudbärningen består av balkar samt tvärbalkar i limträ och delarna hålls samman med vinkelbeslag. Färdbanan

utförs med slitplank och räcken i trä, utformade för att sammanstämna med resterande enkla intryck.



Figur 7.3: Principiell skiss av en balkbro i trä.

Produktion

Limträbalkarna kommer att prefabriceras i delar och skarvas på plats. Det ställer krav på täta anslutningar kring förbanden för att minska risk för röta. Prefabricering ger goda arbetsförhållanden och minskad byggtid. En balkbro har få element och har därav mindre byggtid.

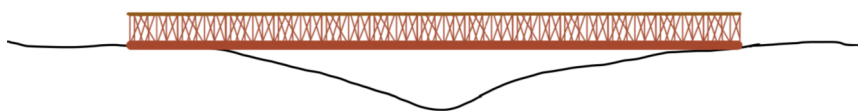
Underhåll

Balkbron är mindre komplex än fackverksbron och har därför ett lägre underhållsbehov. Den har färre kopplingspunkter och kritisk punkt uppstår där balken skarvas. I övrigt kommer liknande underhåll och inspektioner behövas utföras som för fackverksbron i trä, se Kapitel 7.1.

7.4 Balkbro i stål

Beställare

En balkbro i stål ger ett slankt intryck av en enkel vägbanan över vattendraget. De bärande balkarna är av stål och vägbanan täcks av slitplank, se Figur 7.4. Räckena kommer ha stor påverkan på hur bron upplevs. Ska bron upplevas enkel kan enkla räcken utformas och om bron ska vara mer innovativ kan räckena utformas i andra material och former. I detta fall utformas räckena av både stål och trä för att samspela med omgivande natur. En skyddskonstruktion kan även behövas för att stålbalkarna inte ska drabbas av erosion, vilka kan designas i betong eller trä.



Figur 7.4: Principiell skiss av en balkbro i stål.

Produktion

Balkbron i stål består av två eller fler balkar som huvudbärning. Då enbart de bärande elementen kommer svetsas ihop medför en balkbro väldigt lite svetsarbete vilket förkortar byggtiden. En balkbro kan även smidigt målas efter svetsning där det är liten risk att

missa någon gömd yta. Rostskyddsmålning kan ske prefabricerat i fabrik utan att påverka transportmöjligheterna. Dock kan en svettsyta inte vara målad innan utförd svettsning.

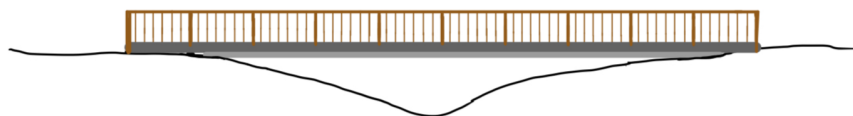
Underhåll

Balkbron kräver samma underhållsåtgärder som fackverksbron i stål. Kritiska angreppspunkten för balkbron är där de bärande stålbalkarna sammansvetsas samt i övriga infästningspunkter.

7.5 Balkbro i betong

Beställare

En balkbro har slakarmerade betongbalkar som huvubärkverk, se Figur 7.5. Brofärdbanan utförs i asfalt för att öka friktionen och skydda den bärande betongen. Betongkonstruktioner uppfattas inte lika slanka som motsvarande i stål eller trä och kommer därför ge ett mindre tilltalande intryck. I ett naturområde kan konstruktioner av betong uppfattas som malplacerade, då de oftast upplevs som gråa och tråkiga i kontrast till all grönska. För att göra bron mer tilltalande utformas räcke i trä.



Figur 7.5: Principiell skiss av en balkbro i betong.

Produktion

Balkbro i betong är lämplig att platsgjuta för att underlätta transport. Prefabricering är möjligt och är en tidseffektiv produktionsmetod. Enligt krav ställda i Kapitel 2 är metoden däremot inte aktuell på grund av bronns spännvidd. Vid armeringsarbetet så kan slakarmering ofta utföras utav betongarbetarna på plats, detta medför en flexibilitet i tidsplaneringen. Om armeringen ska spännas behöver det göras av personal med specifik kompetens som främst tas in externt. Spännarmering ställer högre krav på tidsplaneringen och eventuella förseningar kan resultera i stora konsekvenser för projektet (M.Davidsson, Personlig kommunikation, 27 februari 2024).

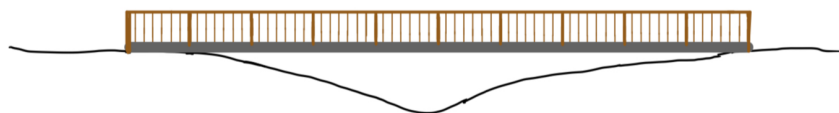
Underhåll

En balkbro i betong kräver regelbunden inspektion av den bärande konstruktionen. Det yttersta betongskiktet behöver kontrolleras då den fyller en funktion att skydda armeringen och säkerställa hållfastheten. Enligt Trafikverket (2021) ska sprickor med en bredd större än 0,3 millimeter injekteras med cementbaserat injekteringsmedel. Skulle armeringen skadas ska den kompletteras med ny.

7.6 Plattbro i betong

Beställare

Plattbron kan likt balkbron upplevas mindre tilltalande när den är utformad i betong, både på grund av materialet men också till följd av den homogena bärande vägbanan. Vägbanan asfalteras som skyddande komplement till bärplattan och räckena utformas i trä för att skapa ett naturnära intryck, se Figur 7.6.



Figur 7.6: Principiell skiss av en plattbro i betong.

Produktion

Betongplattbro kan precis som balkbro i betong spänn- eller slakarmeras. Med samma anledningar som för balkbro är det vanligare att slakarmera, se Kapitel 7.5. Då en platta är massiv har den ofta högre egenvikt än en balkbro. Enligt krav ställd ifrån Kapitel 2 är prefabricering inte möjligt då längden överstiger 12 meter vilket medför att plattan måste platsgjutas.

Underhåll

Likt balkbron i betong är plattbron en konstruktion som kräver relativt lite underhåll. Plattan, till skillnad från flertal balkar, är en enhetlig konstruktion vilket kan underlätta inspektionen.

8 Val av slutgiltigt brokoncept

Brokoncepten betygsätts enligt Tabell 8.1 utifrån de tidigare ansatta kriterierna, se Kapitel 6. Varje koncept erhåller för varje kriterie ett betyg mellan ett till fem där ett innebär att kriteriet uppfylls otillräckligt och fem innebär att det uppfylls mycket väl. Varje betyg multipliceras med viktningsfaktorn från Tabell 6.1 som i sin tur ger ett viktat resultat redovisat i Tabell 8.1. Den slutgiltiga poängen är en summa av samtliga viktade poäng för respektive koncept.

Tabell 8.1: Val av slutgiltigt brokoncept.

Kriterie	Viktningfaktor	Fackverksbro trä	Fackverksbro stål	Balkbro trä	Balkbro stål	Balkbro betong	Platfibrö betong
Innovation och estetik	0,18	4	2	5	4	1	2
Ekologi	0,15	4	2	5	3	1	1
Ekonomi	0,09	4	2	5	3	1	1
Arbetsmiljö & säkerhet	0,09	4	4	5	4	2	2
Byggbarhet	0,20	2	2	5	5	3	3
Byggtid	0,12	3	3	4	5	1	2
Underhåll	0,18	2	2	3	3	4	5
Total poäng	1,00	3,12	2,29	4,51	3,90	2,02	2,51

I Tabell 8.1 framgår det att balkbro i trä har erhållit högst poäng och svarar därför bäst mot de viktade kriterierna. På en andra plats finner vi balkbro i stål. Brokoncept i betong rankades lågt i jämförelse med de andra koncepten medans alternativen i trä rankades högt. Urvalet är därmed avslutat och projektet tar vid i dimensionering av balkbron i trä.

9 Preliminär dimensionering

För det valda brokonceptet, en balkbro i trä, genomförs först lasteffektsberäkningar. Därefter skapas systemmoddeller för att ta fram dimensionerande moment och tvärkraft i bron med hjälp av Matlab CALFEM. Slutligen görs en kapacitetskontroll för dimensionerande tvärsnitt i en iterativ process.

9.1 Avvikelser från Trafikverkets krav

Under dimensionering uppstod problem med att uppfylla Trafikverkets krav. En lösning med limträbalkar innebar att avståndet mellan mark och brobanekonstruktionen vid stöden underskred 0,8 meter vilket är ett krav ställt på träkonstruktioner (Trafikverket, 2023). Dessutom underskred avståndet från konstruktionen till medelvattennivån på 1,2 meter (Trafikverket, 2019). För att bibehålla konceptet med träbalkar gavs dispens efter diskussion med beställare. Dispansen innebar att kraven angående medelvattennivån och avstånd till mark vid stöden tilläts underskridas, men att bronns utformning skulle fortfarande optimeras med hänsyn till kraven. Beställaren ställde därmed nya krav på att medelvattennivån inte för underskrida en meter och vid stöd 0,5 meter. För ytterligare optimering, och för att klara de nya kraven, reducerades spännviden från 20 till 16 meter.

9.2 Lasteffekter

I enlighet med SS-EN 1991-2 (Svenska institutet för standarder, 2019) beräknas lasteffekter i Bilaga 9. Interessanta lasttyper verkande på träkonstruktionen redovisas nedan.

Egentyngd

I egentyngheden inkluderas vikt från limträbalkar, syllar och slitplank. Utifrån vald hållfasthetsklass, GL32K för limträ, C24 för slitplank och C30 för syllar tas densiteten fram. Därefter med bestämd mängd av de olika träkomponenterna kan egentyngheden i både längsled och tvärlädd beräknas.

Utbredd last

Utbredda laster som förekommer vid användning alstrar av fotgängare och cyklister. Den utbredda lasten beräknas enligt ekvation (9.1) samt (9.2) hämtade ur SS-EN 1991-2. (Svenska institutet för standarder, 2019).

$$q_{fk} = 2 + \frac{120}{L + 30} \quad (9.1)$$

$$2,5 \leq q_{fk} \leq 5,0 \quad (9.2)$$

Där enheten för q_{fk} är kN/m^2 och L är den belastade längden i meter.

Servicefordonlast

Enligt SS-EN 1991-2 (Svenska institutet för standarder, 2019) används i normala fall en centrisk vertikal last från ett utryckningsfordon på två axlar som punktlast i dimensionering, där lasten är maximalt 80 samt 40 kN på respektive axel. Enligt beställare kommer endast mindre servicefordon att användas vilket resulterar i att den vertikala punktlasten kan estimeras till en fjärdedel av ett utryckningsfordon. I beräkningar kommer lasten från servicefordonet att estimeras till en punktlast i längsled. Endast en punktlast är ett konservativt antagande och kommer att ge högre beräknad lasteffekt. I tvärledsanalysen kommer lasten för servicefordonet att delas upp på två axlar. Hjulets last kommer verka på en yta 200 x 200 millimeter med en lastfördelning med 45 grader ner till syllarnas systemlinje. Avståndet mellan hjulen antas vara 1,3 meter. Då endast ett mindre servicefordon kommer användas blir inte en filfaktor relevant vid kontroll av limträbalkarnas kapacitet med hänsyn till punktlasten. Däremot är olika placeringar av däcken i tvärled intressant vid dimensionering av syllarna.

Icke beaktade laster

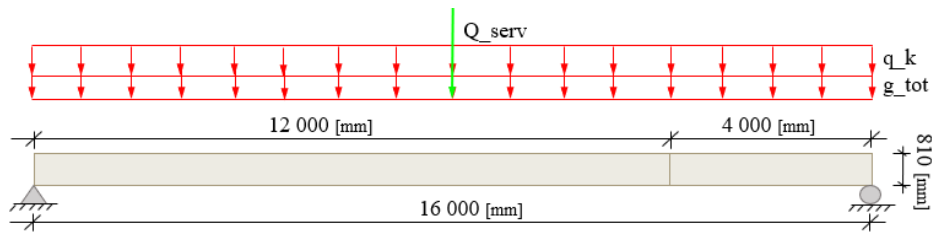
Vindlaster kommer inte tas hänsyn till på grund av bronns placering där vägbanan endast är som högst två meter över markytan. Därför kommer vindlasten bli relativt liten, vilket gör att den kan försummas (M.Davidson, personlig kommunikation, 19 april, 2024). Den dimensionerande horisontella lasten är antingen 60 procent av servicefordonet eller tio procent av den jämnt utbredda lasten beroende på vilken som är last som blir störst (Svenska institutet för standarder, 2019). Dock kommer inte horisontella laster tas hänsyn till i dimensionering då storheten är relativt liten på grund av bronns utsträckning i längsled (M.Davidson, personlig kommunikation, 19 april, 2024).

9.3 Lastkombinationer

Lastkombinationer delas översiktligt in i två fall: när konstruktionen belastas för punktlast motsvarande ett servicefordon och när konstruktionen belastas av en jämnt utbredd last. Lasterna dimensioneras med hänsyn till reduktionsfaktorer och dimensioneringsvärden enligt SS-EN 1990 (Svenska institutet för standarder, 2010). I längsled blir det mest kritiska och dimensionerande lastfallet den utbredda lasten, se Tabell 9.1 och Figur 9.1.

Tabell 9.1: Lastfall 1, dimensionerande längsled.

Lasttyp	Lastsort	Inverkan	Beteckning	Storhet	Dim. Värde	Reduktionsfaktor	Enhet
Egentyngd (balkar, syll och slitplank)	Permanent	Ogynnsam	g_{tot}	1.27	1.35	Inte aktuell	[kN/m]
Utbredd last	Variabel last	Ogynnsam	q_k	5.7	1.5	Inte aktuell	[kN/m]
Slutligt uttryck	Dimensionerande fall längsled (limträbalkar)						
Dimensionerande fall	$1.35 * g_{tot} + 1.5 * q_k = 10.26$ [kN/m]						

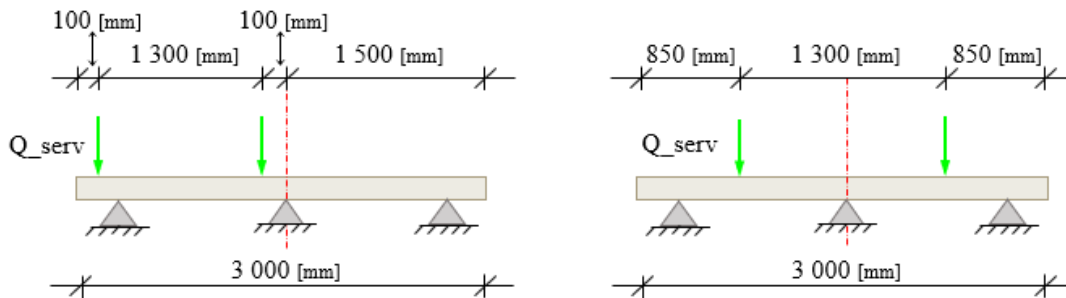


Figur 9.1: Lastfall som verkar längsled.

I tvärlred genereras det dimensionerande lastfallet av servicefordonet. Placering av däcklasten kontrolleras i två fall, med hänsyn till möjligheten att ett service fordon kan röra sig fritt över färdbanan. Servicefordonets mest kritiska position illustreras enligt det högra fallet i Figur 9.2. De gröna pilarna symboliserar laster som breddar ut sig över 0,2 meter, se Figur 9.8. På grund av punktlastens storhet försummas slitplankens och syllarnas egentygnd. För dimensionerande värden se Tabell 9.2. För kontroll och beräkning av mest kritiska lastfall i både längsled och tvärlred, se Bilaga 9.

Tabell 9.2: Lastfall 2, dimensionerande tvärlred.

Lastfall	Lastsort	Inverkan	Beteckning	Storhet	Dim. Värde	Reduktionsfaktor	Enhet
Servicefordonlast	Varibel last	Ogynnsam	Q_{serv}	10	1.5	Inte aktuell	[kN]
Slutligt uttryck	Dimensionerande fall tvärlred (syllar)						
Dimensionerande fall	$1.5 * Q_{serv} = 15$ [kN] (punktlast)						

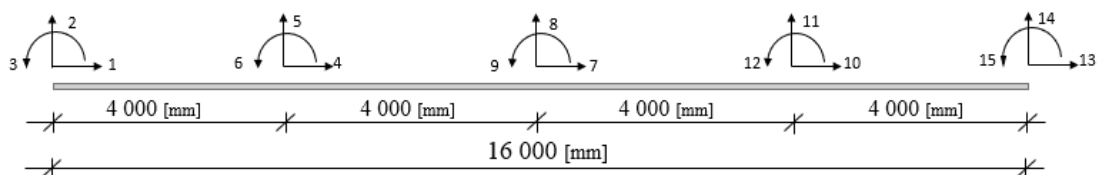


Figur 9.2: Lastfall 2, punktlasternas olika placering tvärlred.

Utifrån kontrollerade och dimensionerande lastfall används systemmodeller för att beräkna moment och tvärkraft.

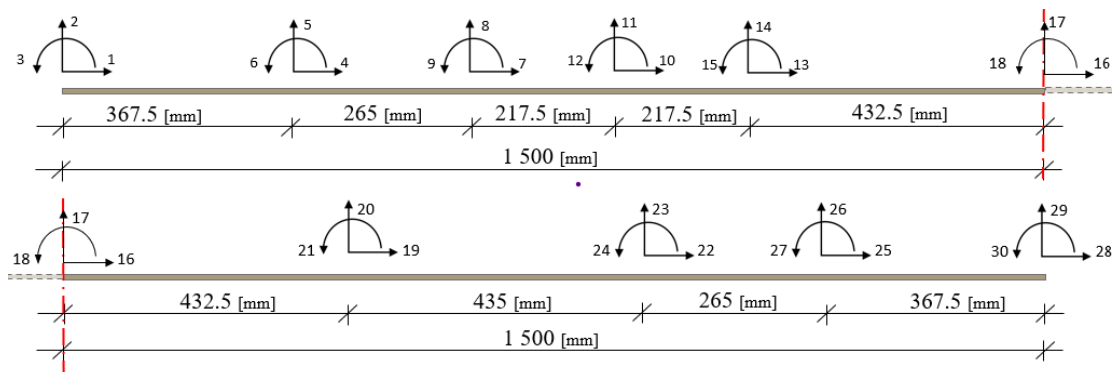
9.4 Systemmodell

Efter att laster tagits fram skapas systemmodeller med tillhörande frihetsgrader för att beräkna dimensionerande snittkrafter. För systemmodell i längsled, se Figur 9.3.

