



CHALMERS



Gång- och cykelbro i trä över Himleån

Förstudie och preliminär dimensionering

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

MARCUS IVERSEN
NOORA KHOULANI
SOFIE SKORSDAL
WILLIAM THULIN
DANIEL TÄRBO
ANTON ÅRMANN

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD

KANDIDATARBETE

Gång- och cykelbro i trä över Himleån

Förstudie och preliminär dimensionering

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

MARCUS IVERSEN
NOORA KHOULANI
SOFIE SKORSDAL
WILLIAM THULIN
DANIEL TÄRBO
ANTON ÅRMANN



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2021

Gång- och cykelbro i trä över Himleån
Förstudie och preliminär dimensionering

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

MARCUS IVERSEN
NOORA KHOULANI
SOFIE SKORSDAL
WILLIAM THULIN
DANIEL TÄRBO
ANTON ÅRMANN

- © MARCUS IVERSEN, 2021.
- © NOORA KHOULANI, 2021.
- © SOFIE SKORSDAL, 2021.
- © WILLIAM THULIN, 2021.
- © DANIEL TÄRBO, 2021.
- © ANTON ÅRMANN, 2021.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad
Chalmers tekniska högskola, 2021

Handledare:

Mario Plos, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad
Staffan Lindén, COWI

Examinator:

Kamyab Zandi, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad

Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon +46 31 772 1000

Omslag:

Bild på fysisk bromodell. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

Skriven i L^AT_EX

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad
Göteborg 2021

Gång- och cykelbro i trä över Himleån
Förstudie och preliminär dimensionering
Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik
MARCUS IVERSEN
NOORA KHOULANI
SOFIE SKORSDAL
WILLIAM THULIN
DANIEL TÅRBO
ANTON ÅRMANN
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad
Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

I området Trönninge norr om Varberg bygger träindustribolaget Derome bostäder på båda sidorna av Himleån. För att knyta ihop områdena har det beslutats att en bro för gång- och cykeltrafikanter ska byggas. Brospannet över ån behöver vara 26 meter. Syftet med rapporten är att i samarbete med Derome ta fram ett förslag på en bro i trä som lämpar sig väl för både området samt dess trafikanter. Rapporten består av två delar: en förstudie och en preliminär dimensionering.

I förstudien undersöks platsens förutsättningar och vilka krav som ställs på bron. Utifrån krav och förutsättningar utvecklas fem alternativa brokoncept som genom de tre perspektiven *beställare/konstruktion*, *produktion* samt *förvaltning & underhåll* utvärderades. Genom sju bedömningskriterier betygsattes brokoncepten för att identifiera det mest lämpliga konceptet. Förstudien resulterade i en tvärspänd plattbro. Valet av brokoncept presenterades för Derome varvid beslut kring slutgiltig design gällande utformning av brobana, broräcke och val av beläggning fastslogs. Brons bredd valdes till 2,52 meter över de två stöden med en breddning på mitten med maximal bredd på 3,96 meter. På bron används en grusbeläggning med underliggande tätskikt för att skydda bronns bärverk mot yttre påverkan. Bärverket har en krökning som skapar en bågform. Räckets är av gärdesgårdskaraktär och över bronns mittsektion finns bågar med belysning.

I den preliminära dimensioneringen identifierades kritiska laster och lastkombinationer. Utifrån dessa kunde plattans minsta balkhöjd beräknas genom en iterativ process bestående av kontroller av bronns kapacitet gentemot de krafter och påfrestningar som bron utsätts för. Dimensioneringen gjordes i enlighet med eurokoder och standarder. Beräkning genomfördes i MATLAB med tillägsprogrammet CALFEM. Vibrationerna orsakade av gångtrafikanterna var det mest kritiska och därmed den avgörande kontrollen för den slutliga balkhöjden. Den preliminära dimensioneringen resulterade i den slutliga balkhöjden på 0,9 meter.

Nyckelord: Kandidatarbete, Tvärspänd plattbro, Träbro, Gång- och cykelbro, Varberg, Trönninge, Göingegården, Himleån, Derome, Konceptuell design, Preliminär dimensionering

A wooden pedestrian and bicycle bridge across Himleån
Prestudy and preliminary dimensioning
Bachelor's thesis in Civil Engineering
MARCUS IVERSEN
NOORA KHOULANI
SOFIE SKORSDAL
WILLIAM THULIN
DANIEL TÅRBO
ANTON ÅRMANN
Department of Architecture and Civil Engineering
Chalmers University of Technology

Abstract

In the area Trönninge, north of Varberg, Derome is building residences on both sides of Himleån. To bring the areas together, it has been decided to build a bridge for cyclists and pedestrians. The bridge span has to be 26 meters to cross the river. This report aims to create a wooden bridge proposal that is suitable for both its location and road users. This is done in collaboration with Derome. The report consists of two parts: a prestudy and a preliminary dimensioning process.

In the prestudy, the prerequisites and requirements for the bridge is evaluated. Based on these, five alternative bridge concepts were developed through the three perspectives *client*, *production* and *maintenance*. The concepts were later on rated based on seven different evaluation criteria to identify the most suitable concept. The prestudy resulted in prestressed deck bridge. The winning concept was presented to Derome, whereby final decisions regarding design of details, such as railing and coating. The bridge final width was decided to 2.52 meters over the supports with an increased width in the middle of the span of 3.96 meters. The bridge has a curved shape and is covered on top with a gravel paving along with an underlying waterproofing layer. The railing is a round pole fence influenced by Swedish tradition and the mid section has two illuminating arches.

In the preliminary dimensioning process, critical loads and load combinations were identified. From these, the lowest beam height was calculated through an iterative process consisting in controls of the bridge capacity towards forces and stresses that the bridge may be exposed to. The dimensioning process was made in accordance with eurocodes and Swedish standards. Calculations were made in MATLAB with the CALFEM add-on. Vibrations caused by pedestrians was the most critical control and thereby the most decisive control for the final beam height. The final beam height was 0.9 meters.

Key words: Bachelor thesis, Prestressed deck bridge, Wooden bridge, Pedestrian bridge, Varberg, Trönninge, Göingegården, Himleån, Derome, Conceptual design, Preliminary dimensioning

Innehåll

Sammanfattning	I
Abstract	II
Innehåll	III
Figurer	III
Tabeller	III
Förord	V
Ordlista	VI
1 Inledning	1
1.1 Syfte och målbild	2
1.2 Mål	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Metod	2
1.5 Samhälleliga och etiska aspekter	3
1.6 Rapportens disposition	3
2 Krav och förutsättningar	4
2.1 Geotekniska förutsättningar	4
2.2 Konstruktionstekniska förutsättningar	5
2.3 Produktionsförutsättningar	5
2.4 Förvaltningsförutsättningar	5
3 Första urvalet: Val av lämpliga brotyper	6
4 Fem vidareutvecklade brokoncept	7
4.1 Brokoncept 1: Tvärspänd plattbro	7
4.1.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning	7
4.2 Brokoncept 2: Bågbro med hängare i stål	8
4.2.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning	8
4.3 Brokoncept 3: Bågbro med inåtböjda bågar	9
4.3.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning	9
4.4 Brokoncept 4: Fackverksbro med krökt farbana	10
4.4.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning	10
4.5 Brokoncept 5: Fackverksbro med bågformad överliggare	11
4.5.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning	11
4.6 Riskanalys av de fem brokoncepten	11
5 Andra urvalet: Val av slutgiltigt brokoncept	12
5.1 Urvalskriterier	12
5.1.1 Estetik	12
5.1.2 Produktion	12
5.1.3 Miljöpåverkan	12

5.1.4	Ekonomi	12
5.1.5	Inspektion	12
5.1.6	Underhåll	12
5.1.7	Anpassningsbarhet	13
5.2	Viktning av urvalskriterier	13
5.3	Betygssättning och val av slutligt brokoncept	14
6	Slutgiltigt brokoncept	15
6.1	Beskrivning av konstruktion: bärverk, täckande skikt och räcke	15
6.2	Grundläggning och landfästen	17
6.3	Preliminär produktionsplan	17
6.4	Preliminär underhållsplan	17
7	Preliminär dimensionering	18
7.1	Systemmodell och laster	18
7.1.1	Egentyngd	19
7.1.2	Utbredd last	19
7.1.3	Servicefordonslast	19
7.1.4	Horisontell last	19
7.1.5	Vindlast	19
7.2	Lastkombinationer	20
7.2.1	Lastkombinationer i brottgränstillstånd	20
7.2.2	Lastkombinationer i bruksgränstillstånd	21
7.3	Lasteffekter i brottgränstillstånd	22
7.3.1	Lasteffekter i brottgränstillstånd i yz-planet med laster i z- och y-riktning	22
7.3.2	Lasteffekter i brottgränstillstånd i yx-planet med laster längs x-axeln	24
7.4	Kontroller av brons slutgiltiga dimensioner	24
7.4.1	Kontroll av momentkapacitet	24
7.4.2	Kontroll av tvärkraftskapacitet	25
7.4.3	Kontroll av böjning med inverkan av axiell kraft	25
7.4.4	Kontroll av spännanordning	25
7.4.5	Kontroll av nedböjning	25
7.4.6	Kontroll av vibrationer	26
7.4.7	Kontroll av vippning	26
7.5	Resultat av dimensioneringsprocessen	27
8	Diskussion	28
8.1	Processen att ta fram ett lämpligt brokoncept	28
8.2	Processen av preliminärdimensionering och modellbyggnation	29
9	Slutsats	30
	Referenser	31
	Bilageförteckning	33

Förord

Rapporten är ett kandidatarbete med omfattningen 15 högskolepoäng inom civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers. Arbetet har genomförts tillsammans med Derome som bistått med områdesförutsättningar, konstruktivt uppföljningsarbete samt värdefulla kontakter med företag inom andra kunskapsområden. Vi tackar Derome för samarbetet och riktar ett extra tack till Anders Carlsson, Markus Johansson och Hans Palmqvist.

Vi riktar även tack till Jens Karlsson på Martinssons och Erik Johansson på Moelven som under arbets gång varit behjälpliga med att svara på praktiska frågor om broars utformning. Vi tackar även Jonatan Andersson på COWI samt Robert Jockwer, forskarassistent på institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad som bistått med kunskap och erfarenhet under dimensioneringsprocessen.

Slutligen tackar vi våra handledare Mario Plos, biträdande professor på institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad, samt Staffan Lindén, gruppchef på COWI.

MARCUS IVERSEN
NOORA KHOULANI
SOFIE SKORSDAL
WILLIAM THULIN
DANIEL TÅRBO
ANTON ÅRMANN
Göteborg, 2021

Ordlista

Biaxiella spänningstillståndet - Spänningstillstånd i två riktningar.

Brokoncept - Idéförslag av en bro som ska passa områdets förutsättningar.

Bärande system - Ett antal bärverk som tillsammans bildar ett bärande system.

Bärverk - Ett antal komponenter som tillsammans bildar ett bärverk.

Elementarfall - Härlett samband för ett element med förutbestämda laster och upplagsvillkor samt hur dessa påverkar strukturen.

Finita elementmetoden - Numerisk metod för att lösa linjära och icke-linjära partiella differentialekvationer.

Konstruktivt träskydd - Kategori inom träskydd där konstruktionsutformningen ska förebygga fuktproblem. Fukt ska kunna ventileras och ledas bort.

Kortling - Kort regel vars syfte är att stabilisera längre reglar i en träkonstruktion

Lasteffekter - Den påverkan givna laster ger på en konstruktion i form av moment, tvärkraft och normalkraft.

Lastfall - De olika sätt som en eller flera laster kan belasta bärverket på.

Lastkombinationer - De olika sätt som laster kan kombineras på.

Prefabricera - När något är förtillverkat på annan plats, exempelvis i en fabrik.

Preliminär dimensionering - En övergripande och förenklad dimensionering av det bärande systemet.

Primärt bärverk - Den del av strukturen som står för den huvudsakliga bärförmågan.

Randvillkor - Är de begränsningar man sätter för att möjliggöra en entydig lösning.

Sekundärt bärverk - De delar av strukturen som för krafterna vidare till det primära bärverket.

Slitplank - Brobanebeläggning av trä.

Stag - Höghållfasta stålstänger som kan hålla isär eller spänna ihop en konstruktion.

Överliggare - Översta delen på ett räcke/fackverk.

1 Inledning

Tre kilometer norr om Varbergs stadskärna ligger Trönninge. Området är 130 hektar och har sedan en lång tid tillbaka bestått av jordbruksmark. År 2010 tog Varbergs kommun fram en ny översiktsplan för området Trönninge med omnejd (Varberg kommun, 2017). I översiktsplanen framgår en planerad utbyggnad av i första hand bostäder, men även utbyggnad av mindre centrumverksamheter. Här planeras att byggas omkring 900 nya bostäder, däribland cirka 400 i det som ingår i planområdet för Göingegården södra (Derome, 2021).

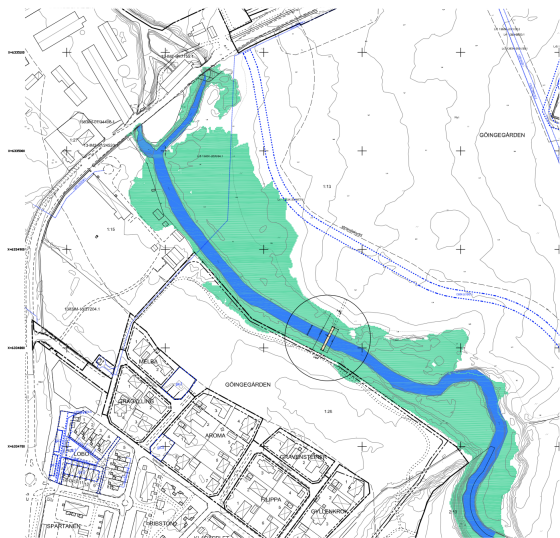
Området Göingegården genomkorsas av Himleån. I det annars öppna landområdet utgör Himleån en unik miljö ur både naturvärdes- och rekreationssynpunkt. Den lummiga växtligheten kring ån utgör en viktig miljö för fåglar, såväl som växtspridning. Ån är klassad som riksintresse för sitt viktiga bestånd av havsöring och lax som rör sig upp i ån.

Söder om Himleån har träindustribolaget Derome hittills uppfört cirka 400 bostäder. I senare etapper planeras vidare utbyggnad av området norr om ån. Ett viktigt mål för området är att de södra och norra delarna av Göingegården kopplas samman på ett naturligt sätt. Detta har påbörjats genom att anlägga gång-, cykel- och ridstråk längs med Himleån. För att ta sig från ett område till det andra, krävs det i dagsläget att man tar sig västerut till en större väg som korsar Himleån. För att ytterligare koppla ihop områdena har det beslutats att bygga en mindre gång- och cykelbro, för att underlätta rörelse till fots (se figur 1).

Vid Deromes redan färdigställda bostäder söder om ån har hållbarhet varit av stor vikt. Derome är ett företag som arbetar med trä som byggnadsmaterial vilket ger goda förutsättningar för ett hållbart byggande. För området norr om ån avser man att ha samma inriktning, byggnader i trä. För att på ett naturligt sätt sammankoppla områdena faller det naturligt att även den planerade bron byggs i trä.

Figur 1:

Situationsplan över området där bron är inringad.



Kommentar. Från situationsplan [Bild], av Hans Palmqvist, 2021. Återgiven med tillstånd.

1.1 Syfte och målbild

Kandidatarbetet syftar till att ta fram och studera ett antal olika brokoncept för en gång- och cykelbro i trä. Det mest lämpliga konceptet ska därefter beskrivas och visualiseras i form av en modell. Konceptet ska även preliminärdimensioneras enligt de krav som ställs. I arbetet finns en beställare, träindustribolaget Derome. Målbilden med arbetet är att uppfylla deras önskan med avseende på ett flertal områden. Däribland finns önskemål om hållbarhet ur miljösynpunkt och att bron ska vara gynnsam för områdets trafikanter. Det finns även önskemål om att bron ska ge ett positivt tillskott till områdets estetiska uttryck.

1.2 Mål

Projektet består av två huvudsakliga mål: framtagning och val av lämpligt brokoncept samt en preliminär dimensionering. Dessa bryts ned i delmål:

En gång- och cykelbro i trä ska konstrueras och det finns många aspekter att vikta mot varandra för att göra bästa möjliga urval av brokoncept. Det kan vara problematiskt att hitta ett koncept där alla kriterier är helt uppfyllda. Därför delas problemet in i deluppgifter utifrån tre specialistgruppers perspektiv för att få fram utvärderingskriterier och riskanalys inom samtliga.

När ett brokoncept är framtaget ska en preliminär dimensionering genomföras. De huvudsakliga delproblemen för detta är: framtagning av system- och beräkningsmodell, identifiering av dimensionerande lastfall, bestämning av randvillkor, beräkning av lasteffekter, kapacitetskontroller samt till sist en utvärdering och rimlighetsbedömning.

1.3 Avgränsningar

Dimensionering av grundläggning, anslutningar och eventuella installationstekniska lösningar kommer inte behandlas. Den ekonomiska aspekten kommer beaktas men inte fördjupas i form av ett konstnadsförslag. I enlighet med syfte och målbild begränsas materialet till brokonceptet att huvudsakligen bestå av trä.

1.4 Metod

Genomförandet av arbetet är uppdelat i två delar. I den första delen togs ett brokoncept fram och presenterades för beställaren, Derome. I den andra delen genomfördes en preliminär dimensionering samt tillverkning av en bromodell i skala 1:25.