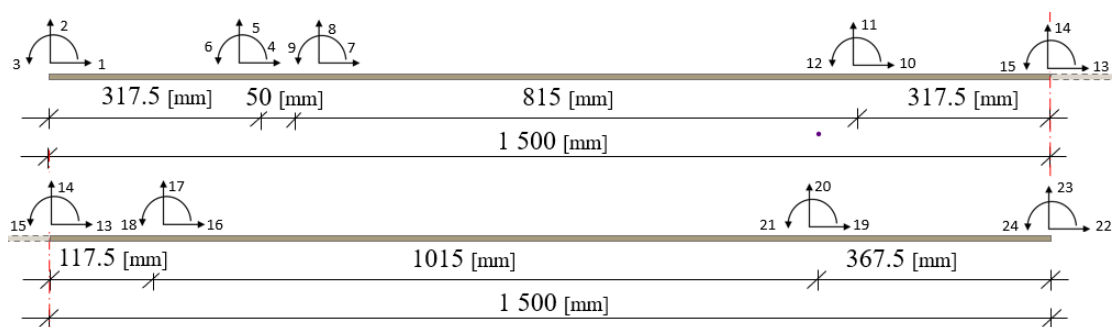


Figur 9.3: Systemmodell längsled.

I tvärled skapas två olika systemmodeller, systemmodell 1 för att kontrollera lastfallet när service fordonet är vid vägbanans kant, se Figur 9.5, och systemmodell 2 när servicefordonet är i mitten på bron, se Figur 9.4. Två olika systemmodeller gjordes för att kunna placera servicefordonets på önskad plats. Därefter dimensioneras bron limträbalkar och syllar utifrån Eurocode.

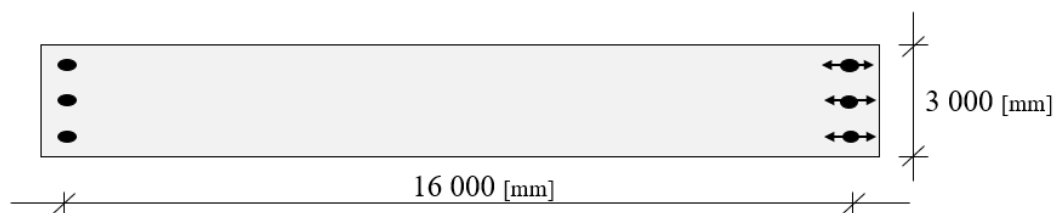


Figur 9.4: Systemmodell tvärled servicefordon i mitten.



Figur 9.5: Systemmodell tvärled servicefordon vid kanten.

Bredden på bron färd bana är tre meter vilket medför små längdutvidningar i tvärled. Då fasta lager i verkligheten är eftergivliga kommer inte betydande tvångspänningar uppstå i tvärled. Brospannet är 16 meter vilket medför större längdutvidning i längsled jämfört med tvärled. Därför väljs lager som endast tillåter rörlighet i längsled enligt Figur 9.6.

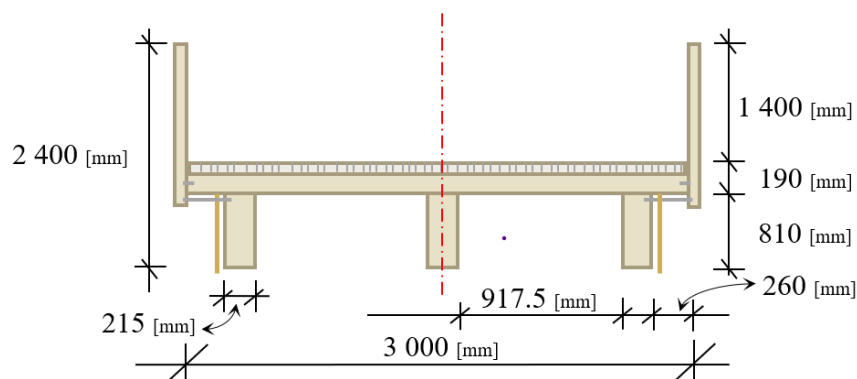


Figur 9.6: Lager som tillåter rörelse längsled.

Utifrån framtagna systemmodeller genomförs analyser i tvärled och längsled med hjälp av matlab CALFEM för att dimensionera huvudbalkar samt syllar. Beräkningarna görs iterativt utifrån standardiserade värden på limträ och konstruktionsvirke.

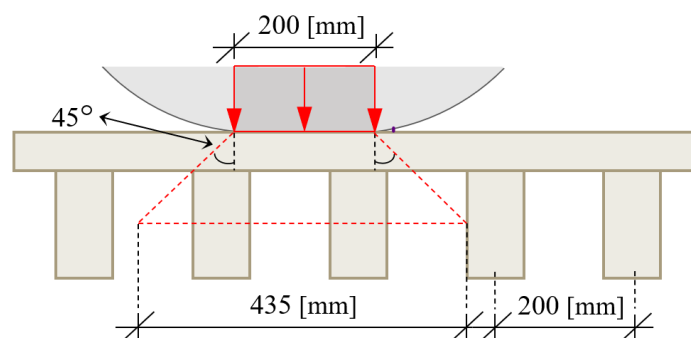
9.5 Analys i tvärled

Vid analys av syllarna beslutades att bron ska konstrueras med tre huvudbalkar för att undvika stora snittkrafter i syllarna. I tvärledsanalysen placerades även kantbalkarna närmare centrum av tvärsnittet för att minska fältmoment i syllarna. Då servicefordonet även kan befinna sig utanför kantbalken, se Figur 9.2, medför detta att syllan kan verka som en konsol. Kantbalkarnas placering itererades fram med syfte att uppnå minsta möjliga moment i syllar. Tvärsnitt på bron utformas enligt Figur 9.7.



Figur 9.7: Utformning av tvärsnitt.

Vid dimensionering av syllar antas en lastspridning på 45 grader från servicefordonets hjullast till syllarnas systemlinje (Träguiden, 2019). Detta gör att hjulets last breder ut sig på 435 millimeter i längsled och verkar över minst två syllar enligt Figur 9.8. Syllar modelleras som en kontinuerlig balk där lasten från hjulet antas fördelas jämnt över två syllar. Lasten från hjulet halveras därför i beräkningen. Utformningen av syllars kapacitet görs i enlighet med SS-EN 1995-1-1.



Figur 9.8: Hjulets lastfördelning över syllarna.

Den slutliga maximala nedböjningen från servicefordonet kontrolleras enligt (Trafikverket, 2019) och beräknas enligt SS-EN1990 (Svenska institutet för standarder, 2010). Tillåten maximal nedböjning är $L/400$ där L är centrumavståndet mellan huvudbalkarna.

9.6 Analys i längsled

Då bron konstrueras med tre huvudbalkar utförs inledningsvis en analys av en tvärledsmo-
dell, se Figur 9.4, för att kontrollera vilken balk som är mest belastad. Balkarnas utbredda

last bestäms genom att beräkna reaktionskraften som uppkommer när bron är belastad över en yta på tre meter i bredd och en meter i längsled. De lastfall som kontrolleras är trafiklast över hela samt halva bredden av bron. Den största reaktionskraften i en enskild balk blir dimensionerande linjelast som används i analys av längsledsmodellen, se Figur 9.3. För att underlätta montering på plats samt av estetiska skäl utformas samtliga balkar efter den dimensionerande balken.

Kapaciteten för balkarna räknas fram med dimensionerande materialvärden som tar hänsyn till lastvaraktighet, klimatklass och hur väl konstruktionen är tillverkningskontrollerad. För fullständiga beräkningar, se Bilaga 9. Nedböjning kontrolleras med hjälp av elementarfall och i enlighet med SS-EN1990 (Svenska institutet för standarder, 2010). Den slutliga maximala deformationen kontrolleras i två olika lastfall. Egentyngd inkluderas inte i nedböjningsberäkningar, då enbart variabla laster ska kontrolleras (M.Davidson, Personlig kommunikation, 26 april 2024), se Bilaga 9. Slutliga nedböjningen får inte överstiga kravet på $L/400$ (Trafikverket, 2019) där L är längden mellan stöden.

9.7 Resultat

Efter att samtliga kontroller av brons slutliga dimensioner godkänts kunde tvärsnitten för limträbalkarna och syllarna fastslås. Limträbalkarnas dimensionerades till 215 x 810 millimeter och syllarnas till 70 x 145 millimeter. Tillsammans med slitplanken blir brons totala konstruktionshöjd, utan räcken, 1000 millimeter. En sammanfattning av kontrollernas resultat redovisas i Tabell 9.3.

Tabell 9.3: Sammanställning av slutlig dimensionering.

Kontroller	Huvdbalk	Syllar	Enhet
Momentkapacitet	391,00	4,15	kNm
Dimensionerande värde	328,50	1,56	kNm
Utnyttjandegrad moment	84,02	37,59	%
Tvärkraftskapacitet	153,00	7,65	kN
Dimensionerande värde	82,10	7,50	kN
Utnyttjandegrad tvärkraft	53,66	98,04	%
Nedböjning	32,30	1,06	mm
Nedböjningskrav, $L/400$	40,00	2,29	mm

9.8 Dimensionering av förband

Enligt förutsättningar är den maximala längden på element tolv meter. Begränsningen bidrar till att limträbalkarna behöver skarvas och sedan monteras samman med förband. Förbanden består av vertikala plåtar på balksidorna, monterade med genomgående dymlingar. De vertikala plåtarna överför tvärkraft. På under- och ovansidan av balken placeras även spikningsplåtar, monterade med fransk träskruv. Skarvförband placeras där mindre böjmoment behöver överföras (Träguiden, 2017c), därför placeras konstruktionens skarv så de kontinuerliga balkarna är tolv respektive fyra meter långa. I beräkningsmodellen förutsätts att genomgående dymlingar endast överför tvärkraft och franska träskruvar endast

överför skjuvning parallellt fibrer från moment. För dimensioner på dymling, skruv, plåt och kapacitet per sida om skarvsnitt, se Tabell 9.4. För skiss och beräkning av förbanden, se Bilaga 5, 6, 7 och 10.

Tabell 9.4: Förbandets dimensioner per sida om skarvsnittet.

Dimensioner	Dymling	Skruv	Dymlingsplåt	Spikplåt	Enhet
Diameter	12	20	-	-	- [mm]
Längd	245	200	132	480	[mm]
Bredd	-	-	120	215	[mm]
Tjocklek	-	-	15	25	[mm]
Antal	4	6	-	-	[st]
Mängd skär	2	1	-	-	[st/förbindare]
Total kapacitet i skjuvning	47.8	134.3	-	-	[KN]
Dimensionerande Skjuvkraft	41.1	110.9	-	-	[KN]
Verkningsgrad	86	83	-	-	[%]

Förslagna skruv- och dymlingsförband dimensioneras efter hållfasthetsklass 8.8 respektive 5.6. För att förändra verkningsgraden, kan hållfasthetsklasser anpassas. För visualisering av förbanden, se Figur 9.9.



Figur 9.9: Modell över förband.

I Figur 9.9 visas att momentöverförande förband är relativt stora i jämförelse med tvärkraftsöverförande förband. Skillnaden anses rimlig då skjuvkraften från momentet är mer än dubbel så stor som tvärkraften.

10 Beskrivning av valt brokoncept

Det resulterande broförslaget för passagen över Bodelebäcken blev en balkbro i trä. De bärande balkarna konstrueras i limträ, vägbanan i slitplank och räckena i konstruktionsvirke. Preliminärt förutsätts det att bron konstrueras med tre bärande balkar. Nedan följer en detaljerad beskrivning av kommande utformning, grundläggning, produktion och underhåll.

10.1 Utformning

Huvudbärverket består av tre huvudbalkar i limträ med hållfasthetsklass GL32k med mått 810 x 215 millimeter. För att bära upp färdbanan placeras syllar ovanpå huvudbalkarna med mått 145 x 70 millimeter. Syllarnas hållfasthetsklass är C30 och centrummått är 200 millimeter. Färdbanan beslutas att konstrueras i slitplank med hållfasthetsklass C24 och standardmått 45 x 170 millimeter, dessa placeras i brons riktning. Den totala spännvidden mäts till 16 meter från stöd till stöd. Bron vilar på betongfundament med vingmurar som räckena sträcker sig in på, detta ger intrycket av en 25 meter lång bro, se Figur 10.1.

De yttersta balkarnas utvända sida är beklädda med offerskivor, en fasad, menad att skydda balken från vind och nederbörd. Vid balkarnas ändar, vid grusskiftet, monteras ett tätskikt för att skydda mot smuts och fukt. För att ytterligare skydda den bärande träkonstruktionen impregneras träet och oljas sedan in för att minimera den gröna ton impregnering kan framhäva.



Figur 10.1: Modell över brons helhet och detalj.

Balkbron är designad med Uddevallas strandpromenad som inspirationskälla. Anledningen bakom beslutet är att ge ett sammanhängande intryck där bron upplevs vara en fortsättning av strandpromenaden. Materialet har i uppgift att smälta samman med omkringliggande natur, detta samtidigt som den moderna utformningen till viss del höjer omgivningens uppfattning. Räckena har utformats för att efterlikna de räcken som finns längst strandpromenaden. På platsen återfinns ett spjälräcke i konstruktionsvirke med rundat handräcke för att möjliggöra vattenavrinning. Det som skiljer räckena åt är dimensionerna, där bland annat höjden är högre, 1,4 meter, enligt *Krav - VGU, Vägars och gators utformning* (2022), se Bilaga 8. Räckets är infäst i var nionde syll, med en luftspalt på tio millimeter enligt krav

från Trafikverket (2023). Räckets är även infäst ytterligare med en dymling i huvudbalkarna, se Figur 9.7. I ändarna av räckets, vid brons start och slut, monteras ett trävalv över färdbanan för att markera bron och vara estetiskt tilltalande.

10.2 Grundläggning och landfästen

Syftet med grundläggning är att bära ner vertikala och horisontella laster som verkar på bron ner till marken. Som tidigare nämnt så råder dåliga markförhållanden i området vid Bodelebäcken med dålig släntstabilitet. Därför beslutas det för spetsbärande pålar. Pålarna slås ner med hjälp av en pålkran, alternativt kan pålarna borraras ner för att minimera påverkan på marken (Hercules, U.Å). Stålpålar används då pålkranen för stålrörspålar väger mindre i jämförelse med en pålkran för betongpålar, vilket är gynnsamt för rådande markförhållanden. Stålrörspålarna kommer sammafogas genom svetsning eller gängning. När pålarna är godkända vid inspektion kapas de till önskad höjd och förses med en tryckfördelningsplatta i form av stödmur inklusive vingmurar. Plattan som bron står på kommer gjutas direkt på de slagna stålrörspålarna vid önskad höjd. Elastomerlager monteras sedan på stödmuren och bron installeras.

För att erosionskydda stöden kommer makadam att läggas intill stöden och slänter. Makadamfyllningen och bron bidrar med horisontella krafter på stödmuren, men kapacitet kontrolleras inte i denna rapport. Runt stöden ska en höjd på 0,5 meter uppmätas till ovanliggande träbalk och kan därav behöva schaktas ut.

10.3 Preliminär produktionsplan

Efter grundläggningen är på plats kommer brons konstruktionsmaterial fraktas till byggplatsen. Limträbalkar av längden tolv respektive fyra meter transporteras till byggplatsen och lastas av med hjälp av kranbil (Träguiden, 2018). Balkarna levereras i ett emballage (Träguiden, 2017a) som tillverkaren skickar med. Emballaget skyddar träet från fukt, smuts och andra skador. Dock kan ogynnsamma förhållanden skapa kondens i emballaget och därför bör emballaget tas bort så fort monteringen är färdigt. Limträbalkarna kommer att skarvas ihop på plats och placeras på brolagren med hjälp av kran. Emballaget tas bort och översidan av balkarna täcks med skyddspapp. Därefter monteras tvärförband mellan limträbalkarna vid upplag (Trafikverket, 2019). Syllarna kommer att fästas på balkarna med hjälp av vinkelstål och slitplank fästs på syllarna. Räckets monteras på utsida av syllar och balkar. Slutligen, efter monteringen, kommer hela träkonstruktionen att oljas in för att förebygga uttorkning och blåmögel, enligt Bilaga 4. Offerskivan placeras när utvändigt kant på balk har inoljats.

10.4 Preliminär underhållsplan

Enligt Trafikverket (2022) ställs det krav på att en träbro avsedd en livslängd på 80 år ska upprätta en underhållsplan som skall omfatta: förankringsanordning, förband, tillåten fuktkvot, träskyddets funktion och underhållsbehov samt anvisning för inspektion och underhåll.

Huvudinspektionen planeras ske med fem års mellanrum. Utöver denna genomförs det årligen en översiktlig inspektion när bron är fri från snö i samband med underhåll av bron.

Den bärande konstruktionen, balk och syll, bör oljas in årligen och övrig träkonstruktion inoljas vid behov. Beslutet gällande oljning tas med Anna Pousettes (2004) rapport som undelag då de broar som regelbundet oljats visat på få till inga märkbara brister. Färdbanan, räckena och fasaden planeras bytas ut efter halva livslängden, 40 år, om de inte visar på betydliga brister tidigare.

Den översiktliga inspektionen ska innefatta hela brokonstruktionen samt närområdet som kan försämra brons funktion. Underhållet innefattar rengöring, röjning och skötsel av färdbanan enligt Bilaga 4. Grenar som sträcker sig över färdbanan kan behöva kapas och utschaktningen kring frontmuren ska återställas till 0,5 meter om annat uppmätts vid tillfället. Betongfundamenten ska inspekteras för sprickor och stålförbanden för slitage och tecken på korrosion. Träkonstruktionen undersöks enligt Bilaga 4 med fokus på de bärande elementen. Fukthalt ska mätas i huvudbalkarnas undersida och dokumenteras med övriga anmärkningar (Trafikverket, 2020). Uppmätts en fukthalt upp mot 30 procent ska en utredning initieras för att identifiera skadeorsakan (Anna Pousette, 2004).