Arbetet inleddes med informationshämtning om broar och projekteringsprocessen vilket genomfördes med hjälp av föreläsningar och litteraturstudier. Derome presenterade förutsättningarna med ett inledande möte på platsen där bron ska anläggas. Olämpliga brotyper sorterades bort i ett första urval. Därefter togs olika brokoncept fram och utvärderades i en särskild urvalsprocess. Urvalsprocessen genomfördes med hjälp av viktade urvalskriterier vilket baserades på specialistgruppernas områden. Brokonceptet som uppfyllde kriterierna i störst utsträckning utsågs därefter till det slutgiltiga konceptet. I samband med detta inhämtades synpunkter från Derome för att säkerställa att önskemålen uppfylldes för det slutgiltiga brokonceptet.

I den första delen utgick arbetet utifrån tre olika specialistgrupper inom följande områden: *beställare/konstruktion*, *produktion* samt *förvaltning och underhåll*. Specialistgruppen *beställare/konstruktion* ansvarade för samhällets intressen, exempelvis frågor som berör hållbar utveckling, miljö, ekonomi och trafikanter. Denna grupp hade även ett extra fokus på brokonceptets arkitektoniska värden. *Produktion* ansvarade för frågor avseende tillverkning och uppförande av bron. Detta innefattades av produktionsmetod, produktionsordning, transport samt vilka tillfälliga konstruktioner som behövs. *Förvaltning och underhåll* ansvarade för nödvändiga inspektioner och underhåll för den färdigställda bron samt vilka kritiska punkter som kan finnas ur beständighetssynpunkt.

Arbetets andra del inleddes med att definiera det bärande systemet och randvillkoren för det valda brokonceptet. Därefter bestämdes lastfall och lastkombinationer vilket gav förutsättningar att inleda konstruktionsberäkningar. Konstruktionsberäkningarna genomfördes med datorprogrammet MATLAB samt med handledning av konstruktörer från COWI och handledare från Chalmers tekniska högskola. Dimensioneringsprocessen är en iterativ process vilket krävde upprepande rimlighetsbedömningar och utvärderingar av resultatet. Slutligen presenterades arbetet med en fysisk bromodell.

1.5 Samhälleliga och etiska aspekter

Projektet innehåller både samhälleliga och etiska aspekter som beaktas under projektets gång. Att koppla ihop det nu befintliga området med det planerade området via en bro över Himleån bidrar till en social koppling mellan områdena. Den befintliga motionsslingan ”Göingeslingan” ansluts till det nya området med hjälp av denna bro, vilket uppmanar till motion och en härlig naturupplevelse för de boende. Denna bro kommer att vara en tryggare och en mer säker väg att transportera sig till norra Göingegården från det befintliga bostadsområdet samtidigt som det gör rekreationsområdet kring ån mer tillgängligt.

Finns det något som kan ta skada av att denna samhälleliga nytta uppnås? Bron ska konstrueras, produceras och underhållas på ett sådant sätt att de rika djurliv som finns i ån samt i området kring Himleån förblir opåverkat. För att uppnå detta är en del i projekteringen att fokusera på hur projektet kommer att påverka projektplatsens omgivning. Vidare under projekteringen tas det även hänsyn till vilken skada uppförandet av bron kan göra över tid. Det är en viktig del att undersöka så att materialet har minimal påverkan på naturen. Himleån är skyddad via strandskyddet och det är beslutat att ingen byggnation får ske inom 100 meter från strandlinjen. Däremot så har en dispens sökts och godkänts för byggandet av en gång- och cykelbro över Himleån. Under projektets förberedelser, byggande samt brons livslängd kommer strandskyddet beaktas.

1.6 Rapportens disposition

I rapportens första del, kapitel 2-6, behandlas framtagande och val av slutgiltigt brokoncept. Den andra delen, kapitel 7, beskriver den preliminära dimensioneringen. Slutligen presenteras diskussion och slutsats.

I rapportens nästa kapitel beskrivs de krav och förutsättningar som ställs på bron. När dessa krav och förutsättningar är beskrivna görs det första urvalet i kapitel 3. Urvalet har sin grund i en litteraturstudie på de träbrotyper som finns. Litteraturstudien finns i bilaga 4. I kapitel 4 beskrivs de brokoncept som har utvecklats utifrån dels det första urvalet och dels ett underlag till andra urvalet som finns i bilaga 5. I detta kapitel presenteras även den riskanalys som gjorts i bilaga 6. I kapitel 5 görs det andra urvalet med hjälp av underlaget. Andra urvalet genomförs med hjälp av kriterier och en betygssättning där det mest lämpliga brokonceptet tas fram. När det slutgiltiga brokonceptet har valts beskrivs det i detalj under kapitel 6 som avslutar rapportens första del.

2 Krav och förutsättningar

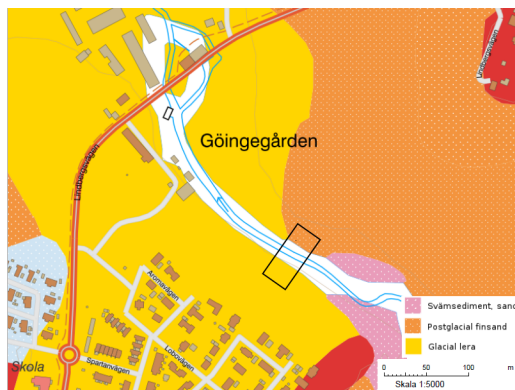
För att utveckla de brokoncept som ska studeras behövs i första hand krav och förutsättningar för bron. I detta kapitel beskrivs de områden där krav och förutsättningar identifieras. Områdena är geoteknik, konstruktion, produktion samt förvaltning.

2.1 Geotekniska förutsättningar

Området där bron ska byggas består i huvudsak av två olika jordarter: glacial lera och postglacial finsand. Utbredningen av dessa visas i figur 2. Djupet ner till berg är i området mellan 5-20 meter och visualiseras i figur 3. En geologisk undersökning har utförts i närheten av bronns norra landfäste och kan lokaliseras i bilaga 1 som borrhål 20W08. Undersökningarna visar på en grundvattenyta på 0,52 meter under markytan samt en jordprofil enligt tabell 1. I jordprofilen ser man att marken i området består av siltiga leror vilket generellt tyder på en låg hållfasthet.

Figur 2:

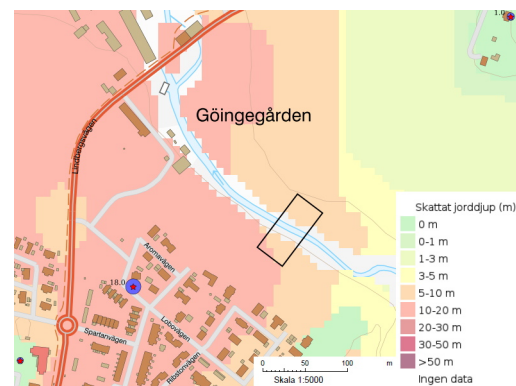
Jordartskarta i skala 1:5 000. Brons plats markerad med svart rektangel.



Kommentar. Från Jordartskarta [Bild], av Sveriges geologiska undersökning, 2021, SGU, (<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html>). CC-BY 4.0.

Figur 3:

Jorrdjupskarta i skala 1:5 000. Brons plats markerad med svart rektangel.



Kommentar. Från jorrdjupskarta [Bild], av Sveriges geologiska undersökning, 2021, SGU, (<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jorrdjup.html>). CC-BY 4.0.

Tabell 1:

Jordlagerprofil borrhål 20W08. Information sammanställd från bilaga 2.

Djup under markytan [m]	Jordtyp
0,00-0,85	Sandig mulljord
0,85-1,20	Sand
1,20-1,60	Siltig lerig finsand
1,60-2,00	Siltig sandig lera
2,00-3,00	Siltig lera med sandskikt
3,00-4,00	Siltig lera med sandskikt

2.2 Konstruktionstekniska förutsättningar

Den bärande konstruktionen ska bestå av trä och även i största möjliga mån resterande delar av bron. Brospannet ska vara 26 meter och brobanan ska ha en bredd om 2-3 meter vid landfästena. Underkant av brokonstruktionen ska ligga på en nivå om minst 5,80 meter, höjdskillnaden mellan befintlig gång- och cykelväg och underkant bro är 0,5 meter, för ett detaljerat första utkast av sektionskiss se bilaga 3. Estetiken ska vara förenlig med området, konstruktion och materialval ska orsaka minsta möjliga åverkan i enlighet med strandskyddet.

Utöver förutsättningar finns krav på vilka laster som bron ska klara. Den vertikala lasten orsakad av variabel trafiklast ska för gång- och cykelbroar inte överstiga en nedböjning på, $L/400$, av den teoretiska spännvidden, L , (Trafikverket, 2019a). Kravet ska gälla i längsled såväl som i tvärlid. Alla kraven på träkonstruktioner med avseende på utformning och verifiering genom beräkning och provning framgår i ”Krav för vägars och gators utformning”. Gång- och cykelbroar ska utformas enligt svensk standard (Svenska institutet för standarder [SIS], 2017). För att passage av bron ska vara möjlig för alla finns krav på tillgänglighetsanpassning. Kravet är att farbanans lutning inte ska överskrida åtta procent (Trafikverket, 2021).