11 Diskussion

Nedan diskuteras de val som gjordes för att komma fram till konceptet om en balkbro i trä över Bodelebäcken i Uddevalla. Efter valet av koncept gjordes beräkningar som visar på hur utformningen hade sett ut och som sedan visualiserats i form av en skalenlig modell. Följande kapitel diskuterar de antaganden och beslut som har tagits och hur de kan ha kommit att påverka resultatet.

11.1 Projekteringsprocessen

Projekteringsprocessen utgjordes av två delar. I den första urvalsprocessen så listades 18 olika utformningar. Varje utformning undersöktes därefter utifrån dess möjliga spännvidd, huruvida den kunde utformas för att möta kravet om att inte konstruera delar under MW och om den var möjlig med tanke på de aktuella markförhållandena. När det första urvalet gjordes baserades detta på den preliminära spännvidden om 20 meter, detta gjorde att plattbron i trä uteslöts. När den slutgiltiga spännvidden fastställdes till 16 meter under dimensioneringen kunde plattbron i trä varit genomförbar. Då träbalkbron inte uppfyller Trafikverkets (2023) krav på höjd hade plattbro i trä kunnat vara ett bra alternativ. Det hade även exempelvis en fackverksbro med överliggande fackverk hade varit ett gynnsamt val med hänsyn till fri höjd under bron, då majoriteten av den bärande konstruktionen hade legat över farbanan.

Om en korrigerad av Urval 2 utförts, där plattbron i trä inkluderats, hade plattbron inte nödvändigtvis resulterat som det slutgiltiga brokonceptet. En noggrannare analys av konceptet hade krävts för att utvärdera förslagens möjlighet att uppfylla de satta kriterierna.

Den andra urvalsprocessen, Urval 2, var betydligt mer omfattande än den första. De sju kriterierna togs fram för att bättre kunna jämföra förslagen och grundar sig i vad beställaren ansåg vara viktigt hos ett hållbart koncept. Betygsättningen som sedan skedde hade såväl subjektiva som objektiva inslag, vilket innebär att en annan beställare hade kunnat få ett annat vinnande koncept. Faktorer som byggtid, underhåll samt byggbarhet anses objektiva och därför enkla att jämföra, till skillnad från estetik som till stor del ligger i betraktarens ögon. Att kriteriet ekonomi värderades lågt kan anses som orealistiskt. Det kan däremot förklaras genom avgränsningarna som gjordes samt arbetets syfte.

11.2 Dimensioneringsprocessen

Beräkningsprocessen

I dimensioneringsprocessen konstaterades det tidigt att bron inte skulle uppfylla Trafikverkets (2023) krav på fri höjd till mark när spännvidden ansattes till 20 meter. För att istället uppfylla beställarens nya krav påbörjades en process att hitta en optimal lösning med så liten konstruktionshöjd som möjligt.

För att minska höjden på limträbalkarna reducerades spännvidden från 20 till 16 meter efter samtal med beställare. Inledningsvis var bron tänkt att utföras med två bärande hu-

vudbalkar. Efter vidare beräkningar visade det sig att denna utformning resulterade i vad som ansågs vara för höga syllar. För att minska syllarnas höjd ansattes istället tre huvudbalkar. Trots att syllarna kunde modelleras med tre stöd i tvärled var punktlaster från servicefordonet fortfarande problematiska. I vidare samtal med beställare gavs tillåtelse att reducera servicefordonets last från 120 till 30 kN, vilket motsvarar ett mindre snöröjningsfordon. Dessutom flyttades de två yttre huvudbalkarna in mot centrum av tvärsnittet. Justeringarna gjorde att syllarnas höjd till slut ansågs rimliga.

Under processen gjordes en del förenklingar och konservativa antaganden. Exempelvis slogs servicefordonets axellaster ihop till en punktlast i längsledsberäkningar. Antagandet leder till ett något värre lastfall och därmed en överdimensionering vilket får anses vara en rimlig förenkling då tyngden från servicefordonet är litet och inte kommer vara det värsta lastfallet. Då mittbalken är dimensionerande och de två kantbalkarna har samma dimensioner medför det att de har god kapacitet att bära ytterligare last. Eftersom tyngden från räcken kommer att verka på kantbalkarna har lasten inte inkluderas i dimensioneringen då balkarna anses klara den lasten.

Under dimensioneringsprocessen har ett flertal faktorer försumrats, faktorer som identifieras, men som inte är med i beräkningarna är horisontella laster, längdutvidgning och temperaturlaster. I samtal med handledare på COWI (M.Davidson, Personlig kommunikation, 26 april 2024) beslutades det att göra dessa avgränsningar då lasterna ansågs irrelevanta för en lågt placerad, kort träbro.

Det framtagna brokonceptet anses vara genomförbart, detta då rimlighetsbedömnar har gjorts kontinuerligt och personlig kommunikation har varit rådgivande i val av modeller. Vidare kan man däremot ifrågasätta om ett koncept med en mindre balkhöjd hade varit att föredra. Fall där beställaren frångår trafikverkets regler medför risker som kan innebära konsekvenser. Tvärspända träbalkar hade möjliggjort ett mindre tvärsnitt som hade underlättat inspektionsmöjligheter, minskat materiåtgången och skapat en högre frihöjd. Dimensionering i det fallet hade blivit betydligt mer omfattande och krävt ytterligare underlag samt kontroller.

Modellbyggnation

Genom att modellera det framtagna konceptet uppnås en större förståelse för bronns faktiska gestaltning, se Bilaga 11. Modellen agerar som ett bra komplement till de 2D ritningar som tidigare utformats och ger en mer omfattande helhetsbild. De mest kritiska produktionstekniska delarna blir desto mer uppenbara i modellen och kan på så vis hanteras bättre.

12 Slutsats

Syftet med rapporten var att på ett tillfredställande sätt ta fram ett broförslag över Bodelebäcken i Uddevalla. En preliminär dimensionering utfärdades sedan i samband med byggnationen av en skalenlig modell. Rapporten presenterar en balkbro i trä som det slutgiltiga resultatet och denna har utförts med ett huvubärverk i form av tre huvudbalkar. Den genomförda preliminär dimensioneringen bevisar brons tillräcklighet att uppfylla satta krav. Det slutgiltiga konceptet valdes till främst baserat på de viktade kriterierna som togs fram i Urval 2. Dessa kriterier var till viss del subjektiva och resultatet är därför det bästa utifrån satta parametrar.

Sammanfattningsvis, utifrån satta premisser, kan det konstateras att syftet med arbetet är uppfyllt. Ett lämpligt brokoncept som möjliggör transport över Bodelebäcken har presenterats.

Referenser

- Abelsson, B., Båge, P. & Westerlund, L. (1998). *Träbroar* [PM]. 118 82 Stockholm.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner del 1* (6:e utgåvan). Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2014). *Bärande konstruktioner del 2* (1:a utgåvan). Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Anna Pousette, P.-A. F. (2004). *Broinspektion - träbroar*.
- Bernhard, D., Steffen, K., Angela, J. & Iztok, P. (2019). Backshoring of production activities in european manufacturing. *Purchasing and supply Management*, 25. (<https://doi.org/10.1016/j.pursup.2019.02.003>)
- Burström, P. (2001). *Byggnadsmaterial* (4:e utgåvan). Lund: Studentlitteratur.
- Hercules. (U.Å). *Stålrörspålar*. Hämtad 2024-03-20, från <https://hercules.se/grundlaggning/palning/stalrorspalar/>
- Karlsson, M. (2022). *Broprojekteringshandbok* (1:a utgåvan). Trafikverket.
- Krav - vgu, vägars och gators utformning*. (2022). Hämtad från <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1621114/FULLTEXT02.pdf> (Version 1.0)
- Lebet, J.-P. L. & Hirt, M. A. (2017). *Steel bridges*. EPFL Press.
- Lisa Andersson, S. M. (2021). *Hur påverkar byggskedet människor i omgivningen*.
- Ritter, M. (1990). *Timber bridges: Design, construction, inspection, and maintenance* (1:a utgåvan). Washington, DC: datamotion Publishing LLC.
- Stenastål. (2024). *prislista*. Hämtad 2024-02-27, från <https://www.stenastal.se/om-oss/kundinformation/prislista/>
- Svenska institutet för standarder. (2010). *Eurocode 1: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk* (nr. SS-EN 1990). Hämtad 2024-05-02, från <https://www.sis.se/api/document/get/32603>
- Svenska institutet för standarder. (2019). *Eurocode 1: Laster på bärverk - del 2: trafiklast på broar* (nr. SS-EN 1991-2). Hämtad 2024-04-17, från <https://www.sis.se/api/document/get/72046>
- Trafikverket. (2014). *Batman-kodföreteckning och beskrivning av brotyper*.

- Trafikverket. (2019). Krav brobyggnad. *Trafikverkets styrande dokument*.
- Trafikverket. (2020). *Inspektion av bro och övriga byggnadsverk* (nr. TRVINFRA-00213).
(Version 1.0)
- Trafikverket. (2021). *Bro och broliknande konstruktion, brounderhåll*. (TRVINFRA-00228)
- Trafikverket. (2022). *Bro och broliknande konstruktion, allmänna krav*. (TRVINFRA-00226)
- Trafikverket. (2023). *Bro och broliknande konstruktion, byggande*. (TRVINFRA-00227)
- Trafikverket. (u.å.). *Skötselråd för årligt underhåll av broar*. Hämtad 2024-05-07, från <https://bransch.trafikverket.se/contentassets/7711c5e0618b4193aa76be2dcdf195e5/skotselrad-for-arligt-underhall-av-broar.pdf>
- Träguiden. (2015). *Fackverksbroar*. Hämtad 2024-04-01, från <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/fackverksbroar/>
- Träguiden. (2017a). *1.5.6 skydd vid transport, lagring och montage*. Hämtad 2024-04-24, från <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/projektering-av-limtrakonstruktioner/limtra-som-konstruktionsmaterial1/utseendekvalitet-och-ytbehandling/skydd-vid-transport-lagring-och-montering/>
- Träguiden. (2017b). *Bågbroar*. Hämtad 2024-03-08, från <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/projektering-av-limtrakonstruktioner/konstruktionssystem-for-limtra/limtrabroar/bagbroar/>
- Träguiden. (2017c). *Limträhandboken*. Hämtad 2024-04-23, från <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/projektering-av-limtrakonstruktioner/forband-och-anslutningsdetaljer/balkskarvar-nockskarvar-gerberbeslag/balkskarvar-nockskarvar-gerberbeslag/>
- Träguiden. (2018). *Transport av limträ*. Hämtad 2024-04-24, från <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/planering-och-montage-av-limtrakonstruktioner/att-montera-limtra/1.3-transport-av-limtra/transport-av-limtra/>
- Träguiden. (2019). *Balkbro för gång- och cykeltrafik samt servicefordon*. Hämtad 2024-05-02, från <https://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/>

berakningsexempel/trabroar/balkbro-for-gang--och-cykeltrafik-samt
-servicefordon/

Träguiden. (u.å.). Hämtad 2024-05-04, från [https://www.traguiden.se/underhall/
bÄgbroart-och-underhall/altaner-balkonger-och-yttertrappor/altaner
-balkonger-och-yttertrappor/traskyddsklasser/](https://www.traguiden.se/underhall/bÄgbroart-och-underhall/altaner-balkonger-och-yttertrappor/altaner-balkonger-och-yttertrappor/traskyddsklasser/)

Uddevalla Kommun. (2017). *Uddevalla cykelkarta*. Hämtad från [https://www.uddevalla
.se/download/18.4c635da91558fd2162d87d/1524562512549/Cykelkarta.pdf](https://www.uddevalla.se/download/18.4c635da91558fd2162d87d/1524562512549/Cykelkarta.pdf)

Bilageförteckning

1	Ritning av förutsättningar	1
2	Projekterings-PM Bodelebäcken	3
3	Byggmaterial för brokonstruktioner	10
4	Skötsel av träbro - underhållsaspecter, underhåll och inspektion	13
5	Momentöverförande del av förbandet	15
6	Tvärkraftsöverförande del av förbandet	16
7	Snitt inuti förbandet	17
8	Utformning av räcken	18
9	Beräkningar av laster och dimensioner av bron	19
10	Beräkningar av förband	50
11	Skalenlig modell	53

Bilaga 1 - Ritning av förutsättningar

ANVISNINGAR
ARBETE SKA UTFÖRAS ENLIGT TRIVNIRA-00226 SAMT -00227.

NIVÅER INOM PÄRENTES AVSER NORRA SOAN

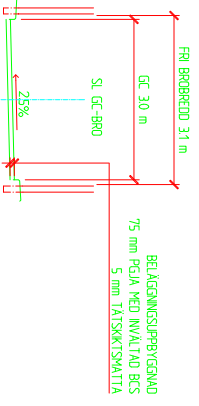
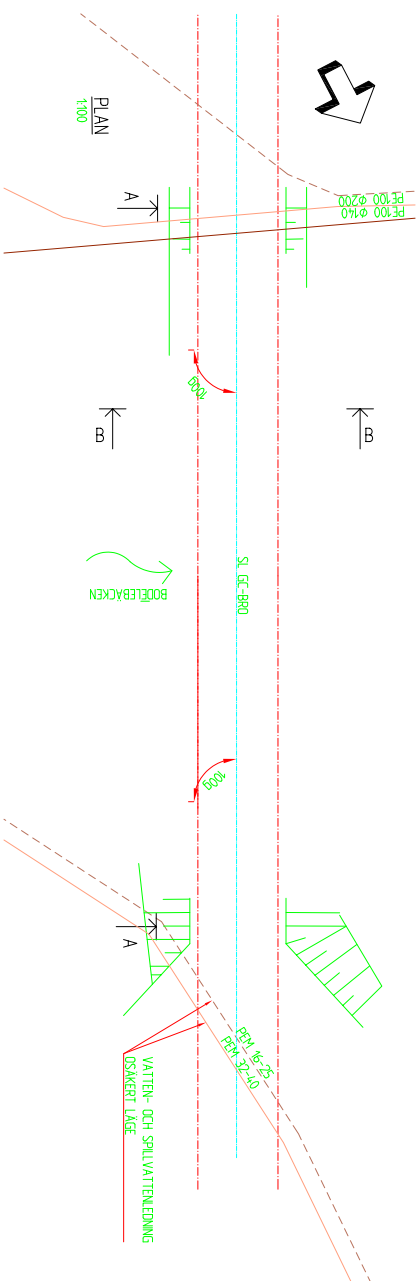
KOORDINATSYSTEM
PLAN SWEREF 99 12 00
HÖJD RH 2000

FÖRKLÄRNINGAR

- ◆ LÖDLOBB
- ♦ EKLOBB
- ✂ AVVÄGNINGSÖUB
- ≡ MARK
- # RÄCKESTÄNDARE

HÄNVISNINGAR
PÅ PLAN

SE RITN 1485-165-1-100



GEOTEKNISKA PARAMETRAR

MATERIAL	NIVÅ	Cud I(ρ _{spj})
FRÄKTIONSJORD	-2 TILL + 0,5	-
LERA	+0,5 TILL -3	8,6 + 0,65*Z ^{0,7}
LERA MED FRÄKTIONSJORD	-3 TILL -7	8,6 + 0,65*Z ^{0,7}
BERG ²⁾	<-7	-

- 1) DAR Z = 0 VID NIVÅ 0
- 2) VARIATION AV STEN BLOCK, BERG OCH FAST LAGRAD FRÄKTIONSJORD



BYGGHANDLING

BRO 1485-165-1
GÅNGBRÖ ÖVER BÖDEBÄCKEN



COWI AB
Svevägsgatan 1
SE-171 64 Solna
Svevägsgatan 1
SE-171 64 Solna

PROJEKTLEDARE: EVA ROSENTHAL
SÄKERHETSANSVARIG: SIFÅSIFA
SIFÅSIFA

DATE: 2022-04-01
AVTALSNUMMER: 1485-165-1
NY GÅNGBRÖ ÖVER BÖDEBÄCKEN
SAMMANSTÄLLNINGSRITNING

SE RITNING 1485-165-1-100

Bilaga 2 - Projekterings-PM Bodelebäcken



Bodelebäcken

Uddevalla kommun
Ny bro

Projekterings-PM/Geoteknik



Uppdragsansvarig: David Palmquist

Handläggare: David Palmquist

Granskning: Henrik Lundström

Uppdragsnr: 20054

Datum: 2021-05-28

Revision:

Bohusgeo AB
Bastiongatan 26
451 50 Uddevalla

Tel. vxl
0522-946 50

Webb
www.bohusgeo.se

Orgnr
556601-5243

Innehåll

1	Uppdrag	3
2	Syfte.....	3
3	Underlag	3
4	Styrande dokument	3
5	Befintlig och planerad byggnation	3
6	Befintliga förhållanden.....	3
6.1	Mark, vegetation och topografi	3
6.2	Geotekniska förhållanden.....	4
6.3	Geohydrologiska förhållanden.....	4
7	Släntstabilitet.....	4
7.1	Allmänt.....	4
7.2	Valda parametrar	5
7.3	Beräkningar.....	5
7.4	Resultat.....	5
7.5	Erosion.....	6
8	Grundläggning av brostöd	6
8.1	Allmänt.....	6
8.2	Sammanställning av härledda egenskaper.....	6
8.3	Geoteknisk kategori och säkerhetsklass	6
8.4	Dimensionerande värden	6

Bilagor

Bilaga 1	Plan, beräkningssektion
Bilaga 2	Skjuvhållfasthetssammanställning
Bilaga 3:1-3:2	Släntstabilitetsberäkningar
Bilaga 4:1-4:2	Foton från platsbesök

k:\2020\20054_bodelebäcken\teknikutredning\pm\bodelebäcken.docx\dp
mall: proj\pm\2016-10-05.dox

Sida	Uppdrag	Handling	Uppdragsnr	Datum	Rev.datum
2 (7)	Bodelebäcken	Projekterings- PM/Geoteknik	20054	2021-05-28	

1 Uppdrag

På uppdrag av Uddevalla kommun har Bohusgeo AB utfört en geoteknisk undersökning för en ny bro över Bodelebäcken i Uddevalla.