2.3 Produktionsförutsättningar

Derome ser gärna att produktionen av träbron i största mån sker i fabrik. Storleken på brons konstruktionsdelar begränsas av hur stora delar som kan transporteras på vägnätet. Trafikverket är den myndighet som tar tagit fram villkoren för vilka maximala dimensioner som får transporteras på svenska vägar utan dispens.

De generella villkoren för vilka maximala dimensioner som får fraktas är en längd på 24 meter samt en bredd på 2,6 meter. Det finns dock undantag från dessa om speciella villkor efterföljs. Transport av långa laster upp till 30 meter godkänns utan dispens om villkoren i (TSFS 2010:142, 2010) uppfylls. De krav som gäller för breda transporter utan dispens är en maximal bred på 3,5 meter samt att villkoren i (TSFS 2010:141, 2010) iakttas. I det fall då lasten överskrider kraven ovan så kan speciella dispenser utfärdas av Trafikverket. Det finns inga krav om gällande maximala höjder men vägportar och liknande är i de flesta fall dimensionerade för 4,5 meter totalhöjd. För laster med högre höjd krävs det ett färdvägsintyg där transportören undersökt att transporten är möjlig (Trafikverket, 2019b).

2.4 Förvaltningsförutsättningar

Enligt Trafikverket (2019a) ska en träbro dimensioneras för att uppnå en teknisk livslängd på 40 eller 80 år. Livslängden bestäms bland annat av: utformning, val av material, träskydd och ytbehandling. Vid 80 års teknisk livslängd ställs även särskilda krav på att en underhållsplan uppförs och efterföljs. Trafikverket framhåller även vikten av regelbundna inspektioner och underhåll på bron för att den önskade livslängden skall uppnås. Det är därmed viktigt att vid utformning av en bro se till att underhåll och inspektioner kan utföras utan svårigheter. För att uppnå den önskade livslängden framhåller Trafikverket (2019a) vikten av träskydd i form av intäckning, utformning och ytbehandling.

För utformningen är det viktigt att alla delar ska kunna torka ut så att fuktkvoten inte överstiger 20 procent. Träet får heller inte komma i direkt kontakt med marken och avståndet till markytan ska vara minst 0,8 meter. Träbron behöver även placeras minst 0,5 meter över medelvattenståndet för att undvika direkt kontakt med vattenytan. Slutna utrymmen ska utföras på ett sådant sätt att det blir möjligt att göra öppningar vid inspektionen för att mäta temperatur och fuktkvot i utrymmet (Trafikverket, 2019a). Ytbehandling skall utföras för alla synliga trätytor enligt standard (SIS, 2013).

3 Första urvalet: Val av lämpliga brotyper

De krav och förutsättningar som beskrevs i föregående kapitel ligger tillsammans med bilaga 4 till grund för det första urvalet som presenteras i detta kapitel. Bilaga 4 innehåller en beskrivning av vanliga träbrotyper med hänsyn till bygghöjd, spännvidder, grundläggning, estetik samt teknisk livslängd.

I tabell 2 visas anledningen till att brotyper utesluts, kriterierna bygger på förutsättningar och krav enligt kapitel 2. Det baseras främst på fyra kriterier: *bygghöjd*, eftersom den befintliga gång- och cykelvägen endast är 0,5 meter ovan underkant bro utesluts brokoncept med större bygghöjd än 1 meter. *Spännvidder* som lämpar sig bättre för kortare respektive längre spännvidder. *Grundläggning* som kräver mer utrymme än vad förutsättningarna tillåter. *Estetik* för brokoncept som inte är i enlighet med områdets förutsättningar, exempelvis skulle höga pyloner inte vara i samklang med områdets uttryck.

Tabell 2:

Sammanställning av urval 1

Brotyp/ Orsak	Oönskat stor bygghöjd	Opassande spann	Opassande grundläggning	Inte i enlighet med estetik
Plattbro				
Balkbro	X			
Lådbalk	X			
T-Balk	X			
Sprängverk	X			
Bågbro				
Fackverk				
Hängbro & Snedstag		X	X	X

Kommentar. Brotyper som utreds vidare är vitmarkerade medan bortvalda brotyper är gråmarkerade.

De tre brotyperna som vidareutvecklas är tvärspänd plattbro, bågbro och fackverksbro. I efterföljande kapitel tas flera olika koncept fram utifrån dessa tre brotyper.

4 Fem vidareutvecklade brokoncept

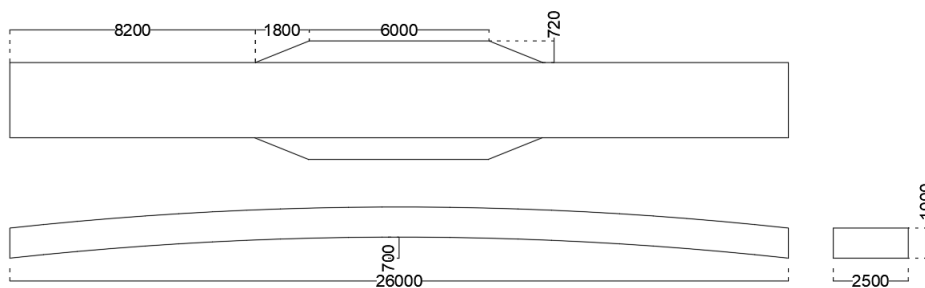
Efter första urvalet som beskrevs i föregående kapitel har brotyperna tvärspänd plattbro, bågbro och fackverksbro vidareutvecklats till fem olika brokoncept med hjälp av underlaget i bilaga 5. Underlaget bygger och utvärderas utifrån de sju faktorerna: *estetik, byggnadsmaterial, produktion, grundläggning, förvaltning, hållbarhet* och *ekonomi*. Slutligen genomförs en riskanalys, se bilaga 6, där varje brokoncept erhåller en riskpoäng.

4.1 Brokoncept 1: Tvärspänd plattbro

Den tvärspända plattbron består av lätt krökta limträbalkar, se figur 4. Farbanan beläggs med packat grus för att vara i enlighet med befintlig gång- och cykelväg. Balkhöjd kommer bli ca 0,90-1,30 meter enligt bilaga 4.

Figur 4:

Skiss över bärverket för brokoncept 1



Kommentar. Vy ovanifrån, vy från sidan och vy framifrån. Mått i mm. Författarnas egen bild.

4.1.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning

Den krökta formen är till fördel för estetik och kommer inte påverka eller förändra primärbärverkets verkningsätt. Utformningen av den tvärspända plattbronns farbana är möjlig att anpassa. På mitten av bron byggs en utbreddning där trafikanter kan uppehålla sig utan att vara i vägen för den rörliga trafiken. Brokonceptet är förhållandevis standardiserad vad gäller både produktion och dimensionering vilket sparar tid och gör den ekonomiskt försvarbar. Den största miljöbelastningen i detta brokoncept är de tvärspända stagen av stål.

Den tvärspända plattbronns produktion kommer mestadels ske genom prefabricering i fabrik men en del moment kommer ske på plats. Arbetstiden för produktionen är förhållandevis kort tack vare få komponenter. Grundläggningen kommer utgöras av spetsbärande pålar som gjuts ihop med en platta. Landfästena till brobanan gjuts sedan ovanpå plattan. Den tvärspända plattbron tillverkas i princip helt klart under tiden i fabrik då storleken är inom förutsättningarna för transport. Bron transporteras sedan till broplatsen på trailer där den sedan lyfts med hjälp av mobilkran direkt på stöden för sin slutgiltiga position. De avslutande arbetena som krävs är att lägga på slitlagret av grus ovanpå bronns tätskikt.

För denna brotyp ger farbanan ett konstruktivt träskydd eftersom bärverket är placerat undertill. Träskyddet utgörs av ett tätsikt, grusbeläggning samt panel som skyddar bärverkets sidor från sol och vatten. Detta medför att huvudbärverket inte behöver ytbehandlas i lika stor utsträckning som för broar med överliggande bärverk. Det konstruktiva träskyddet ger ett lägre underhållsbehov och därmed en lägre miljöpåverkan eftersom huvudbärverket ej utsätts för direkta yttre påfrestningar. Nackdelen med denna brotyp är att inklädnaden försvårar möjligheten till inspektion. Inspektionen kan ej genomföras från farbanan utan inspektören behöver istället befinna sig under eller på sidan av bron. Sidan av bron kommer att vara inklädd med panel vilket innebär att en inspektionslucka behöver uppföras¹.

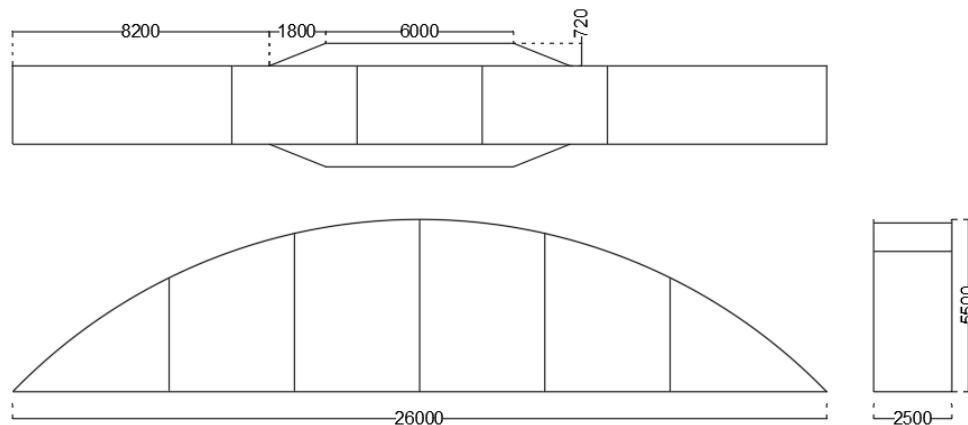
¹Kommunikation med konstruktionschef E.Johansson, Moelven, 24 februari 2021

4.2 Brokoncept 2: Bågbro med hängare i stål

För att uppnå kraven i avsnitt 2.2 gällande underkantens avstånd till vatten kommer bågen att placeras ovan farbanan. Bågen utformas av limträbalkar och hängarna av stål, se figur 5. Hängarna fäster i tvärgående balkar vilket sedan bär upp de längsgående balkarna. Farbanan utformas därefter av slitplank vilket fäster i de längsgående balkarna. Bågens konstruktionshöjd kommer att bli 4,3-6,5 meter enligt bilaga 4. Konstruktionen bär lasten främst i tryck i bågen och drag i hängare och dragband. Konstruktionen behöver motstå horisontella krafter vilket kräver särskild eftertanke vid grundläggning. För att undvika en allt för omfattande grundläggning införs dragband i trä under farbanan².

Figur 5:

Skiss över bärverket för brokoncept 2



Kommentar. Vy ovanifrån, vy från sidan och vy framifrån. Mått i mm. Författarnas egen bild.

4.2.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning

En bågbro får en estetiskt framträdande karaktär vilket ur samhällets perspektiv är att föredra. Hängarna kommer kunna hållas tunna vilket sätter bågen och dess tydliga trä-utseende i fokus. Brokonceptet är anpassningsbart för breddning av farbanan på mitten. Eftersom bron kräver hängare i stål kommer detta bidra till ökad miljöpåverkan. En bågbro är generellt sett större ekonomiskt belastad jämfört med en tvärspädd plattbro vad gäller produktion, materialåtgång, transportkostnader och underhåll.

Bågbron med hängare av stål kommer kunna tillverkas delvis i fabrik men en del montagearbete kommer ske på platsen. Grundläggningen kommer gå till på liknande sätt som för brokoncept 1. Produktion av bron kommer delas upp i två delar, bågarna samt brobanan på grund av att konstruktionshöjden annars skulle ställa till med problem vid transport. Genom att transportera bågarna separat så kan bågarna läggas på trailern och transporteras med dispens för bred last alternativt utformas bågen som en treledsbåge med en momentfri led i mitten. Brobanan kommer kunna prefabriceras färdigt i fabrik för att sedan transporteras till broplatsen där den först monteras samman med bågarna. Stag mellan bågarna ovanför brobanan kommer även monteras innan den lyfts på plats. Arbetstiden för att producera bron är relativt lång och kräver arbeten både i fabrik och på broplatsen.

²Kommunikation med gruppchef S.Lindén, Cowi, 2 mars 2021

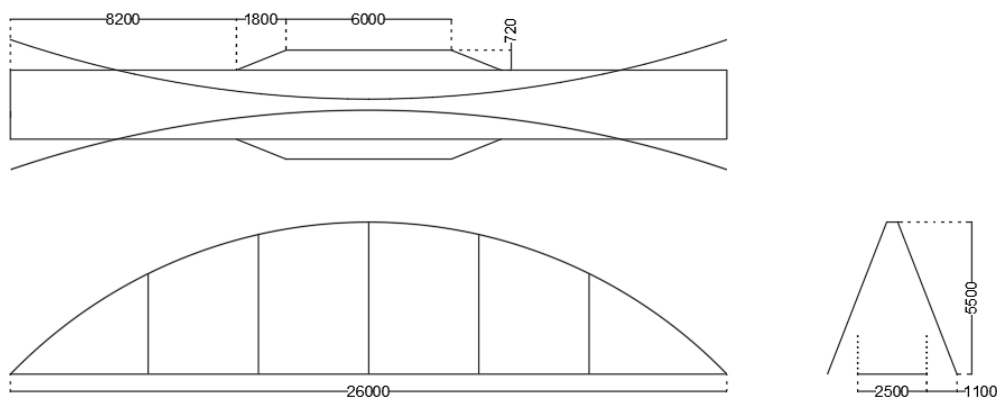
Då bågbron har ett överliggande huvudbärverk är det en utsatt konstruktion och behöver därför kläs in med plåt ovanpå och panel längs sidorna. En inklädd båge försvårar inspektion då huvudbärverket, limträbalkarna, ej är lika lättåtkomliga. Eftersom bågen har en hög konstruktionshöjd försvårar även detta inspektion och underhåll. Vid inspektion eller underhåll av bågen kommer sannolikt framkomligheten på bron att behöva begränsas eller förhindras. Detta eftersom inspektören behöver lämplig lyftanordning för att kunna genomföra sitt arbete. Underhållet av farbanan i slitplank är av enklare varianten då den vanligtvis enbart kräver tvättning och kan enkelt bytas ut vid behov. Hängarna utformas av rostfritt stål för att undvika korrosion.

4.3 Brokoncept 3: Bågbro med inåtböjda bågar

Likt brokoncept 2 kommer bågen placeras ovan farbanan. Bågarna på var sida konstrueras på ett sådant sätt att de lutar inåt mitten för att ge en portalkänsla, se figur 6. Konstruktionsmässigt är bron uppbyggd på samma sätt som brokoncept 2, med hängare av stål som fästs i tvärbalkar av trä under slitplanken i farbanan. Bågens konstruktionshöjd kommer att bli 4,3-6,5 meter enligt bilaga 4. För att förhindra att bågarna vippar inåt i konstruktionen kommer bågarna monteras ihop i ovankant med hjälp av stag. För att uppta de horisontella krafter som uppkommer i både längsled och tvärlid kommer denna bro utformas med ett dragband i farbanan samt mellan stöden.

Figur 6:

Skiss över bärverket för brokoncept 3



Kommentar. Vy ovanifrån, vy från sidan och vy framifrån. Mått i mm. Författarnas egen bild.

4.3.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning

Brokoncept 3 är i många aspekter väldigt lik brokoncept 2 men är mer komplex vilket gör den något mer ekonomiskt belastad än brokoncept 2. Eftersom det är mycket vegetation längs ån kommer vyn framifrån att vara den mest framträdande. Detta brokoncept är därmed estetiskt fördelaktigt då de inåtböjda bågarna ger ett unikt intryck.

Bron produceras och transporteras på samma sätt som koncept 2 där skillnaden är grundläggningen. Då bågarna lutar inåt behöver de placeras med ett avstånd utanför brobanan på varsitt fundament. Dessa behöver sedan kopplas samman med ett dragband för att minska belastningen på grundläggningen. Detta medför att produktionen är mer komplicerad och tar längre tid.

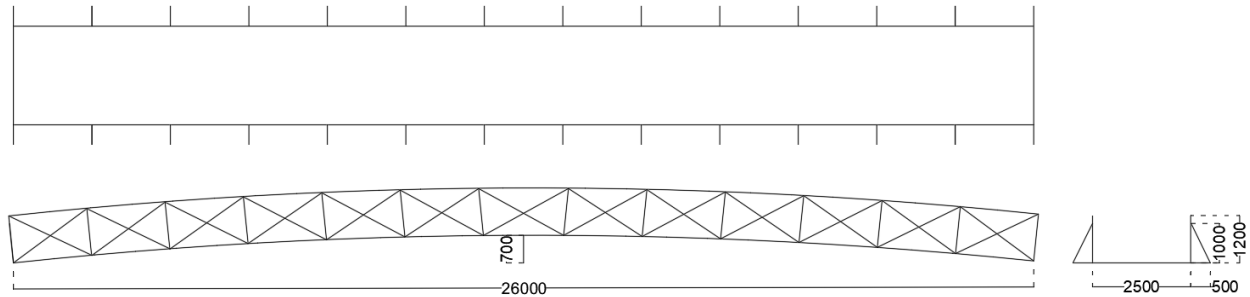
Eftersom detta brokoncept påminner om koncept 2 kommer träskyddet att utformas på liknande vis. Bågen kommer att kläs in för att ge ett konstruktivt träskydd och hängarna utformas av rostfritt stål. Inspektioner och underhåll kommer att ha samma förutsättningar som för brokoncept 2 alltså vissa utmaningar med förvaltningen av bågkonstruktionen. Farbanan kommer, likt koncept 2, vara uppförd av slitplank vilket kan bytas ut vid behov.