2 Syfte

Uppdragets syfte är att undersöka de geotekniska förhållandena som underlag för redovisning av släntstabiliteten och lämplig grundläggningsmetod för den planerade bron.

3 Underlag

Underlaget för de i detta PM redovisade utvärderingarna utgörs av:

- fält- och laboratoriearbeten utförda av oss för projektet. Resultaten finns redovisade i en MUR 2020-08-07 (uppdrag 20054).

4 Styrande dokument

Utredningen har utförts i enlighet med tillämpliga delar i dokument förtecknade i Tabell 1.

Tabell 1, Styrdokument

Typ av utredning	Styrande dokument
Alla utredningar	SS-EN 1997-1, SS-EN 1997-2 IEG Rapport 2:2008, rev 3 IEG Rapport 4:2008, rev 1

5 Befintlig och planerad byggnation

Inom undersökningsområdet finns en befintlig bro för GC-trafik som ska ersättas med en ny. Undersökningen är utförd vid det nya broläget. Utformningen av den nya bron och vilka laster som påförs brostöden är inte känt.

6 Befintliga förhållanden

6.1 Mark, vegetation och topografi

Det undersökta området är ca 25 x 10 m och utgörs av Bodelebäcken och området runt strandbrinkarna på båda sidor om bäcken, väster om befintlig bro. Vegetationen inom landområdet består till stor del av ängsmark med vass.

Markytans nivå är som högst ca +2 inom undersökningsområdet och lägsta nivån på bäckbotten är ca -1. Slänterna mot bäcken har en lutning som i huvudsak varierar mellan 1:5 och 1:2. Lokalt förekommer brantare slänlutningar.

k:\2020\20054_bodelebäcken\teknisk\utredning\pm_bodelebäcken.docx\dp
mail: proj_pm2016-10-05.dax

Uppdrag	Handling	Uppdragsnr	Datum	Rev.datum	Sida
Bodelebäcken	Projekterings- PM/Geoteknik	20054	2021-05-28		3 (7)

6.2 Geotekniska förhållanden

Det totala sonderingsdjupet är ca 18 m. Jordlagren bedöms under vegetationsjordlagret från markytan räknat i huvudsak utgöras av:

- fast ytlager
- lera
- friktionsjord vilande på berg

Det fasta ytlagret utgörs av **sand, finsand och silt** och tjockleken är ca 0.5 m. På södra sidan av bäcken är det fasta ytlagret bedömt som fyllning. Växtdelar förekommer. Vattenkvoten har uppmätts till mellan ca 10 och ca 40 %. Silten är mycket tjällyftande och starkt flytbenägen.

Lera finns till mellan ca 17 och ca 18 m djup. Från ca 14 m djup och nedåt förekommer rikligt med skikt av friktionsjord. I punkt 101 påträffas även ett friktionsjordsskikt på ca 8 m djup. Leran är siltig till mycket siltig. Vattenkvoten har uppmätts till mellan ca 30 och ca 60 %. Konflytgränsen har uppmätts till ca 45 %.

Skjuvhållfastheten har bestämts genom vingförsök och CPT-sonderingar i fält. En sammanställning av skjuvhållfastheterna redovisas i bilaga 2. Den, med hänsyn till konflytgränsen, korrigerade skjuvhållfastheten uppgår till mellan ca 10 och ca 20 kPa närmast under det fasta ytlagret och ökar med ca 1 kPa/m mot djupet.

Skjuvhållfastheten indikerar att leran är normalkonsoliderad till något överkonsoliderad.

Friktionsjorden under leran har inte undersökts närmare. Sonderingarna har trängt ned ca 1 m och stoppat i den fast lagrade friktionsjorden eller mot sten, block eller berg.

Bergnivån har inte bestämts.

6.3 Geohydrologiska förhållanden

Grundvattennivån har inte uppmätts. Eftersom det undersökta området ligger nära Bodelebäckens mynning mot havet, så bedöms ytvattnet i bäcken och grundvattnet vara starkt påverkat av havsvattenståndet. Grundvattenytan bedöms normalt ligga ca 0.5 till 1 m under markytan.

7 Släntstabilitet

7.1 Allmänt

Släntstabiliteten har beräknats i sektion A, se placering i bilaga 1.

Stabilitetsberäkningarna har utförts med datorprogrammet Geosuite Stability. Beräkningarna har utförts med cirkulär-cylindriska glidytor med odränerad (c) och kombinerad analys (komb). Beräkningarna är utförda med totalsäkerhetsanalys.

Den utförda undersökningen bedöms motsvara detaljerad nivå enligt IEG R4:2010.

k:\2020\20054_bodelebäcken\teknikutredning\pm_bodelebäcken.docx\dp
mail: proj\pm2016-10-05.docx

Sida	Uppdrag	Handling	Uppdragsnr	Datum	Rev.datum
4 (7)	Bodelebäcken	Projekterings- PM/Geoteknik	20054	2021-05-28	

Erforderliga säkerhetsfaktorer enligt IEG R4:2010 framgår av Tabell 2.

Tabell 2, Erforderliga säkerhetsfaktorer enligt IEG R4:2010

Utredningsnivå	F_c	F_{komb}
Detaljerad utredning, befintlig bebyggelse	$\geq 1.7-1.5$	$\geq 1.5-1.3$
Detaljerad utredning, nyexploatering	$\geq 1.7-1.5$	$\geq 1.5-1.4$

Eftersom sensitiviteten inte är känd bedöms en beräknad säkerhetsfaktor i den övre delen av intervallet erfordras. Följande säkerhetsfaktorer har valts enligt Tabell 3.

Tabell 3, Valda erforderliga säkerhetsfaktorer

	F_c	F_{komb}
Detaljerad utredning, nyexploatering	≥ 1.6	≥ 1.45

7.2 Valda parametrar

Vald skjuvhållfasthet redovisas i bilaga 2.

I beräkningsmodellen har grundvattenytan lagts ca 0.5 m under markytan och bäcken har modellerats utdränerad.

Beräkningarna har utförts utan tillkommande laster från bron.

7.3 Beräkningar

Beräknade säkerhetsfaktorer redovisas i Tabell 4. I tabellen redovisas både beräkningar för befintliga förhållanden och för en utfläckning av slänterna till släntlutning 1:3. Beräkningssektioner redovisas i bilaga 3.

Tabell 4, Beräknade säkerhetsfaktorer

Sektion\Analys	F_c	F_{komb}
Sektion A, bef. förh. västra sidan	2.05	1.28
Sektion A, bef. förh. östra sidan	2.32	1.39
Sektion A, utfläckning 1:3, västra sidan	-	1.49
Sektion A, utfläckning 1:3, östra sidan	-	1.69

7.4 Resultat

Släntstabiliteten bedöms, under nuvarande förhållanden och med nuvarande undersökningsgrad, vara otillfredsställande för slänterna på bäckens båda sidor. Utförs en utfläckning av slänterna till lutning 1:3 när släntstabilitetsberäkningarna erforderlig säkerhetsfaktor under förutsättning att släntkrön och slänt inte belastas av ytterligare laster, t.ex. från bron.

Uppdrag	Handling	Uppdragsnr	Datum	Rev.datum	Sida
Bodelebäcken	Projekterings-PM/Geoteknik	20054	2021-05-28		5 (7)

k:\2020\20054_bodelebäcken\teknik\utredning\pm_bodelebäcken.docx\dp
mail: proj_pm2016-10-05.dax

Utflackningen kan med fördel utföras som en kombination av avschaktningar på släntröner och fyllningar (erosionsskydd) vid släntrötter.

7.5 Erosion

Viss erosion bedöms pågå i bäckfåran. I övrigt är markytan klädd med kraftig växtlighet av gräs och vass som bedöms som erosionsskyddande. Se bilder från området i bilaga 4. Pågående erosion bedöms successivt försämra släntstabiliteten i området.

Slänterna runt brofästen bör erosionsskyddas både över och under vattenytan på ytor där växtlighet inte ger tillräckligt erosionsskydd.

8 Grundläggning av brostöd

8.1 Allmänt

Eftersom släntstabiliteten är otillfredsställande för befintliga förhållanden och dessutom påverkas negativt om laster från bron tillförs markytan, så rekommenderar vi att brostöden pålas med spetsbärande pålar. Härledda och dimensionerande parametrar för pålning redovisas nedan.

8.2 Sammanställning av härledda egenskaper

Härledda skjuvhållfastheter med valda värden redovisas i bilaga 2.

8.3 Geoteknisk kategori och säkerhetsklass

Geoteknisk kategori GK2 och säkerhetsklass SK2 bedöms gälla.

8.4 Dimensionerande värden

För dimensionering av pålning bedöms dimensionerande parametrar enligt Tabell 5 gälla. Dimensionerande jordlagerparametrar har beräknats med partialkoefficienter och delfaktorer enligt IEG rapport 8:2008 rev 3. Valda delfaktorer redovisas i Tabell 6.

Observera att delfaktor 6-8 beror av geokonstruktionen. Valet av delfaktorer 6-8 bör därför kontrolleras av konstruktören i samband med påldimensioneringen.

Tabell 5, Dimensionerande jordlagerparametrar

Jordlager	Nivå ²	Egentyngd	Skjuvhållfasthet/ Friktionsvinkel
Friktionsjord (silt och sand) ¹	ca +2 till +0.5	$\gamma_d = 19 \text{ kN/m}^3$ $\gamma'_d = 11 \text{ kN/m}^3$	$\phi'_{d,1} = 23.8^\circ$
Lera	ca +0.5 till -13	$\gamma_d = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma'_d = 7 \text{ kN/m}^3$	$C_{ud} = 8.6 + 0.65z$, där $z = 0$ vid nivå 0

k:\2020\20054_bodelebäcken\teknikutredning\pm\bodelebäcken.docx\dp
mail: proj\pm2016-10-05.docx

Sida	Uppdrag	Handling	Uppdragsnr	Datum	Rev.datum
6 (7)	Bodelebäcken	Projekterings- PM/Geoteknik	20054	2021-05-28	

Lera med skikt av friktionsjord	ca -13 till -17	$\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma'_d = 10 \text{ kN/m}^3$	$C_{ud} = 8.6 + 0.65z$, där $z = 0$ vid nivå 0
---------------------------------	-----------------	---	--

¹⁾ Marknivån varierar inom området mellan ca +2 och ca -1.

²⁾ Nivåer för påträffade jordlager samt sonderingsstopp varierar något i undersökningspunkterna, se även ritningar i MUR 2020-08-07.

Tabell 6, Valda delfaktorer

Delfaktor	Valt värde
$\eta_{1,2}$	0.92
η_3	1.00
η_4	0.95
η_5	1.00
η_6^*	1.05
η_7^*	1.00
η_8^*	1.00

^{*)} Delfaktorn beror av geokonstruktionen. Valet bör kontrolleras av konstruktör vid dimensionering av pålarna.

k:\2020\20054_bodelebäcken\teknikutredning\pm bodelebäcken.docx\dp
mail: proj-pm2016-10-05.dax

Uppdrag Bodelebäcken	Handling Projekterings- PM/Geoteknik	Uppdragsnr 20054	Datum 2021-05-28	Rev.datum	Sida 7 (7)
-------------------------	--	---------------------	---------------------	-----------	---------------

Bilaga 3 - Byggmateriäl för brokonstruktioner

För att välja ett optimalt material för en gång- och cykelbro över Bodelebäcken behöver konstruktionsmaterial utvärderas och analyseras. Materialval är viktigt ur ekonomisk och ekologisk aspekt då materialen skiljer i kostnad och miljöpåverkan. Nedan följer en beskrivning av byggmaterialen trä, stål och betong eftersom dessa material anses vara optimala för brokonstruktion.

Trä - egenskaper, byggkostnader och underhåll

Trä är ett levande material och dess fysiska egenskaper påverkas därför av faktorer som fuktkvot och temperatur. Enligt Ritter (1990) påverkar fuktkvoten träs bärande kapacitet, styvhet och densitet. Utvidgningar kan uppkomma av både fukt och värme, men normalt sett är värmeutvidgningen försumbar jämfört mot den som ges av fukt. Trä har även en låg värmeledningsförmåga vilket gör att den inte reagerar lika snabbt med omgivande lufttemperatur. Värme försämrar träs bärande kapacitet.

Det finns defekter i trä som exempelvis kvistar som sänker hållfastheten i materialet eftersom de avbryter kontinuiteten och ändrar riktning i träfibrerna. Ritter menar att kvistar är mer kritiska i drag än i tryck och kan skapa lokala spänningskoncentrationer. För att minska påverkan av dessa effekter används ofta limträ som konstruktionsmaterial.

Trä kan brytas ner genom röta eller biologiska anfall. För att röta eller annat biologiskt anfall ska ske måste det finnas syre, temperatur över tio grader Celsius och energi, vilket i detta fall är träet, och fukthalten måste överstiga fibermättnad. Långtidseffekter som behöver beaktas vid träkonstruktion är lastvaraktighet, krypning, utmattning och behandlingsmetoder.

Ritter skriver också att det vanligaste felet vid produktion är att bron byggs på plats i stället för att prefabriceras i delar och monteras på plats. Prefabricering minskar risken att förstöra de täckande hölje av behandling som finns i träet. Ritter nämner även att på grund av träs relativt låga densitet är det enkelt att hantera materialet på byggplatsen och prefabricerade element kan enkelt lyftas på plats med mindre maskiner.

Byggkostnader för träkonstruktioner kan hållas låga enligt Svenskt trä (2024). De menar att transporter blir färre i och med träs låga egenvikt och byggtiden kan hållas kort. Enligt rapporten Träbroar (Abelsson m. fl., 1998) visade en tysk undersökning att en årlig kostnad för underhåll ligger i genomsnitt på 0,9 procent av investeringskostnaden och kan uppskattas till något högre i svenska miljöer.

Stål - egenskaper, byggkostnader och underhåll

Stål är ett mycket vanligt byggnadsmaterial, både som självständigt material och i kombination med andra material, exempelvis armering i betong. På grund av dess höga hållfasthet och E-modul ger stål möjlighet till slanka, optimerade konstruktionselement där stabilitet blir en avgörande faktor (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013). Stål som material förekommer frekvent varmvalsat eller kallbearbetat. Kallbearbetning ger ökad sträckgräns, men minskad tøjbarhet.

Ståls livslängd beror främst på korrosionsbildning (Burström, 2001). I luft sker mycket lite korrosion under 60 procent relativ fuktighet. Om materialet är i kontakt med vatten beror korrosionen av faktorer som salthalt och pH-värde. Förutsättningarna avgör korrosionshastigheten.

Den vanligaste skyddsåtgärden mot korrosion är rostskyddsmalet men vanliga lösningar är också förzinkning, emaljering eller användning av särskilda legeringar. Val av rostskyddssystem styrs ofta av ekonomiska aspekter. Det lämpligaste valet görs utifrån livslängd, inledande kostnad, framtida underhåll och hållbarhet. I och med att stabilitet är kritiskt för stålkonstruktioner behövs globala instabilitetsfenomen för ett stålelement tas till hänsyn.

Produktion av stålartiklar börjar i fabrik med plattor av önskad stålsort (Lebet & Hirt, 2017). Med hjälp av svetsning, sågning, borrar och bultning formas önskad geometri för stålelementet. Möjlig transport till byggplats har en avgörande roll för prefabriceringsmöjligheter och dimensioner på element. Delar kan rostskyddmålas i fabriken och på byggplatsen sammansluts stålelementen med hjälp av framförallt svetsning och bultning. Sammankopplande delar som knutpunkter och kanter skyddmålas under produktion av bron på plats.

Underhåll av stålkonstruktioner innebär oftast att konstruktionen måste rostskyddmålas med tiden. Hur ofta och hur omständligt underhållsarbetet blir beror på konstruktion, exponeringsklass och tillgänglighet. Högre exponeringsklass resulterar i mer frekvent underhåll och kostsamma lösningar.

Enligt Stenastål (2024) är kostnaden på rostfritt stål för en HEA100 balk på 291,1 kr/kg jämfört med en balk i konstruktionsstål som ligger på 29 kr/kg. Skillnaden i pris gör att rostfritt stål inte är aktuellt för bärande element till arbetets brokoncept.

Betong - egenskaper, byggkostnader och underhåll

Egenskaper hos betong kan förändras med hjälp av tillsatsmedel i både färsk och hårdnande betong (Burström, 2001). Hållfasthet hos betong beror på hållfastheten hos dess cement. Genom att ändra vattencementtal kan egenskaper hos cementpastan förändras, där lägre vattencementtal ökar hållfastheten hos betongen.

Betong är ett material som är starkt i tryck och svagt i drag. Därför förekommer betong ofta som ett kompositmaterial med dragarmering som utnyttjar stålets höga draghållfasthet. Betong har en viss porositet och kan samla vatten vilket gör att det finns risk för frostsprängning vid minusgrader (Burström, 2001). Vatten fungerar även som ledare för salter vilket kan tränga in i betongen och orsaka saltsprängning. Vid sprickor i betong är även armeringen känslig för korrosion som tidigare nämnt. Burström nämner även att ung betong är särskilt känslig för en kombination av salt och frostangrepp. Betongens klimatpåverkan kan reduceras genom att använda tillsatsmaterial.

Al-Emrani m. fl. (2014) skriver att det är naturligt att betongkonstruktioner spricker på grund av betongens låga draghållfasthet. Vid dimensionering förutsätts det att betongtvärsnittet kommer att spricka och dimensioneras därefter beroende på exponeringsgrad och livslängd. Författarna skriver även att styvheten påverkas negativt av sprickbildningen och medför en ökad deformation. Vattentäthet och beständigheten kan också påverkas av

sprickbildning.