4.4 Brokoncept 4: Fackverksbro med krökt farbana

Fackverket kommer konstrueras på traditionellt sätt, som beskrivet i bilaga 4. Farbanan kommer att konstrueras så att en lätt krökning uppstår vilket skapar ett bågformat uttryck, se figur 7. För att förhindra att sidorna faller in när bron belastas kommer snedstag att monteras i vinkel ut från sidorna som binds ihop med en tvärbalk under farbanan. Farbanan utgörs av slitplank.

Figur 7:

Skiss över bärverket för brokoncept 4



Kommentar. Vy ovanifrån, vy från sidan och vy framifrån. Mått i mm. Författarnas egen bild.

4.4.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning

Fackverksbron har ett traditionellt och rustikt uttryck. Trä får utgöra både det primära och sekundära bärverket vilket ger ett tydligt intryck av trä. Den lätta krökningen är vald till fördel för estetiken. Brokonceptet är relativt de andra brokoncepten mindre kostsamt i produktion men mer kostsamt i underhåll. Störst miljöpåverkan av detta brokoncept är de stålkomponenter som behövs i knutpunkter och avrinningsplåtar i fackverket. Brokonceptet är inte anpassningsbart i utformningen av farbanan.

Fackverksbron prefabriceras helt färdigt i fabrik tack vare storleken som är inom förutsättningarna för transportkraven. Arbetstiden för att montera ihop bron är relativt lång vilket beror på bronns många komponenter. Efter tillverkningen i fabrik kan bron sedan lastas på trailer och lyftas direkt på plats med en mobilkran. Grundläggning kommer gå till på samma sätt som för brokoncept 1.

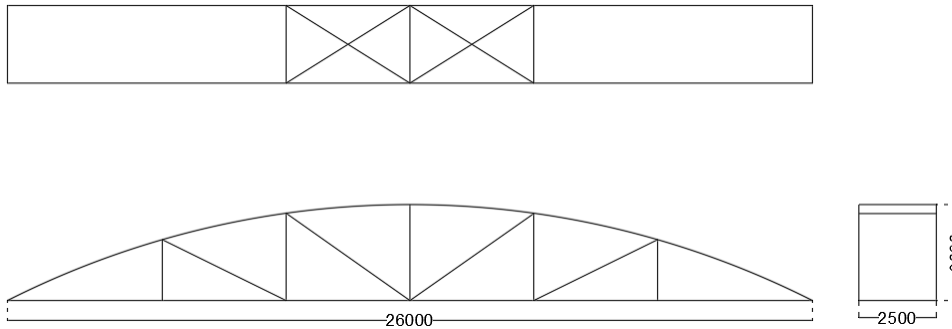
Fackverkskonstruktionen består av många infästningar och anslutningar vilket innebär att detaljutformningen är av stor vikt. Eftersom huvudbärverket är över eller i höjd med farbanan måste ett konstruktivt träskydd appliceras separat. Detta genomförs med plåtar, där det förefaller risk att vatten blir liggandes, samt lutande ytor för att leda bort vattnet. Konstruktionen kräver även en ytbehandling för skydd mot vatten och solljus. Detta innebär ett ökat underhållskrav för att behandlingen ska bibehålla sin funktion. Eftersom fackverksbalkarna är i höjd med farbanan och är en öppen konstruktion underlättar detta åtkomsten för inspektion och underhåll. Framkomligheten på farbanan kommer troligen inte behöva begränsas vid inspektion tack vare huvudbärverkets placering och tillgänglighet.

4.5 Brokoncept 5: Fackverksbro med bågformad överliggare

Likt brokoncept 4 kommer denna bro att konstrueras på liknande sätt som är beskrivet i bilaga 4. Det som urskiljer denna bro är att överliggaren kommer att vara bågformad vilket innebär att knutpunkterna från fackverket kommer finnas på olika höjder beroende på bågens höjd, se figur 8.

Figur 8:

Skiss över bärverket för brokoncept 5



Kommentar. Vy ovanifrån, vy från sidan och vy framifrån. Mått i mm. Författarnas egen bild.

4.5.1 Beskrivning av: konstruktion, produktion samt underhåll och förvaltning

Brokoncept 5 har i princip samma konstruktion som brokoncept 4. Det som skiljer är att bågförmen för överliggaren kommer öka estetiken. Överliggarna kommer att monteras ihop i överkant med hjälp av stag. För att uppnå en fri höjd på 2,7 meter vid första staget kommer konstruktionshöjden bli 3,5 meter vid bronns mitt. Materialåtgången är något större och mer komplex vilket påverkar den ekonomiska aspekten.

Tillverkningen kommer gå till på samma sätt som för koncept 4 men arbetstiden är något längre på grund av den något ökade komplexiteten. Transporten blir något mer komplicerad på grund av den högre höjden jämfört med koncept 4.

Eftersom huvudbärverket utgörs av ett fackverk även för denna bro kommer förutsättningarna för inspektion och underhåll att vara detsamma som i brokoncept 4. Skillnaden för detta koncept är att bågen försvårar möjligheten till inspektion på grund av dess konstruktionshöjd och inklädnad. Bågen behöver ett konstruktivt träskydd vilket utgörs av plåt upptill och panel på sidorna. Underhållet av bågen försvåras av konstruktionshöjden men kräver mindre tillsyn tack vare bågens inklädnad.

4.6 Riskanalys av de fem brokoncepten

En riskanalys har genomförts och presenteras i bilaga 6. Den slutgiltiga riskpoängen fås genom att multiplicera allvarlighetsgraden med sannolikheten och därmed är en låg poäng förenat med en låg risk. Resultatet av riskanalysen är att den tvärsända plattbron är den bro som erhåller lägst riskpoäng och därav är det mest lämpliga brokonceptet ur risksynpunkt.

5 Andra urvalet: Val av slutgiltigt brokoncept

I föregående kapitel beskrevs hur de fem brokoncepten konstrueras, produceras och förvaltas. I nedanstående kapitel genomförs det andra urvalet som resulterar i ett slutgiltigt brokoncept för vidare utveckling och beskrivning i kapitel 6. Det andra urvalet har sin grund i en betygssättning baserat på urvalskriterier som redovisas i kapitlet nedan.

5.1 Urvalskriterier

För att ta fram ett slutgiltigt brokoncept utifrån de fem framtagna brokoncepten har sju urvalskriterier tagits fram. Urvalskriterierna som beaktas är *estetik*, *produktion*, *miljöpåverkan*, *ekonomi*, *inspektion*, *underhåll* och *anpassningsbarhet*. Brokoncepten utvärderas och betygssätts utifrån var och en av dessa urvalskriterier.

5.1.1 Estetik

Bron kommer synas från många olika vinklar i dess omgivning, både av förbipasserande och av boende i de närliggande husen. Det är även av beställarens önskemål att bron medverkar till de omgivande byggnaderna och naturens karaktär. Av dessa anledningar är brons utseende och estetik ett viktigt kriterium. Bron bör vara estetiskt tilltalande för betraktaren, samtidigt som den bör smälta in i omgivningen på ett naturligt sätt och inte förändra områdets generella uttryck.

5.1.2 Produktion

Vad gäller produktion av olika brotyper finns begränsningar i hur mycket som kan produceras färdigt i fabrik och hur mycket som måste monteras på plats. För att minimera störning på omgivningen i området önskas därför att så mycket som möjligt kan prefabriceras för att sedan lyftas på plats. Vid produktion av bron är även arbetsmiljö och säkerhet två viktiga faktorer. Arbete i fabrik klassas generellt som mindre riskfyllt än arbete i fält. Därför kommer broar som i större grad är prefabricerade att värderas högre än andra.

5.1.3 Miljöpåverkan

Byggnation av broar har stor miljöpåverkan. Vid byggnation av träbroar är det generellt sätt inte träet som står för den stora miljöpåverkan, utan stålet som också finns i konstruktionen. Stålet kan hittas i konstruktionens olika infästningar, spännanordningar eller i bärande hängare. Broar med få komponenter i stål kommer därför värderas högre än andra.

5.1.4 Ekonomi

Vid byggnation av en bro är den ekonomiska aspekten generellt sätt en väldigt viktig faktor ur beställarens synvinkel, där en ekonomiskt fördelaktig bro är att föredra. Saker som påverkar brons kostnad kan vara produktionsmetod, materialval, mängd av material och underhållskostnader. De olika brotypernas relativa kostnad kommer utvärderas översiktligt där en ekonomiskt fördelaktig bro betygssätts högre än andra.

5.1.5 Inspektion

För att se till att bron håller över tid och därmed uppnår maximal livslängd är det av största vikt att bron underhålls på rätt sätt. För att möjliggöra eventuellt underhåll är det därför viktigt att bron kan inspekteras, så att brons utsatta punkter kan identifieras och analyseras. Brotyper med stora möjligheter till inspektion av utsatta punkter och därmed förenklat underhåll kommer därför att betygssättas högre än andra.

5.1.6 Underhåll

Olika brotyper kräver olika mängd underhåll på grund av dess uppbyggnad och utseende. Underhåll av broarna är väsentligt för att de ska uppfylla de krav som ställs och för att de ska hålla hela sin förväntade livslängd. Korrekt underhåll kan vara både svårt och kostsamt, vilket gör att en bro som kräver mindre underhåll än en annan kommer att erhålla ett högre betyg.

5.1.7 Anpassningsbarhet

En viss brotyp kommer alltid ha samma sorts primärbärverk. Däremot kan en viss brotyp påverkas designmässigt och därmed få olika utseenden. För att underlätta urvalsprocessen med att identifiera den mest fördelaktiga brotypen eftersöks en brotyp med hög designmässig anpassningsbarhet, utan att påverka primärbärverket. En sådan bro kommer därför att ges högre betyg än övriga.

5.2 Viktning av urvalskriterier

Urvalskriterierna har i sin tur viktats emot varandra utifrån hur viktigt de olika specialistgrupperna anser att respektive kriterium är för det slutliga brokonceptet. För viktningen tas en viktningstabell fram där urvalskriterierna jämförs med varandra, se tabell 3. Varje urvalskriterium erhåller slutligen en total poäng som sedan divideras med tabellens totalpoäng för att erhålla ett procentuellt viktningvärde.

Tabell 3:

Viktning av urvalskriterier

Urvalskriterier	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Total	Viktning
1. Estetik	0	3	3	3	3	3	2	17	20%
2. Produktion	1	0	1	3	1	1	1	8	10%
3. Miljöpåverkan	1	3	0	3	3	3	1	14	17%
4. Ekonomi	1	1	1	0	1	1	1	6	7%
5. Inspektion	1	3	1	3	0	2	1	11	13%
6. Underhåll	1	3	1	3	2	0	1	11	13%
7. Anpassningsbarhet	2	3	3	3	3	3	0	17	20%
								84	100%

Kommentar. Siffran 0 viktas mot sig själv och ska inte påverka det slutliga resultatet.

Siffran 1 innebär att radens urvalskriterium värderas lägre än kolonnens urvalskriterium.

Siffran 2 innebär att radens urvalskriterium värderas lika med kolonnens urvalskriterium.

Siffran 3 innebär att radens urvalskriterium värderas högre än kolonnens urvalskriterium.

Tabellen visar att anpassningsbarhet och estetik vägs högt då det är av Deromes önskemål att bron ska andas trä och ge ett tilltalande uttryck. Då klimatförändringarna är förödande idag och för framtiden så har miljöaspekterna en viktig roll och det är av alla aktörers intresse och ansvar att bron orsakar så lite negativ inverkan på miljön som möjligt. Ekonomi är en viktig aspekt i alla projekt men viktas inte högst i detta projekt med anledning av att det inte finns någon fastställd budget eller kravställning hos Derome. Förvaltningsaspekten har delats upp till kriterierna inspektion och underhåll eftersom de motsätter sig på flera punkter. Den höga viktning som bärs under förvaltningsaspekten är rimlig för att uppfylla de ställda hållbarhetsmålen. Produktion får därmed en rimlig viktning i förhållande till förvaltningsaspekten i enlighet med målbilden av projektet.

5.3 Betygsättning och val av slutligt brokoncept

För att kunna göra val av slutligt brokoncept betygsattes broarna. Varje bro erhöll en poäng från ett till fem för respektive bedömningskriterium där 1 är "oacceptabelt" och 5 är "mycket bra". Genom multiplikation med viktningsfaktorn kunde ett viktat betyg erhållas. Det slutgiltigt valda brokonceptet blir den bro med högst poäng efter summeringen av de viktade betygen, se tabell 4.

Tabell 4:

Brokonceptens poängsättning och viktat slutbetyg

Urvalskriterier/Brokoncept	Viktfaktor	Bro 1	Poäng	Bro 2	Poäng	Bro 3	Poäng	Bro 4	Poäng	Bro 5	Poäng
1. Estetik	0,2	1	0,2	4	0,8	5	1	3	0,6	4	0,8
2. Produktion	0,1	5	0,5	3	0,3	2	0,2	4	0,4	4	0,4
3. Miljöpåverkan	0,17	2	0,34	3	0,51	3	0,51	4	0,68	3	0,51
4. Ekonomi	0,07	5	0,35	2	0,14	2	0,14	3	0,21	3	0,21
5. Inspektion	0,13	2	0,26	3	0,39	3	0,39	5	0,65	5	0,65
6. Underhåll	0,13	5	0,65	3	0,39	3	0,39	2	0,26	2	0,26
7. Anpassningsbarhet	0,2	5	1	3	0,6	3	0,6	1	0,2	1	0,2
			3,3		3,13		3,23		3		3,03

Betygsättningen resulterar i att det slutgiltiga brokonceptet blir *Brokoncept 1 - Tvärspänd plattbro*. Detta brokoncept erhöll den högsta poängen i poängsättningen samtidigt som den fick lägst poäng i riskanalysen och därav är den det mest lämpliga brokonceptet för platsen.

6 Slutgiltigt brokoncept

I föregående kapitel redovisades att *Brokoncept 1 - Tvärspänd plattbro* valdes att arbeta vidare med. Det sista momentet i arbetets första del är att beskriva detta koncept detaljerat, vilket redovisas i kapitlet nedan. Kapitlet innehåller en beskrivning av konstruktionen, grundläggning och landfästen, en produktionsplan samt en underhållsplan. Se bild på det slutgiltiga brokonceptet i figur 9. För fler bilder av modellen se bilaga 7.

Figur 9:

Modell av slutgiltigt brokoncept



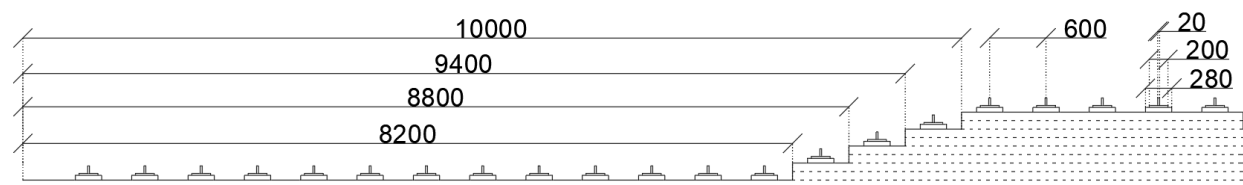
Kommentar. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

6.1 Beskrivning av konstruktion: bärverk, täckande skikt och räcke

Den tvärspända plattan består av limträbalkar av klass GL32k med den individuella bredden 90 mm. 28 stycken av dessa balkar kommer att spännas samman med stålstag. Detta ger en brobanebredd på 2,52 meter. En gradvis breddning påbörjas 8,2 meter från upplagen på brobanan, se figur 10. Breddningens gradvisa ökning består av att två balkar, med en gemensam bredd på 180 mm, adderas på varje sida av det ursprungliga bärverket. Utbreddningen sker i fyra steg om 600 mm från 8,2 meter till 10 meter. Detta eftersom spännstagen är placerade med ett centrummått om 600 mm. För att uppnå önskad bågform på brobanan tillverkas balkarna med en krökning. Höjdskillnaden mellan underkant brobana vid stöd och mittpunkt är 700 mm, se figur 4. För att hålla samman balkarna finns en spännanordning bestående av stålstag, mellanläggsplattor samt ankarplattor, se figur 38 i bilaga 7. Stålstagen består av höghållfast stål med brotthållfastheten 1100 MPa. Stagen är av modellen Dywidag stång med en diameter om 20 mm. De placeras med ett centrummått på 600 mm i tre lager ovan varandra. Mellanläggsplattorna består av lövträd med hög hållfasthet. Dimensionerna på plattan är 250x280x50 mm. Utanpå mellanläggsplattorna finns en cirkulär ankarplatta med diametern 200 mm som hålls på plats med hjälp av en mutter som ansluts till stålstaget. För att tillåta efterspanning av stagen sticker de ut 80 mm på var sida om brobanan.

Figur 10:

Skiss över utbreddning



Kommentar. Mått i mm. Författarnas egen bild.