För att motverka sprickbildning i bruksstadiet kan betong förspännas så att betongen hamnar i tryck (H. Broo, Personlig kommunikation, 23 februari 2024). Broo nämner även att förspänning av betongen primärt inte ökar bärformågan i brottsgräns. Förspänningseffekter kan uppnås via förspänning, efterspänning och extern förspänning.

Fördelar med prefabricerad betong är kontrollerade förhållanden, goda arbetsförhållanden samt att minskad härdningstid på byggplats. Platsgjutning är fördelaktigt när man behöver få in material på svåråtkomliga platser. Det kan även gjutas större konstruktioner på plats.

Betongkonstruktioner kan behöva repareras om det uppstår skador eller grov sprickbildning. Annars är behov av underhåll på betongkonstruktioner litet.

Bilaga 4 - Skötsel av träbro - underhållsaspekter, inspektion och förebyggande

Trä är ett organiskt material som därmed riskerar förruttelse. För att förhindra röta skall träet skyddas från fukt och syre i den utsträckning att nischen ej går att bruka för de som utgör det potentiella hotet. I detta fall, parasiter, bakterier, insekter och svampar. Ytterligare ett behov för organismerna är födokälla, vilket i detta fall utgörs av träet.

Brokonstruktionen i sin helhet är en sammansättning av trä, stål och betong. Bärverket är i trä, ramen utformas i betong och förbanden är av stål. Alla dessa material utsätts för mekaniska påfrestningar såsom nederbörd, vind och trafikbelastning, där färdbanan särskilt utsatt. Utöver det kan trä även skadas av UV-ljus vilket bryter ned ligninet i träet som binder ihop cellulosa fibrerna och därigenom nedsätter hållfastheten (Ritter, 1990). Korrosion, ett kemiskt fenomen ofta orsakad av vatten och salter, kan försvaga dymlingarna som håller samman bron. Produkterna från korrosionsreaktionen har även en påverkan på träkonstruktionen och kan reducera bärförmågan genom att skada träs cellväggar (Ritter, 1990).

Ritter (1990) redogör för att skador på träet kan upptäckas genom antingen en visuell inspektion eller via genomförande av olika tester. Visuella indikationer inkluderar missfärgningar, oregelbundenhet i form av hål och nedsjunkningar, eller förekomst av fruktkroppar, växtlighet och insekter. Övriga tester syftar på att upptäcka bland annat, förmultning, fukthalt och ihålligheter, vilka kan analyseras med hjälp av plocktest, pilodyn, shigometer, fuktmätare eller borrh.

Själva inspektionen delas upp i huvudinspektion och särskild inspektion enligt Trafikverket (2020). Huvudinspektionen genomförs med max sex års mellanrum och omfattar konstruktionselement som påverkar brons funktion eller säkerhet. För trä ställs det bland annat krav på att vid huvudinspektionen mäta träkonstruktionens fukthalt i dess undersida. Noterar inspektören brister skall en särskild inspektion komplettera huvudinspektionen i syfte att exempelvis inspektera konstruktionsdelar som vid tillfället ej var möjligt, ta prover för att utreda skadeorsakan, eller för att tillkalla specialist.

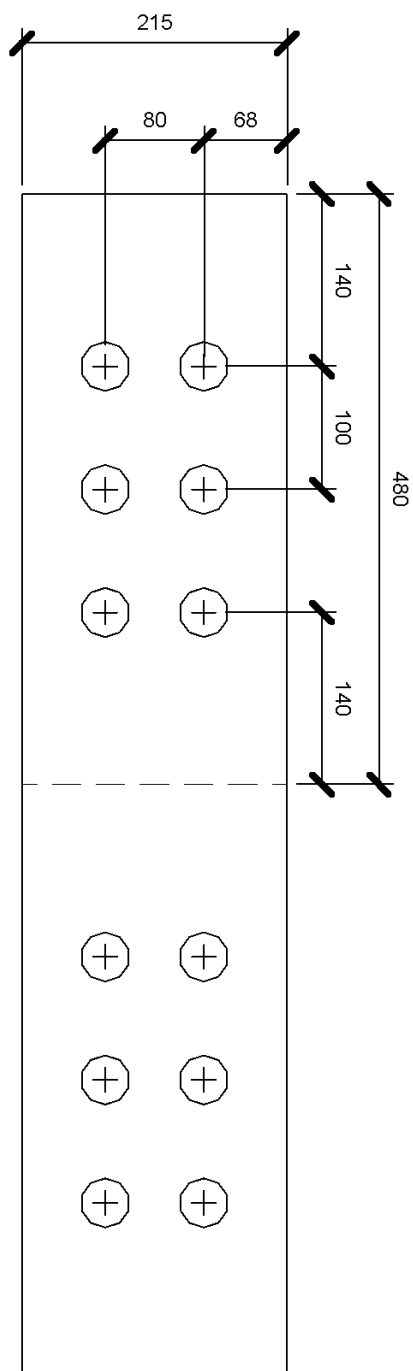
Utöver att inspektionerna kategoriseras bör de även delas upp i tre delmoment (Ritter, 1990). Utvärdering före inspektion, fältinspektion och dokumentation. Första stegets syfte är att identifiera risker, andra att genomföra testerna, och slutligen dokumentera för att underlätta framtida utvärderingar och möjliggöra kronologisk analys för konstruktionens nedgång. Enligt Trafikverket (2020) skall inspektionerna ske regelbundet och systematiskt och bedömas mot byggd standard.

Utöver huvudinspektion och särskild inspektion behöver bron underhållas årligen vilket skall omfatta rengöring, röjning, skötsel av färdbana och översyn av konstruktionen i syfte att upptäcka akuta skador på bron (Trafikverket, u.å.). Rengöringen och röjningen genomförs i syfte av att avlägsna smuts och växter för att förebygga en fuktig miljö. Rengöringen görs enligt Trafikverket (2021) med högtrycksspolning på brokonstruktionen. Upplagsanordning såväl som grusskift ska rengöras från olja, grus, damm och övrigt smuts. Röjningen behandlar inte bara växtlighet på mark utan även bråte i vattnet för att undvika dämning. Krav på färdbanan ställs av Trafikverket (2021) och medför att slitplanken inte får sitta löst, vilket kontrolleras med bomknackning, och att spikar inte får sticka upp mer än två

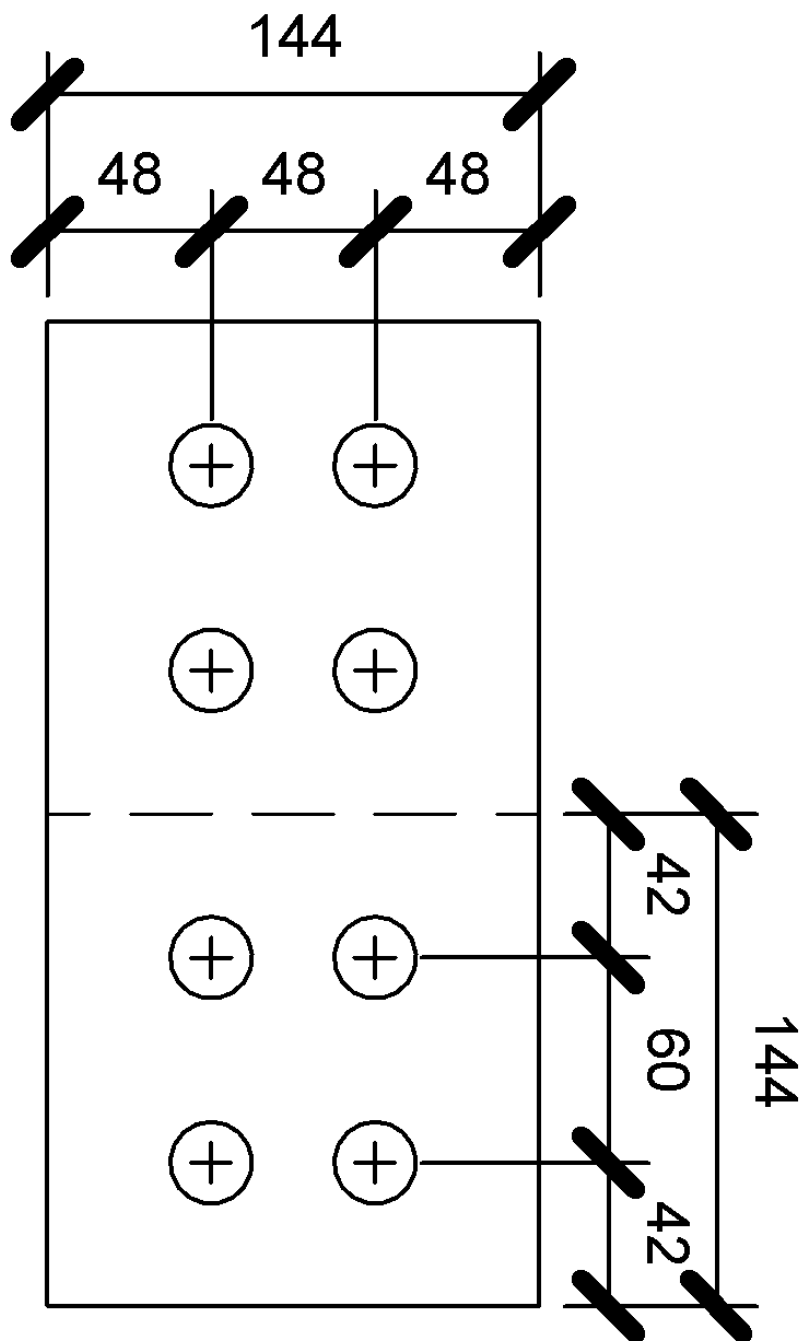
mm, vilket kontrolleras med tumstock.

För att förebygga skador kan man klä in konstruktionsdelarna, måla de eller impregnera de. Impregnerat trä genomgår en process där det absorberar höga halter träskyddsmedel vilket skyddar virket mot bland annat rötsvampar. Impregnering är dock ej lika motståndskraftig mögel (Träguiden, u.å.) och får ofta en grön ton vilket kan förebyggas och mildras med inoljning. Oljningen minskar även uppfuktningen och uttorkning vilket motverkar uppkomsten av sprickor (Anna Pousette, 2004).

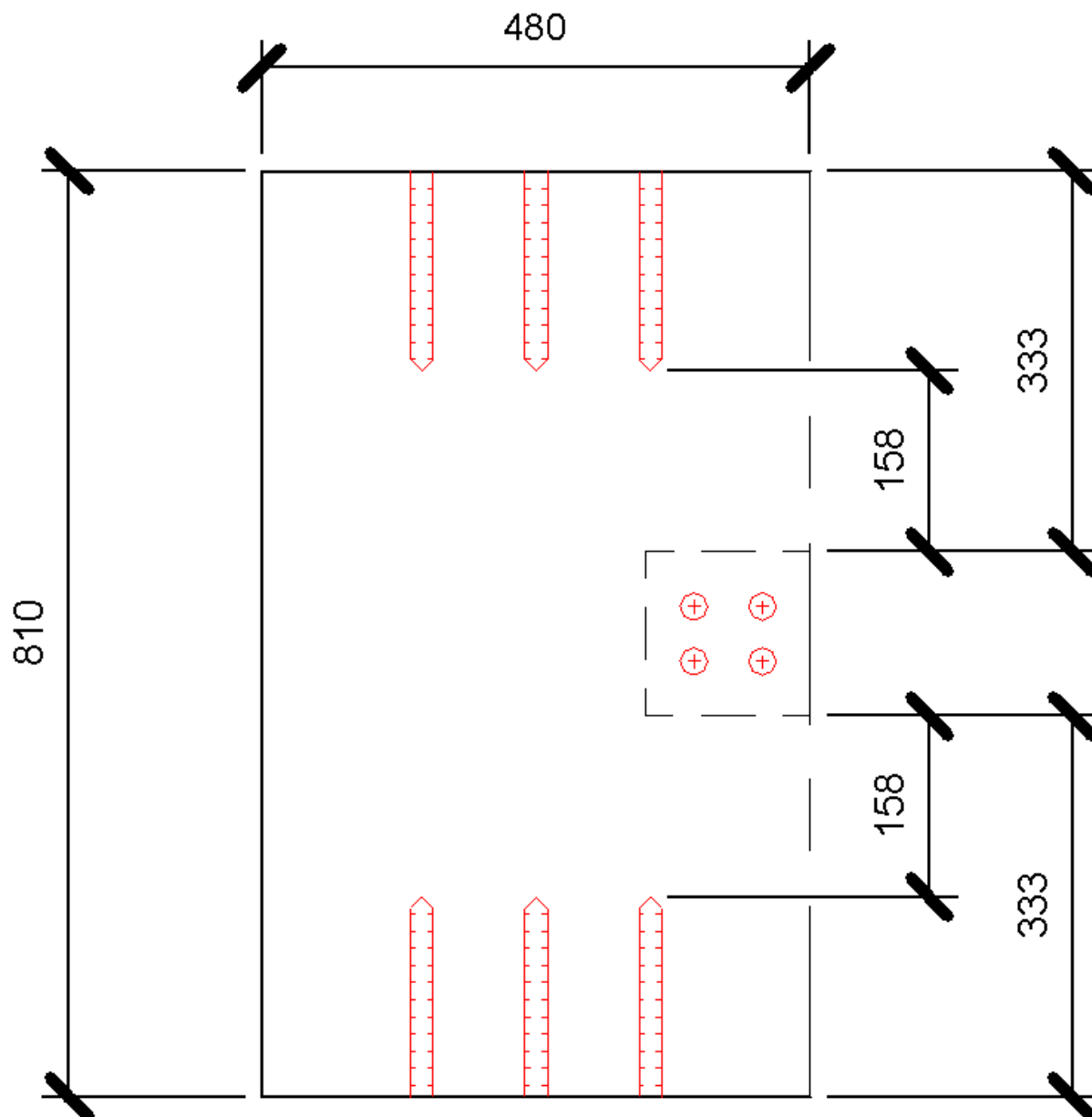
Bilaga 5 - Momentöverförande del av förbandet



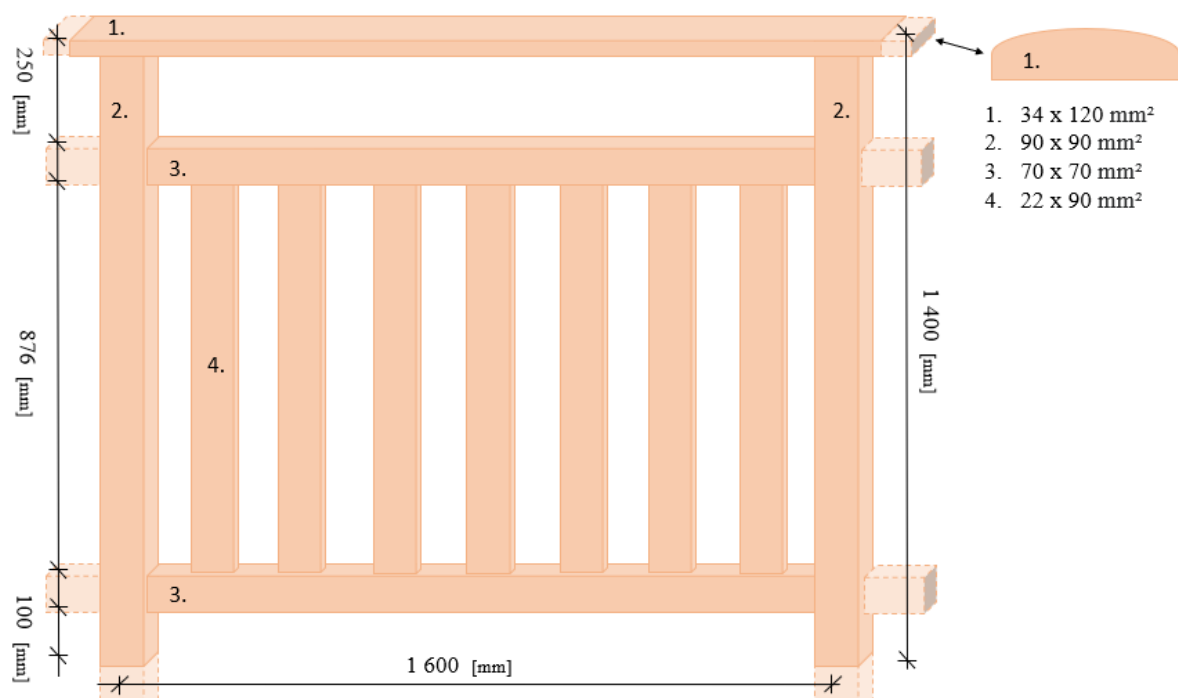
Bilaga 6 - Tvärkraftsöverförande del av förbandet



Bilaga 7 - Snitt inuti förbandet



Bilaga 8 - Utformning av räcken



Bilaga 9 - Beräkningar

Beräkningar för laster samt dimensionering av tvärsnitt.

Table of Contents

Kandidatarbete	1
Tvärledsmodell, beräkning av linjelast(utbredd last i ena facket)	3
Tvärledsmodell, beräkning av linjelast(utbredd last i båda facket)	5
Längsledsberäkningar	7
Längsledsmodell	7
Resultat för balken	19
Tvärledsmodell(lastfall 1)	20
%% Tvärledsmodell(lastfall 2)	25
Resultat för syllen	30

Kandidatarbete

```
% ACEX11 brokonstruktion 2024 grupp 52
%
% Björn Aloander 19990507
% Lydia Binbach 19990723
% Emelie Eklund 20001010
% David Mårtensson 20020803
% Saga Malmberg Sernekvist 20020204
% Emil Vendelstrand 20000916
%
% 2024-05-08
%
=====
clear
clc
close all

    indata för bron

b_bro=3;      %farbanans bredd
L_bro=16;     %brons längd

%klimatklass 3 och kort tids last ger
fi=2;        %kryptal
K_mod_medel=0.65; %Kmod för medellång last
K_mod_kort=0.7; %Kmod för momentan last

    Materialvärden för Konstruktionsmaterialen

%indata GL32k
E_GL32k=11.1e9;      %E-modul[Pa]
E_mean_GL32k=13.7e9; %E-modul medel [Pa](används för nedböjning)
f_mk_GL32k=32e6;    %böjning [Pa]
f_tk_GL32k=22.5e6;  %dragning parallelt fibrerna[Pa]
f_t90k_GL32k=0.5e6; %dragning vinkelrätt fibrerna[Pa]
f_ck_GL32k=29e6;    %tryck vinkelrätt fibrerna[Pa]
f_c90k_GL32k=3.3e6; %tryck vinkelrätt fibrerna[Pa]
```

```

f_vk_GL32k=3.8e6;          %skjuvning[Pa]
roh_tra_GL32k=4.3e3;      %densitet[N/m3]

%indata C30
E_C30=8e9;                %E-modul[Pa]
E_mean_C30=12e9;         %E-modul medel [Pa](används för nedböjning)
f_mk_C30=30e6;           %böjning [Pa]
f_tk_C30=18e6;           %dragning parallellt fibrerna[Pa]
f_t90k_C30=0.6e6;        %dragning vinkelrätt fibrerna[Pa]
f_ck_C30=23e6;           %tryck vinkelrätt fibrerna[Pa]
f_c90k_C30=2.7e6;        %tryck vinkelrätt fibrerna[Pa]
f_vk_C30=3.0e6;          %skjuvning[Pa]
roh_tra_C30=4.6e3;       %densitet[N/m3]

%indata C24
E_C24=7.4e9;              %E-modul[Pa]
E_mean_C24=11e9;         %E-modul medel [Pa](används för nedböjning)
f_mk_C24=24e6;           %böjning [Pa]
f_tk_C24=14e6;           %dragning parallellt fibrerna[Pa]
f_t90k_C24=0.5e6;        %dragning vinkelrätt fibrerna[Pa]
f_ck_C24=21e6;           %tryck vinkelrätt fibrerna[Pa]
f_c90k_C24=2.5e6;        %tryck vinkelrätt fibrerna[Pa]
f_vk_C24=2.5e6;          %skjuvning[Pa]
roh_tra_C24=4.2e3;       %densitet[N/m3]

Geometrisk indata för de olika komponenterna

%Tvärsnittskonstanter för balken GL32K
h_balk=0.810;             %höjd på balken[m]
b_balk=0.215;             %bred på balken[m]
A_balk=b_balk*h_balk;    %Area på balken[m^2]
I_balk=b_balk*h_balk^3/12; %ytröghetsmoment för balken[m^4]
W_balk=b_balk*h_balk^2/6; %böjmotstånd för balken[m^3]

%syllen konstruktionsvirke C30
E_syll=11000e6;
h_syll=0.145;            %höjd på syllen[m]
b_syll=0.07;             %bred på syllen[m]
A_syll=h_syll*b_syll;    %area för syllen[m^2]
roh_syll=roh_tra_C30;    %densitet för syllen [N/m3]
I_syll=b_syll*h_syll^3/12; %ytröghetsmomentet för syllen[m^4]
W_syll=b_syll*h_syll^2/6; %böjmotstånd för syllen[m^3]
CC_syll=0.2;             %centrumavstånd för sylarna[m]

%slitplank konstruktionsvirke C24
E_plank=11000e6;
h_plank=0.045;           %höjd på slitplanket[m]
b_plank=0.170;           %bred på slitplanket[m]
A_plank=h_plank*b_plank; %area för slitplanket[m^2]
roh_plank=roh_tra_C24;   %densitet för slitplank [N/m3]
I_plank=b_plank*h_plank^3/12; %ytröghetsmomentet för syllen[m^4]
W_plank=b_plank*h_plank^2/6; %böjmotstånd för syllen[m^3]

laster som verkar på bron

```

```

%egentyngd för balken
g_balk=roh_tra_GL32k*A_balk;           %egentyngd för balken[N/m]

%egentyngd som verkar på balken
g_syll=roh_syll*A_syll/CC_syll;        %egentyngd för syllen[N/m^2]
g_slitplank=roh_plank*h_plank;        %egentyngd för slitplank[N/m^2]
g_racke=0.18e3;                       %egentyngd för räckel[N/m^2]

%karakteristiska laster
q_k=(2e3+120e3/(30+L_bro)); %ytlast last som funktion av längden på
bron[N/m^2]
Q_serv=30e3;                          %punktlast i form av service fordon[N]

%last i brottgräns
q_k_uls=q_k*1.5;
Q_serv_uls=Q_serv*1.5;

%reduktionsfaktor
gaffel_g_brott=1.35;

%dim laster för balken(längsled)

%egentyngd [N/m^2]
g_egentyngd_utbred=gaffel_g_brott*(g_syll+g_slitplank);

%egentyngd och ytlast [N/m^2]
Q_d=g_egentyngd_utbred+q_k_uls;

```

Tvärledsmodell, beräkning av linjelast(utbredd last i ena facket)

```

%modell för att beräkna dimitionerande kraft på balk
Coord=[0 0
        0.26+b_balk/2 0
        0.85 0
        1.5 0
        2.15 0
        2.74-b_balk/2 0
        3 0];

% skapa frihetsgrader
Dof=[1 2 3;
     4 5 6;
     7 8 9;
     10 11 12
     13 14 15
     16 17 18
     19 20 21];

%frihetsgrader för elementen i balkar
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
      2 4 5 6 7 8 9

```

```

3 7 8 9 10 11 12
4 10 11 12 13 14 15
5 13 14 15 16 17 18
6 16 17 18 19 20 21];

%locka ut kordinaterna
[Ex,Ey]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2);

ep=[E_syll A_syll I_syll];

%skapa tom global styvhetsmatrix
K=zeros(21);

%skapa tom lastvektor
f=zeros(21,1);

% utbredda lasterna för elementet,
eq1=[0 -Q_d];
eq2=[0 -g_egentyngd_utbred];

%skapa element styvhetsmatrix och assemblera
for i=1:3
[ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq1);
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,ke,f,fe);
end

for i=4:6
[ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq2);
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,ke,f,fe);
end

% inför boundryconditions
bc=[4 0
5 0
11 0
17 0];

Reaktionskraften som tas ut är en linjelast[N/m] som kommer att verka på
balken

%beräkna förskjutningsvektorn och reaktionskrafterna
[a_syll_1,R_syll_1]=solveq(K,f,bc);

%beräknar största reaktionskraft och plats
[q_d_utbred_1,V_lage_1]=max(R_syll_1);

%skriver ut information

fprintf('frihetsgrad som kommer att bli mest belastad vid en jämnt
utbred last på ena sidan bron')
disp(V_lage_1)
fprintf('frihetsgrad 5 tillhör kantbalken \n\n')
```

```
fprintf('den utbredda lasten som kommer att verka på balken[kN/m]')
disp(q_d_utbred_1/1000)

frihetsgrad som kommer att bli mest belastad vid en jämnt utbred last
på ena sidan bron      5

frihetsgrad 5 tillhör kantbalken

den utbredda lasten som kommer att verka på balken[kN/m]      6.9838
```

Tvärledsmodell, beräkning av linjelast(utbredd last i båda facken)

```
%modell för att beräkna dimentionerande kraft på balk
Coord=[0 0
        0.26+b_balk/2 0
        0.85 0
        1.5 0
        2.15 0
        2.74-b_balk/2 0
        3 0];

% skapa frihetsgrader
Dof=[1 2 3;
     4 5 6;
     7 8 9;
     10 11 12
     13 14 15
     16 17 18
     19 20 21];

%frihetsgrader för elementen i balkar
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
       2 4 5 6 7 8 9
       3 7 8 9 10 11 12
       4 10 11 12 13 14 15
       5 13 14 15 16 17 18
       6 16 17 18 19 20 21];

%plocka ut kordinaterna
[Ex,Ey]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2);

ep=[E_syll A_syll I_syll];

%skapa tom global styvhetsmatrix
K=zeros(21);

%skapa tom lastvektor
f=zeros(21,1);

% utbredda lasterna för elementet,
```

```

eq=[0 -Q_d];

%skapa element styvhetsmatris och assemblera
for i=1:6
[ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq);
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,ke,f,fe);
end

% inför boundryconditions
bc=[4 0
     5 0
     11 0
     17 0];

    Reaktionskraften som tas ut är en linjelast[N/m] som kommer att verka på
    balken

%beräkna förskjutningsvektorn och reaktionskrafterna
[a_syll,R_syll_2]=solveq(K,f,bc);

%beräknar största reaktionskraft och plats
[q_d_utbred_2,V_lage]=max(R_syll_2);

%lös ut förskjutningen för varje element
Ed=extract(Edof,a_syll);

% beräkna Normalkraft, Tvärkraft och Moment

es1=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq,21);
es2=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed(2,:),eq,21);
es3=beam2s(Ex(3,:),Ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq,21);
es4=beam2s(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq,21);
es5=beam2s(Ex(5,:),Ey(5,:),ep,Ed(5,:),eq,21);
es6=beam2s(Ex(6,:),Ey(6,:),ep,Ed(6,:),eq,21);

%skriver ut information

fprintf('frihetsgrad som kommer att bli mest belastad vid en jämnt
       utbred last över hela bron')
disp(V_lage)
fprintf('frihetsgrad 11 tillhör mittenbalken \n\n')

fprintf('den utbredda lasten som kommer att verka på balken[N/m]')
disp(q_d_utbred_2)

%last som balken kommer att dimitioneras för
q_d_utbred=max(q_d_utbred_1,q_d_utbred_2);

%faktor i för beräkna nedböjning
fak=q_d_utbred_2/Q_d;

    frihetsgrad som kommer att bli mest belastad vid en jämnt utbred last
    över hela bron    11

```

```

frihetsgrad 11 tillhör mittenbalken

den utbredda lasten som kommer att verka på balken[N/m] 9.2550e+03

Den utbredda lasten som balken kommer att dimensioneras för

fprintf('den utbredda lasten som balken kommer att dimensioneras för
[kN/m]')
disp(q_d_utbred/1000)

den utbredda lasten som balken kommer att dimensioneras för [kN/m]
9.2550

```

Längsledsberäkningar

```

%
% Laster som kommer att verka på bron i Längsled
%

%dim laster där utbredda lasten är huvudlast (lastfall 1)
q_ed1=gaffel_g_brott*g_balk+q_d_utbred; % [N/m]
Q_serv_1=0; % [N]

%dim laster där servicefordonet är huvudlast (lastfall 2)
q_ed2=gaffel_g_brott*g_balk+g_egentyngd_utbred; % [N/m]
Q_serv_2=Q_serv_uls; % [N]

```

Längsledsmodell

```

den utbredda lasten är huvudlast (lastfall 1)

% koordinater
Coord=[0 0
4 0
8 0
12 0
16 0];

% skapa frihetsgrader
Dof=[1 2 3;
4 5 6;
7 8 9;
10 11 12
13 14 15];

%frihetsgrader för elementen i balkar
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
2 4 5 6 7 8 9
3 7 8 9 10 11 12

```

```

    4 10 11 12 13 14 15];

%plocka ut kordinaterna
[Ex,Ey]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2);

% skapa styvheterna för Balken
ep=[E_mean_GL32k A_balk I_balk];

%skapa tom global styvhetsmatris
K=zeros(15);

%skapa tom lastvektor och lägg in punktlaster
f=zeros(15,1);
f(8)=-Q_serv_1;

% utbredda lasterna för elementet
eq1=[0 -q_ed1];
eq2=[0 -q_ed2];

%skapa element styvhetsmatris och assemblera
for i=1:4
[ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq1);
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,ke,f,fe);
end

% inför boundaryconditions
bc_balk=[1 0
         2 0
         14 0];

%beräkna förskjutningsvektorn och reaktionskrafterna
[a_balk,R_balk]=solveq(K,f,bc_balk);

%lös ut förskjutningen för varje element
Ed=extract(Edof,a_balk);

% beräkna Normalkraft, Tvärkraft och Moment
es1=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq1,21);
es2=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed(2,:),eq1,21);
es3=beam2s(Ex(3,:),Ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq1,21);
es4=beam2s(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq1,21);

%de största snittkrafterna för balken
T_max_1=max([es1(:,2); es2(:,2); es3(:,2); es4(:,2)]);
M_max_1=max([es1(:,3); es2(:,3); es3(:,3); es4(:,3)]);

%de största snittkrafterna för skarven
T_max_1_skarv=abs(es1(21,2));
M_max_1_skarv=abs(es1(21,3));

%plotta förskjutningarna med en skalfaktor
figure(1)
eldraw2(Ex,Ey,[1 2 1]);

```

```

sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),Ed(3,:),0.1);           %skalfaktor som
förskjutninarna ses i
plotpar=[2 1 1];
eldisp2(Ex,Ey,Ed,plotpar,sfac);

pltscalb2(sfac,[1e-1 1 1]);                           % skalstock
axis([-1 17 -1 2]);
title('displacements[m]')

%Tvärkraft
figure(2)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),0.15);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);

axis([-1 17 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[3e5 1 1]);
title('shear force[N]')

%Moment
figure(3)
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),0.15);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
axis([-1 17 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[1e6 1 1]);
title('moment[Nm]')

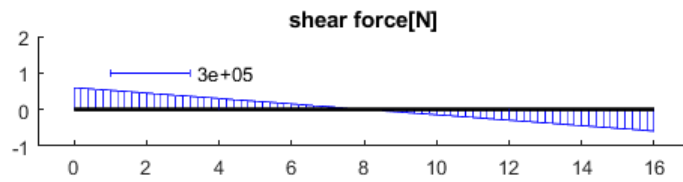
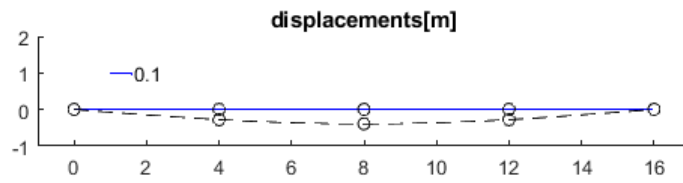
fprintf('Max tvärkraft i balken, enhet:[kN]')
disp(T_max_1/1000)

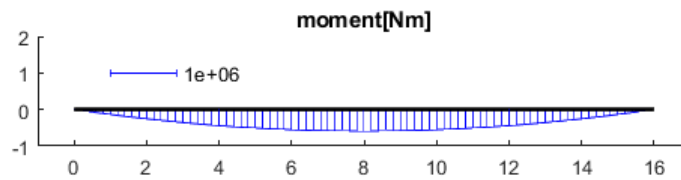
fprintf('Max moment i balken, enhet:[kNm]')
disp(M_max_1/1000)

Max tvärkraft i balken, enhet:[kN]    82.1274

Max moment i balken, enhet:[kNm]    328.5094

```





Punktlast är huvudlast i mitten

```

close all
clc

%skapa tom global styvhetsmatris
K=zeros(15);

%skapa tom lastvektor och lägg in punktlaster
f=zeros(15,1);
f(8)=-Q_serv_2;

%skapa element styvhetsmatris och assemblera
for i=1:4
[ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq2);
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,ke,f,fe);
end

%beräkna förskjutningsvektorn och reaktionskrafterna
[a_balk,R_balk]=solveq(K,f,bc_balk);

%lös ut förskjutningen för varje element
Ed=extract(Edof,a_balk);

% beräkna Normalkraft, Tvärkraft och Moment
es1=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq2,21);

```

```

es2=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed(2,:),eq2,21);
es3=beam2s(Ex(3,:),Ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq2,21);
es4=beam2s(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq2,21);

%de största snittkrafterna
T_max_2=max([es1(:,2); es2(:,2); es3(:,2); es4(:,2)]);
M_max_2=max([es1(:,3); es2(:,3); es3(:,3); es4(:,3)]);

%de största snittkrafterna för skarven
T_max_2_skarv=abs(es1(21,2));
M_max_2_skarv=abs(es1(21,3));

%plotta förskjutningarna med en skalfaktor
figure(1)
eldraw2(Ex,Ey,[1 2 1]);

sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),Ed(3,:),0.1);           %skalfaktor som
förskjutninarna ses i
plotpar=[2 1 1];
eldisp2(Ex,Ey,Ed,plotpar,sfac);

pltscalb2(sfac,[1e-1 1 1]);                           % skalstock
axis([-1 17 -1 2]);
title('displacements[m]')

%Tvärkraft
figure(2)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),0.15);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);

axis([-1 17 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[1e5 1 1]);
title('shear force[N]')

%Moment
figure(3)
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),0.15);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
axis([-1 17 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[1e6 1 1]);
title('moment[Nm]')

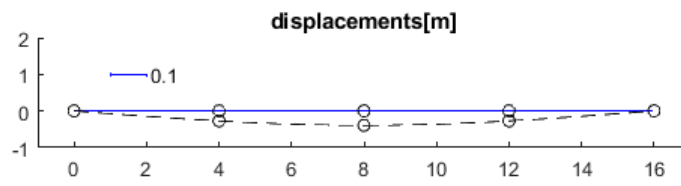
fprintf('Max tvärkraft i balken, enhet:[kN]')
disp(T_max_2/1000)

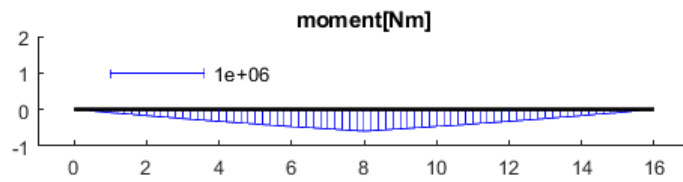
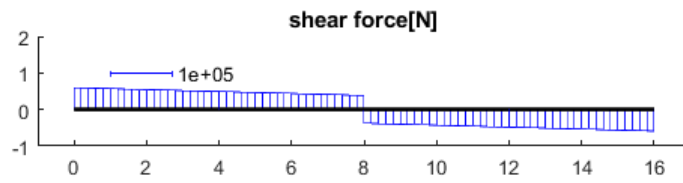
fprintf('Max moment i balken, enhet:[kNm]')
disp(M_max_2/1000)

```

Max tvärkraft i balken, enhet:[kN] 35.1500

Max moment i balken, enhet:[kNm] 230.5999





Punktlast är huvudlast vid skarven

```
close all
clc

%skapa tom global styvhetsmatris
K=zeros(15);

%skapa tom lastvektor och lägg in punktlaster
f=zeros(15,1);
f(5)=-Q_serv_2;

% utbredda lasterna för elementet
eq1=[0 -q_ed1];
eq2=[0 -q_ed2];

%skapa element styvhetsmatris och assemblera
for i=1:4
[ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq2);
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,ke,f,fe);
end

%beräkna förskjutningsvektorn och reaktionskrafterna
[a_balk,R_balk]=solveq(K,f,bc_balk);

%lös ut förskjutningen för varje element
Ed=extract(Edof,a_balk);

% beräkna Normalkraft, Tvärkraft och Moment
es1=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq2,21);
es2=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed(2,:),eq2,21);
es3=beam2s(Ex(3,:),Ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq2,21);
es4=beam2s(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq2,21);

%de största snittkrafterna
T_max_3=max([es1(:,2); es2(:,2); es3(:,2); es4(:,2)]);
M_max_3=max([es1(:,3); es2(:,3); es3(:,3); es4(:,3)]);

%de största snittkrafterna för skarven
T_max_3_skarv=abs(es1(21,2));
M_max_3_skarv=abs(es1(21,3));

%plotta förskjutningarna med en skalfaktor
figure(1)
eldraw2(Ex,Ey,[1 2 1]);

sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),Ed(3,:),0.1);           %skalfaktor som
förskjutninarna ses i
plotpar=[2 1 1];
eldisp2(Ex,Ey,Ed,plotpar,sfac);
```

```

pltscalb2(sfac,[1e-1 1 1]);           % skalstock
axis([-1 17 -1 2]);
title('displacements[m]')

%Tvärkraft
figure(2)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),0.15);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);

axis([-1 17 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[1e5 1 1]);
title('shear force[N]')

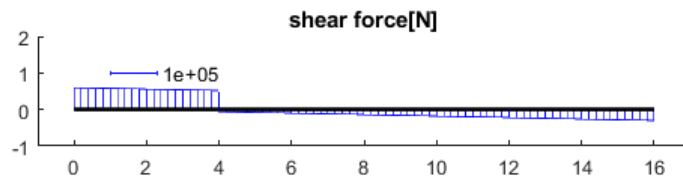
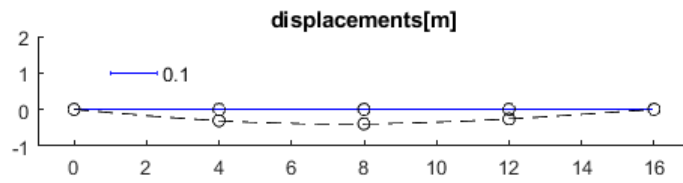
%Moment
figure(3)
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),0.15);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
axis([-1 17 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[1e6 1 1]);
title('moment[Nm]')

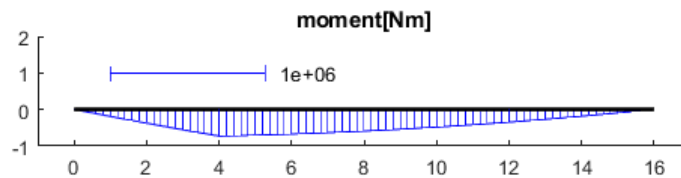
fprintf('Max tvärkraft i balken, enhet:[kN]')
disp(T_max_2/1000)

fprintf('Max moment i balken, enhet:[kNm]')
disp(M_max_2/1000)

Max tvärkraft i balken, enhet:[kN]   35.1500
Max moment i balken, enhet:[kNm]   230.5999

```





Beräkningar

```

%Dimensionerande snittkrafter för balken
T_max=max([T_max_1,T_max_2,T_max_3]);
M_max=max([M_max_1,M_max_2,M_max_3]);

%Dimensionerande snittkrafterna för skarven
T_max_skarv=max(abs([T_max_1_skarv,T_max_2_skarv,T_max_3_skarv]));
M_max_skarv=max(abs([M_max_1_skarv,M_max_2_skarv,M_max_3_skarv]));

%nedböjning[m] beräknas med hjälp av elementarfal
w_1=(q_k*fak)*5*L_bro^4/(384*E_mean_GL32k*I_balk); %utbredd last
w_2=(Q_serv*L_bro^3)/(48*E_mean_GL32k*I_balk); %punktlast
w=max(w_1,w_2);

%materialvärden
gamma_M=1.25; %ifrån eurocode
k_h_GL32k=1; %då h>600mm sätts kh till 1

%Dimensionerande hållfasthet
f_md_GL32k=K_mod_medel*k_h_GL32k*f_mk_GL32k/gamma_M; %böjning[Pa]
f_td_GL32k=K_mod_medel*k_h_GL32k*f_tk_GL32k/gamma_M; %dragning
parrallellt fibrerna[Pa]
f_cd_GL32k=K_mod_medel*f_ck_GL32k/gamma_M; %tryck parallellt
fibrerna[Pa]

```

```

f_vd_GL32k=K_mod_medel*f_vk_GL32k/gamma_M; %skjuvning[Pa]

%momentkapacitet hos balken
M_Rd=W_balk*f_md_GL32k;

%tvärkraftskapacitet hos balken
K_cr=0.67; %för sågat virke och limträ
A_balk_ef=A_balk*K_cr; %effektiv area för skjuvspänningar
V_Rd=2/3*A_balk_ef*f_vd_GL32k; %tvärkraftskapacitet hos tvärsnittet

```

Resultat för balken

```

fprintf('nedböjning i mitten, enhet:[mm]')
disp(w*1000)

fprintf('Kontroll av faktorn L/w,(måste klara krav L/w>=400)')
disp(L_bro/w)

fprintf('Max tvärkraft i balken, enhet:[kN]')
disp(T_max/1000)

fprintf('Tvärfkraftskapaciteten hos balken, enhet:[kN]')
disp(V_Rd/1000)

fprintf('Verkningsgrad tvärkraft[procent]')
disp(T_max/V_Rd*100)

fprintf('Max moment i balken, enhet:[kNm]')
disp(M_max/1000)

fprintf('Momentkapaciteten hos balken, enhet:[kNm]')
disp(M_Rd/1000)

fprintf('Verkningsgrad moment[procent]')
disp(M_max/M_Rd*100)

fprintf('Max moment i skarven, enhet:[kNm]')
disp(M_max_skarv/1000)

fprintf('Max tvärkraft i skarven, enhet:[kN]')
disp(T_max_skarv/1000)

nedböjning i mitten, enhet:[mm]    37.2858

Kontroll av faktorn L/w,(måste klara krav L/w>=400)    429.1180

Max tvärkraft i balken, enhet:[kN]    82.1274

Tvärfkraftskapaciteten hos balken, enhet:[kN]    153.7071

Verkningsgrad tvärkraft[procent]    53.4311

```

Max moment i balken, enhet:[kNm] 328.5094

Momentkapaciteten hos balken, enhet:[kNm] 391.2106

Verkningsgrad moment[procent] 83.9725

Max moment i skarven, enhet:[kNm] 246.3821

Max tvärkraft i skarven, enhet:[kN] 41.0637

Tvärledsmodell(lastfall 1)

```
close all
clc

%Egentungen är försumbar i tvärledsberäkningar

%lasten verkar ifrån hjulet ner från slitplanken ner till syllarnas
%systemlinje
L_mitt=(0.2+2*(h_plank+h_syll/2)); %längden som lasten ifrån hjulet
breder ut sig på i mitten
L_kant=(0.2+(h_plank+h_syll/2)); %längden som lasten ifrån hjulet
breder ut sig på i kanten

%karakteristiska laster tvärled
Q_serv_tvar=Q_serv/3; %punktlast för ett hjul av service fordon[N]
q_serv_tvar_mitt=Q_serv_tvar/L_mitt/2;
q_serv_tvar_kant=Q_serv_tvar/L_kant/2;

%brottsgräns
%dim laster där servicefordonet är huvudlast
Q_serv_tvar_uls=1.5*Q_serv_tvar;
q_serv_tvar_mitt_uls=1.5*q_serv_tvar_mitt;
q_serv_tvar_kant_uls=1.5*q_serv_tvar_kant;

eq_mitt=[0 -q_serv_tvar_mitt_uls];
eq_kant=[0 -q_serv_tvar_kant_uls];

%kordinater
Coord=[0 0
        0.26+b_balk/2 0
        0.85-L_mitt/2 0
        0.85 0
        0.85+L_mitt/2 0
        1.5 0
        2.15-L_mitt/2 0
        2.15+L_mitt/2 0
        2.74-b_balk/2 0
        3 0];

% skapa frihetsgrader
```

```

Dof=[1 2 3;
      4 5 6;
      7 8 9;
      10 11 12
      13 14 15
      16 17 18
      19 20 21
      22 23 24
      25 26 27
      28 29 30];

%frihetsgrader för elementen i balkar
Edof=[1 1 2 3 4 5 6
       2 4 5 6 7 8 9
       3 7 8 9 10 11 12
       4 10 11 12 13 14 15
       5 13 14 15 16 17 18
       6 16 17 18 19 20 21
       7 19 20 21 22 23 24
       8 22 23 24 25 26 27
       9 25 26 27 28 29 30];

%plocka ut kordinaterna
[Ex,Ey]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2);

eldraw2(Ex,Ey,[1 2 1]);

ep=[E_syll A_syll I_syll];

%skapa tom global styvhetsmatrix
K=zeros(30);

%skapa tom lastvektor och lägg in punktlaster
f=zeros(30,1);

%skapa element styvhetsmatrix och assemblera
ke1=beam2e(Ex(1,:),Ey(1,:),ep);
K=assem(Edof(1,:),K,ke1);

ke2=beam2e(Ex(2,:),Ey(2,:),ep);
K=assem(Edof(2,:),K,ke2);

[ke3,fe3]=beam2e(Ex(3,:),Ey(3,:),ep,eq_mitt);
[K,f]=assem(Edof(3,:),K,ke3,f,fe3);

[ke4,fe4]=beam2e(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,eq_mitt);
[K,f]=assem(Edof(4,:),K,ke4,f,fe4);

ke5=beam2e(Ex(5,:),Ey(5,:),ep);
K=assem(Edof(5,:),K,ke5);

ke6=beam2e(Ex(6,:),Ey(6,:),ep);
K=assem(Edof(6,:),K,ke6);

```

```

[ke7,fe7]=beam2e(Ex(7,:),Ey(7,:),ep,eq_mitt);
[K,f]=assem(Edof(7,:),K,ke7,f,fe7);

ke8=beam2e(Ex(8,:),Ey(8,:),ep);
K=assem(Edof(8,:),K,ke8);

ke9=beam2e(Ex(9,:),Ey(9,:),ep);
K=assem(Edof(9,:),K,ke9);

% inför boudryconditions
bc=[4 0
     5 0
     17 0
     26 0];

%beräkna förskjutningsvektorn och reaktionskrafterna
[a_syll,R_syll]=solveq(K,f,bc);

%lös ut förskjutningen för varje element
Ed=extract(Edof,a_syll);

% beräkna Normalkraft, Tvärkraft och Moment
es1=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed(1,:),[0 0],21);
es2=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed(2,:),[0 0],21);
es3=beam2s(Ex(3,:),Ey(3,:),ep,Ed(3,:),eq_mitt,21);
es4=beam2s(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq_mitt,21);
es5=beam2s(Ex(5,:),Ey(5,:),ep,Ed(5,:),[0 0],21);
es6=beam2s(Ex(6,:),Ey(6,:),ep,Ed(6,:),[0 0],21);
es7=beam2s(Ex(7,:),Ey(7,:),ep,Ed(7,:),eq_mitt,21);
es8=beam2s(Ex(8,:),Ey(8,:),ep,Ed(8,:),[0 0],21);
es9=beam2s(Ex(9,:),Ey(9,:),ep,Ed(9,:),[0 0],21);

%de största snittkrafterna
T_max_tvar_1=max(abs([es1(:,2); es2(:,2); es3(:,2); es4(:,2);
    es5(:,2); es6(:,2); es7(:,2); es8(:,2); es9(:,2)])));
M_max_tvar_1=max(abs([es1(:,3); es2(:,3); es3(:,3); es4(:,3);
    es5(:,3); es6(:,3); es7(:,3); es8(:,3); es9(:,3)])));

%beräkna
%plotta förskjutningarna med en skalfaktor
figure(1)
eldraw2(Ex,Ey,[1 2 1]);

sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),Ed(3,:),0.2);           %skalfaktor som
    förskjutningarna ses i
plotpar=[2 1 1];
eldisp2(Ex,Ey,Ed,plotpar,sfac);

pltscalb2(sfac,[5e-3 1 1]);                           % skalstock
axis([-0.5 3.5 -1 2]);
title('displacements[m]')

```

```

%Tvärkraft
plotpar=[2 1];
figure(2)
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,2),0.35);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(5,:),Ey(5,:),es5(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(6,:),Ey(6,:),es6(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(7,:),Ey(7,:),es7(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(8,:),Ey(8,:),es8(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(9,:),Ey(9,:),es9(:,2),plotpar,sfac);

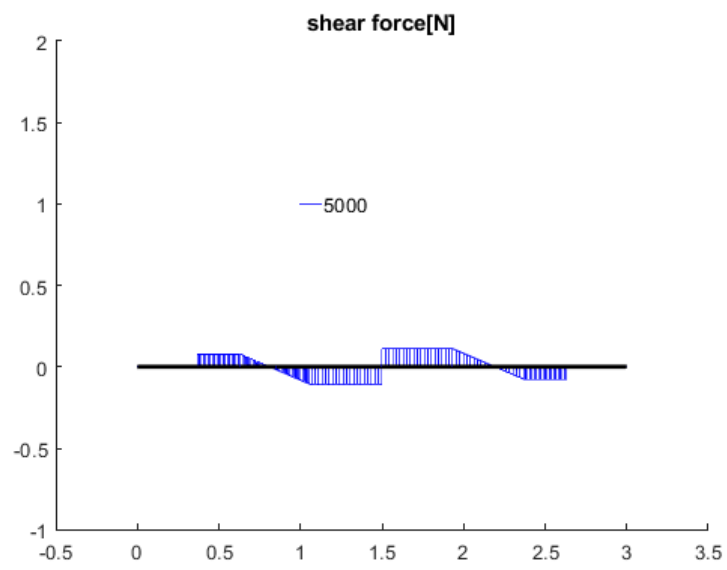
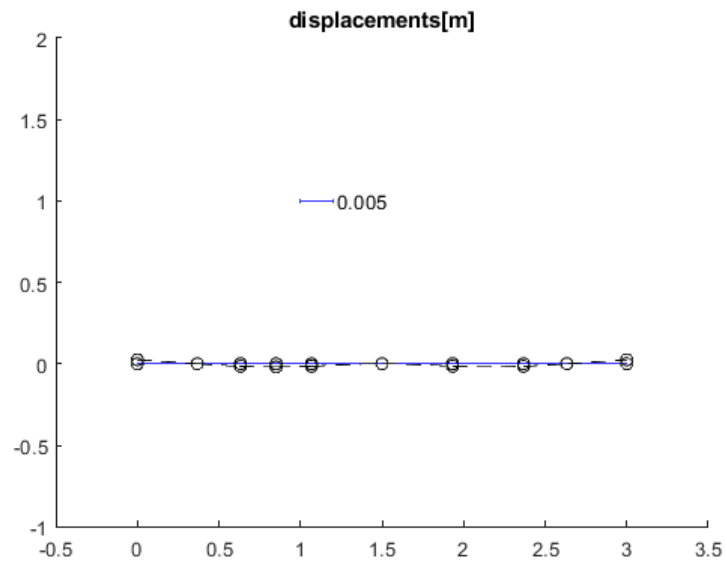
axis([-0.5 3.5 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[5e3 1 1]);
title('shear force[N]')

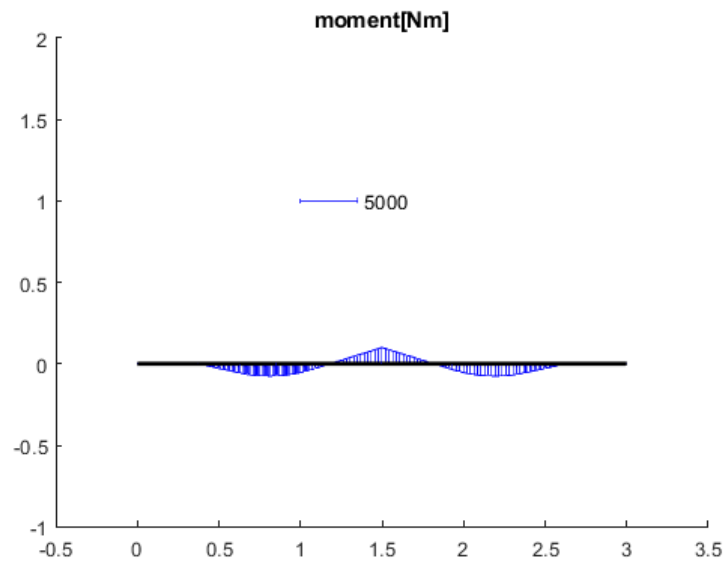
%Moment
figure(3)
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),0.35);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(5,:),Ey(5,:),es5(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(6,:),Ey(6,:),es6(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(7,:),Ey(7,:),es7(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(8,:),Ey(8,:),es8(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(9,:),Ey(9,:),es9(:,3),plotpar,sfac);

axis([-0.5 3.5 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[5e3 1 1]);
title('moment[Nm]')

%beräkningar för nedböjning
L_tvar=1.5-(0.26+b_balk/2); %längden mellan balkarna
w_tvar_1=abs(a_syll(12)); %nedböjning vid frihetsgrad 8

```





%% Tvärledsmodell(lastfall 2)

```

close all

Coord=[0 0
        L_kant 0
        0.26+b_balk/2 0
        1.4-L_mitt/2 0
        1.5 0
        1.4+L_mitt/2 0
        2.74-b_balk/2 0
        3 0];

% skapa frihetsgrader
Dof=[1 2 3;
      4 5 6;
      7 8 9;
      10 11 12
      13 14 15
      16 17 18
      19 20 21
      22 23 24];

%frihetsgrader för elementen i balkar

```

```

Edof=[1 1 2 3 4 5 6
      2 4 5 6 7 8 9
      3 7 8 9 10 11 12
      4 10 11 12 13 14 15
      5 13 14 15 16 17 18
      6 16 17 18 19 20 21
      7 19 20 21 22 23 24];

%locka ut koordinaterna
[Ex,Ey]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2);

eldraw2(Ex,Ey,[1 2 1]);

ep=[E_syll A_syll I_syll];

%skapa tom global styvhetsmatrix
K=zeros(24);

%skapa tom lastvektor och lägg in punktlaster
f=zeros(24,1);

%skapa element styvhetsmatrix och assemblera
[ke1,fe1]=beam2e(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,eq_kant);
[K,f]=assem(Edof(1,:),K,ke1,f,fe1);

ke2=beam2e(Ex(2,:),Ey(2,:),ep);
K=assem(Edof(2,:),K,ke2);

ke3=beam2e(Ex(3,:),Ey(3,:),ep);
K=assem(Edof(3,:),K,ke3);

[ke4,fe4]=beam2e(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,eq_mitt);
[K,f]=assem(Edof(4,:),K,ke4,f,fe4);

[ke5,fe5]=beam2e(Ex(5,:),Ey(5,:),ep);
[K,f]=assem(Edof(5,:),K,ke5,f,fe5);

ke6=beam2e(Ex(6,:),Ey(6,:),ep);
K=assem(Edof(6,:),K,ke6);

ke7=beam2e(Ex(7,:),Ey(7,:),ep);
K=assem(Edof(7,:),K,ke7);

% inför boundaryconditions
bc=[7 0
     8 0
     14 0
     20 0];

%beräkna förskjutningsvektorn och reaktionskrafterna
[a_syll,R_syll]=solveq(K,f,bc);

```

```

%lös ut förskjutningen för varje element
Ed=extract(Edof,a_syll);

% beräkna Normalkraft, Tvärkraft och Moment
es1=beam2s(Ex(1,:),Ey(1,:),ep,Ed(1,:),eq_kant,21);
es2=beam2s(Ex(2,:),Ey(2,:),ep,Ed(2,:),[0 0],21);
es3=beam2s(Ex(3,:),Ey(3,:),ep,Ed(3,:),[0 0],21);
es4=beam2s(Ex(4,:),Ey(4,:),ep,Ed(4,:),eq_mitt,21);
es5=beam2s(Ex(5,:),Ey(5,:),ep,Ed(5,:),eq_mitt,21);
es6=beam2s(Ex(6,:),Ey(6,:),ep,Ed(6,:),[0 0],21);
es7=beam2s(Ex(7,:),Ey(7,:),ep,Ed(7,:),[0 0],21);

%de största snittkrafterna
T_max_tvar_2=max(abs([es1(:,2); es2(:,2); es3(:,2); es4(:,2);
es5(:,2); es6(:,2); es7(:,2)])));
M_max_tvar_2=max(abs([es1(:,3); es2(:,3); es3(:,3); es4(:,3);
es5(:,3); es6(:,3); es7(:,3)])));

%nedböjning
w_tvar_2=abs(a_syll(2));

%beräkna
%plotta förskjutningarna med en skalfaktor
figure(1)
eldraw2(Ex,Ey,[1 2 1]);

sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),Ed(3,:),0.2); %skalfaktor som
förskjutningarna ses i
plotpar=[2 1 1];
eldisp2(Ex,Ey,Ed,plotpar,sfac);

pltscalb2(sfac,[5e-3 1 1]); % skalstock
axis([-0.5 3.5 -1 2]);
title('displacements[m]')

%Tvärkraft
plotpar=[2 1];
figure(2)
sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,2),0.2);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(5,:),Ey(5,:),es5(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(6,:),Ey(6,:),es6(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(7,:),Ey(7,:),es7(:,2),plotpar,sfac);

axis([-0.5 3.5 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[1e4 1 1]);
title('shear force[N]')

%Moment
figure(3)

```

```

sfac=scalfact2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),0.25);
eldia2(Ex(1,:),Ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(2,:),Ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(3,:),Ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(4,:),Ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(5,:),Ey(5,:),es5(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(6,:),Ey(6,:),es6(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(Ex(7,:),Ey(7,:),es7(:,3),plotpar,sfac);

axis([-0.5 3.5 -1 2]);
pltscalb2(sfac,[5e3 1 1]);
title('moment[Nm]')

%ditionerande hållfasthet för syllen
k_h_syll=min(1.3,(0.15/h_syll)^0.2);
f_md_C30=K_mod_kort*k_h_syll*f_mk_C30/gamma_M;           %böjning[Pa]
f_td_C30=K_mod_kort*k_h_syll*f_tk_C30/gamma_M;         %dragning
parrallellt_fibrerna[Pa]
f_cd_C30=K_mod_kort*f_ck_C30/gamma_M;                   %tryck parallellt
fibrerna[Pa]
f_vd_C30=K_mod_kort*f_vk_C30/gamma_M;                   %skjuvning[Pa]

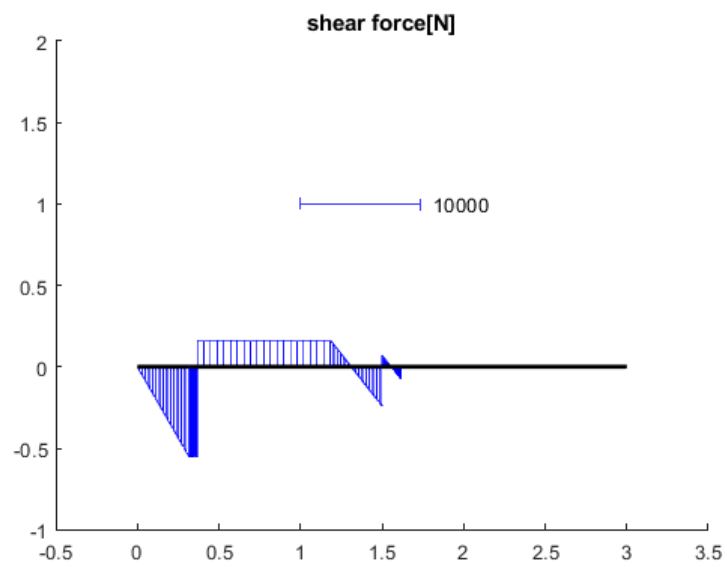
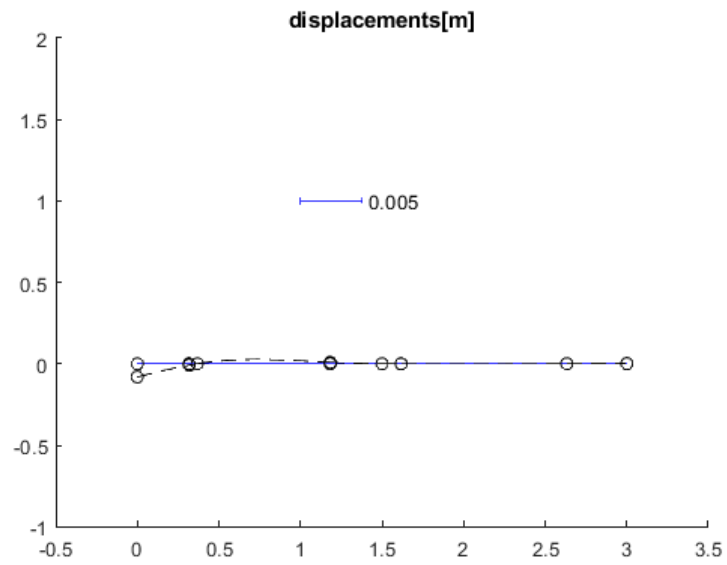
%beräkningar av momentkapacitet
M_rd_syll=W_syll*f_md_C30;

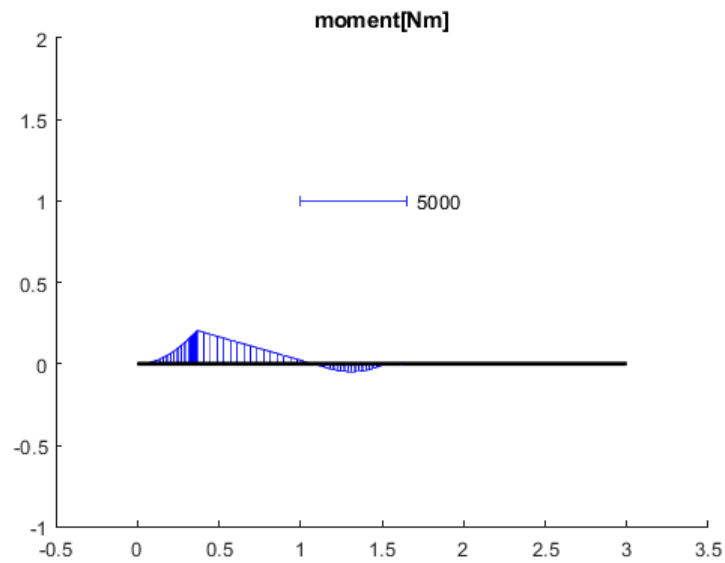
%beräkningar av tvärkraftskapacitet
V_rd_syll=K_cr*0.67*A_syll*f_vd_C30;

%maximal tvärkraft
T_max_tvar=max(T_max_tvar_1,T_max_tvar_2);
%maximalt moment
M_max_tvar=max(M_max_tvar_1,M_max_tvar_2);

%maximal nedböjning
w_tvar=max(w_tvar_1,w_tvar_2);

```





Resultat för syllen

```

fprintf('nedböjning av syllen, enhet:[mm]')
disp(w_tvar*1000)

fprintf('Kontroll av faktorn L/w,(måste klara krav L/w>=400)')
disp(L_tvar/w_tvar)

fprintf('Maxtvärkraft i syllen, enhet:[kN]')
disp(T_max_tvar/1000)

fprintf('Tvärkraftkapacitet i syllen, enhet:[kN]')
disp(V_rd_syll/1000)

fprintf('verkningsgrad tvärkraft[procent]')
disp(T_max_tvar/V_rd_syll*100)

fprintf('Maxmoment i syllen, enhet:[kNm]')
disp(M_max_tvar/1000)

fprintf('Momentkapacitet i syllen, enhet:[kNm]')
disp(M_rd_syll/1000)

fprintf('verkningsgrad moment[procent]')
disp(M_max_tvar/M_rd_syll*100)

```

nedböjning av syllen, enhet:[mm] 1.0638
Kontroll av faktorn L/w,(måste klara krav L/w>=400) 1.0646e+03
Maxtvärkraft i syllen, enhet:[kN] 7.5000
Tvärkraftkapacitet i syllen, enhet:[kN] 7.6546
verkningsgrad tvärkraft[procent] 97.9798
Maxmoment i syllen, enhet:[kNm] 1.5656
Momentkapacitet i syllen, enhet:[kNm] 4.1489
verkningsgrad moment[procent] 37.7356

Published with MATLAB® R2021a

Bilaga 10 - Beräkningar av förband

Beräkningar förbandskapacitet och utnyttjandegrad

Förband, skarv, limträbalkbro

```
%ACEX11 brokonstruktion 2024 grupp 52
% Kontroll och dimensionering av förbandskapacitet
% =====
% Björn Aloander 19990507
% Lydia Binbach 19990723
% Emelie Eklund 20001010
% David Mårtensson 20020803
% Saga Malmberg Sernekvist 20020204
% Emil Vendelstrand 20000916
%
% 2024-05-07
```

Källförteckning

```
% Referenser
% Ref. BK 1
% Bärande konstruktioner, del 1
% Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% 2013
% Göteborg, Chalmers tekniska Högskola

% Ref. BK 2
% Bärande konstruktioner, del 2
% Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% 2014
% Göteborg, Chalmers tekniska Högskola

% Ref. SIS 1995-1-1
% Dimensionering av träkonstruktioner - Del 1-1: Allmänt -
% Gemensamma regler och regler för byggnader
% Svenska institutet för standarder
% 2002
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/69557>
% =====
clear
clc
close all
% =====
```

Generell Indata

```
%indata GL32k
roh_tra=430; %[kg/m3] densitet (T31, BK 1)

%materialvärden
k_mod=0.7; %Omräkningsfaktor (T35, BK 1)
gamma_M=1.3; %Osäkerhetsfaktor, 1.3 för förband (T102, BK 2)

%Tvärsnittskonstanter för balken
h_balk=0.900; %[m] höjd på balken
```

```

b_balk=0.215; %[m] bred på balken

Dimensionering av balkskarven vertikala plåt, skjuvkapacitet

%Indata dymlingar
d=12; %[mm] diameter dymling.
f_uk=500; %[Mpa] Brottgräns, Utgått från skruv 5.6. (T77 BK 2)

%Indata plåt
t=0.015; %[m] Plåtjocklek, tjock plåt

%Indata Förbandsgeometri
t1=(b_balk-t)*10^3; % minsta inträngningsdjup [mm]

% Kapacitet, balkskarv, vertikal plåt
k90=1.35+0.015*d; %Barrträvirke. (SIS 1995-1-1, s.75, 8.33)
alpha=pi/2; %[rad] (pi/2 rad, belastas nedåt, fibrerna parallellt längsled)
f_h0k=0.082*(1-0.01*d)*roh_tra; %[MPa] Träets hållkanthållfasthet (SIS
1995-1-1, s.75, 8.32)
f_hak=f_h0k/(k90*sin(alpha)^2+cos(alpha)^2); %karakteristiskt bäddhållfasthet
m.h.t. vinkelbelastning (SIS 1995-1-1, s.75, 8.31)
M_yRk=0.3*f_uk*d^2.6; %karakteristiskt flytmoment för förbindaren (SIS
1995-1-1, s.75, 8.30)

%Brottmoder, olika kapacitet (SIS 1995-1-1, s.64, 8.10)
f=f_hak*t1*d; %[Mpa] Skjuvning brottmod c
g=f_hak*t1*d*(sqrt(2+4*M_yRk/(f_hak*d*t1^2))-1); %[N] Skjuvning brottmod d
h=2.3*sqrt(M_yRk*f_hak*d); %[N] Skjuvning brottmod e och m, (ekvivalenta)
bl=0.5*f_hak*b_balk*10^3*d; %[N] Skjuvning brottmod l
F_vRk=min([f g h bl]); %[N] dimensionerande Brottmod
F_vRd=k_mod*F_vRk/gamma_M; %[N] Kapacitet en dymling, ett skär (T102, T8-41,
BK 2)
F_vRd2=2*F_vRd; %[N] Två skär, båda sidorna

Kapacitet, balkskarv, horisontella plåtar,
en i ovan och en i underkant Utsätts för en skjuvande kraft från momentet

%Utförs med träskruv, skruvdimensioner
ds=20; %[mm] Skruven diameter
t_s=25; %[mm] Tjocklek plåt
i=200-t_s; %[mm] inträngningsdjup
n=6; %antal skruvar

%Hållfasthet träskruv
fuk_s=800; %[Mpa] draghållfasthet, skruv 8.8. (T77 BK 2)
nef=n^0.9; %effektiv mängd skruv (T107, T8-56, BK 2)
alpha_s=0; %[rad] (0 rad, skjuvning belastas parallellt längsled)
k90s=1.35+0.015*ds; %Barrträvirke. (SIS 1995-1-1, s.75, 8.33)
f_h0ks=0.082*(1-0.01*ds)*roh_tra; %[MPa] Träets hållkanthållfasthet (SIS
1995-1-1, s.75, 8.32)
f_haks=f_h0ks/(k90s*sin(alpha_s)^2+cos(alpha_s)^2); %karakteristiskt
bäddhållfasthet m.h.t. vinkelbelastning (SIS 1995-1-1, s.75, 8.31)
M_yRks=0.3*fuk_s*ds^2.6; %karakteristiskt flytmoment för förbindaren (SIS
1995-1-1, s.75, 8.30)

```

```

%Skjuvning, Dragkraftsbelastning, träskruv
%Träskruv Hållfashet
%Brottmöder, momentet bidrar till skjuvning parallellt fiberriktningen (SIS
1995-1-1, s.64, 8.10)
b1=f_haks*i*ds; %[Mpa] Skjuvning brottmod c
b2=f_haks*i*ds*(sqrt(2+4*M_yRks/(f_haks*ds*i^2))-1); %[N] Skjuvning brottmod d
b3=2.3*sqrt(M_yRks*f_haks*ds); %[N] Skjuvning brottmod e
Fd_vRk=min([b1 b2 b3]); %[N] dimensionerande brottmod
Fd_vRd=k_mod*Fd_vRk/gamma_M; %[N] dim. förmåga (T102, T8-41, BK 2)

Kontroll kapacitet

F_vEd=41.06*10^3; %[N] %Aktuell Tvärkraft
Md_Edv=246.4*10^3; %[Nm] Skjuvande kraft p.g.a. moment (horiöntell kraft
p.g.a. moment*hävvarm_tp)
p2=h_balk/2; %[m] (hävvarm)
Fd_vEd=Md_Edv*p2; %[N] Skjuvkraft p.g.a. moment

a1=6*ds; %[mm] avstånd mellan skruvar i fiberriktningen
n_e=min([n nef*(sqrt(a1/(13*ds))^(1/4))]); %effektivt antal skruvar (SIS
1995-1-1, s.76, 8.34), används ej

%Kontroll av kombinerande belastningsmod (T108, T8-60, BK 2)

fprintf('Skjuvning från momentkapacitetens verkningsgrad')
disp(Fd_vEd/(n*Fd_vRd))

fprintf('Skjuvning från tvärkraftskapaciteten verkningsgrad')
disp(F_vEd/(4*F_vRd2))

Skjuvning från momentkapacitetens verkningsgrad    0.8254

Skjuvning från tvärkraftskapaciteten verkningsgrad    0.8577

```

Published with MATLAB® R2022b

Bilaga 11 - Skalenlig modell

Följande bilder visar en skalenlig modell av bron som byggdes under projektets gång.