För att skydda bärverket mot yttre påverkan täcks bärverket in med en panel på sidan. Panelen placeras med ett avstånd på 280 mm ut ifrån bärverket för att lämna utrymme till stagens spännanordning samt räcket stolpar. För att skydda bärverket ovanifrån används fyra olika lager (Martinssons, 2015), se figur 11. Närmast bärverket placeras en 1,5 mm tunn gummiduk för att skapa ett vattenavvisande skikt. Ovan gummiduken placeras en 4,8 mm tjock board för att förhindra att gummiduken nöts ned. Ovan boarden beläggs bron med två gruslager: i botten ett bärlager med grus av grov fraktion och högst upp ett gruslager med finare fraktion, förslagsvis samma fraktion som används på de angränsande vägarna. Gruslagrets totala tjocklek uppgår till 100 mm. Eftersom bron har en lutning i längsled kommer vattenavrinning primärt ske i denna riktning. För att förhindra avrinning utmed brons kanter placeras en vinkelplåt under gummiduken som går upp över grusskiktet. Mellan bärverkets ovankant och panelen läggs en täckande plåt för att förhindra regn ovanifrån hamnar mellan bärverket och panelen, se figur 12.

Figur 11:

Modell av tätsikt.



Kommentar. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

Figur 12:

Modell av plåt.

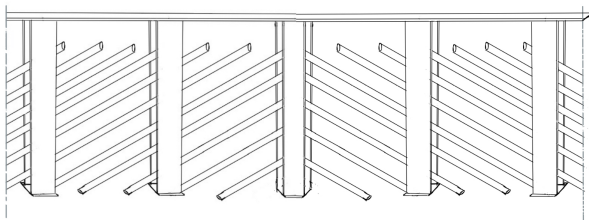


Kommentar. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

Räcket utformas i gärdesgårdsstil enligt figur 13-14. Stolpar placeras längs med bron med ett centrumavstånd på 1,4 meter. Mellan stolparna ligger diagonala ”gärdesgårdspinnar” med en diameter om 70 mm samt ett maximalt centrumavstånd på 100 mm (SIS, 2017). En överliggare sitter på stolparnas överkant. Räcket byggs i tryckimpregnerat trä och övergår i ett anslutningsräcke som fortsätter två meter utanför brobanan. För att ytterligare utöka brons estetiska uttryck byggs bågar över brons mittsektion. Dessa bågar förses med belysning.

Figur 13:

Konceptskiss över räcke.



Kommentar. Författarnas egen bild.

Figur 14:

Modell av räcke.



Kommentar. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

6.2 Grundläggning och landfästen

Utifrån de begränsade geotekniska förutsättningarna som beskrevs i avsnitt 2.1 kan endast ett enklare förslag på grundläggning beskrivas. På grund av de dåliga förhållandena så kommer högst troligen pålning krävas för att grundlägga bron. Då djupet endast är mellan 5-20 meter så är det osäkert om betongpålar fungerar och eventuellt behövs det pålar av annat material³. Ytterligare undersökningar kommer krävas för att ta reda på hur den slutgiltiga grundläggningen ska utföras.

Landfästena kommer utformas som betongstöd enligt skiss i bilaga 8. Dessa behöver dimensioneras för brons reaktionskrafter och eventuellt jordtryck som verkar på stöden. Landfästena har inte preliminärdimensionerats och därför finns det inga mått på dessa. Anslutningen mellan bron och landfästena kommer bestå av ett kontinuerligt gummilager samt konstruktioner för att fixera bron som inte har undersökts närmare.

6.3 Preliminär produktionsplan

För att på ett smidigt sätt bygga bron krävs en produktionsplan. Det första som händer i projektet är att tillfälliga vägar anläggs, ytor för arbetsfordon, kranar och lastbilar förbereds. De tillfälliga vägarna kopplas på den tänkta infrastrukturen i det nya området i norr. Nästa steg är att påbörja grundläggningen genom att utföra pålning på båda sidor om ån. Därefter gjuts en bottenplatta och landfästena till bron. Parallellt med att grundläggningen slutförs på byggarbetsplatsen tillverkas bron i fabrik. Träbalkarna spänns samman till en platta med hjälp av stålstag, tätskikt appliceras ovan plattan och sedan monteras räcke och täckande ytterpanel. Vid detta laget är bron redo för transport från fabriken till byggplatsen. Transporten kräver en dispens eftersom bron är 4 meter bred vilket överskrider gränsen på 3 meter. När bron väl kommer fram till byggplatsen står en kran redo för att lyfta den på plats. Därefter transporteras grusbeläggningen på en annan lastbil till platsen och denna läggs på plats. Slutligen monteras bågarna över mittsektionen. Det som återstår efter detta är att ta bort tillfälliga vägar och ytor som använts av arbetsfordon, kranar och lastbilar. I samband med detta kopplas bron ihop med befintlig gångbana och på så sätt är allt sammankopplat och fullt fungerande.

6.4 Preliminär underhållsplan

Huvudbärverket är skyddat av ovanliggande konstruktionsdelar och kommer därför ha en teknisk livslängd på 80 år. En träbro med en teknisk livslängd på 80 år kräver en underhållsplan (Trafikverket, 2019a). Planen ska minst omfatta underhåll- och inspektionsanvisningar om spännanordning, förband, träskydd och ytbehandling samt tillåtna fuktkvoter i konstruktionen.

Vid brons färdigställande utförs en utförlig inspektion av träskyddet, spännanordningen och konstruktionens ändträ. Inspektionen ska kontrollera att träskyddet täcker eventuella kritiska punkter vilket för den tvärsända plattbron kan utgöras av ändträ vid upplag, förband i räcket och övriga konstruktionsdelar som utsatt för väta. Spännanordningen inspekteras efter rostangrepp samt att önskad spännkraft kvarstår. Varje år genomförs en inspektion att underhållet uppnår de ställda kraven. Var tredje år genomförs en grundligare inspektion samt var sjätte år en huvudinspektion (Trafikverket, 2019a). Vid jämna mellanrum ska även fuktkvoten mätas i konstruktionen vilket inte ska överstiga 20 procent för att undvika röta. Ytterligare information om olika typer av inspektioner återfinns i bilaga 5 avsnitt *Förvaltnings- och underhållsaspekter*.

Det kontinuerliga underhållet omfattar främst rengöring, målning och reparation av olika konstruktionsdelar. Spännanordningen tvättas och efterspänns vid behov. Träskyddet och förbanden ersätts om inspektionen antyder så. Mer omfattande reparationer kommer att behöva göras på konstruktionsdelar med kortare teknisk livslängd än 80 år. Dessa utgörs för den tvärsända plattbron av räcket, förband och träskyddet vilka kommer att behöva ersättas under brons livslängd.

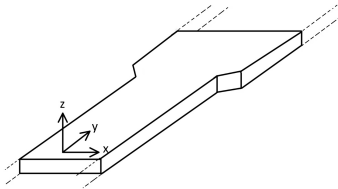
³Kommunikation med gruppchef S.Lindén, Cowi, 4 maj 2021

7 Preliminär dimensionering

I föregående kapitel beskrevs det valda brokonceptet i detalj och i nedanstående kapitel genomförs den preliminära dimensioneringen. Dimensioneringsprocessen inleds med att definiera ett koordinatsystem enligt figur 15 och sedan de laster som verkar på bron. Därefter tas lastkombinationer i bruks- och brottgränstillstånd fram samt lasteffekter i brottgränstillstånd. Slutligen kontrolleras lasteffekterna med ett antal kapacitetsberäkningar. Beräkningarna utförs i MATLAB och bygger på den slutgiltiga balkhöjden, h , som är en fri variabel. Den dimensionerande balkhöjden presenteras i avsnitt 7.5.

Figur 15:

Koordinatsystem för dimensioneringsprocessen



Kommentar. Författarnas egen bild.

7.1 Systemmodell och laster

För att kunna dimensionera bron har tre stycken systemmodeller tagits fram. Den mest betydelsefulla och dimensionerande systemmodellen är för yz -planet där de största lasterna verkar och presenteras i figur 16. Två andra systemmodeller har också tagits fram, en för yx -planet och en för xz -planet. Dessa utgör en mindre del av dimensioneringen och presenteras i bilaga 9.

En förenkling som har gjorts eftersom längden är stor i förhållande till bredden är att bron modelleras som en balk⁴. För en balk fördelas lasten främst i längsled och inte i tvärlid. Ytterligare en förenkling är att bronns utbreddning har gjorts om till utbredda laster. För att vara på säkra sidan har det antagits att utbreddningen har full bredd direkt där utbreddningen startar och inte ökar stegvis.

De laster som verkar på bron i vertikalled i z -riktningen är permanenta och variabla laster. I de permanenta lasterna ingår enbart egentytngden G_l och för de variabla lasterna ingår en jämnt utbredd last q_{fk} , en koncentrerad last Q_{fwk} samt en last för servicefordon Q_{serv} (SIS, 2003). Då bron dimensioneras för ett servicefordon, Q_{serv} , behöver däremot inte den koncentrerade lasten Q_{fwk} beaktas. Konstruktionen belastas även av en vindlast, $F_{w,z}$ i denna riktningen.

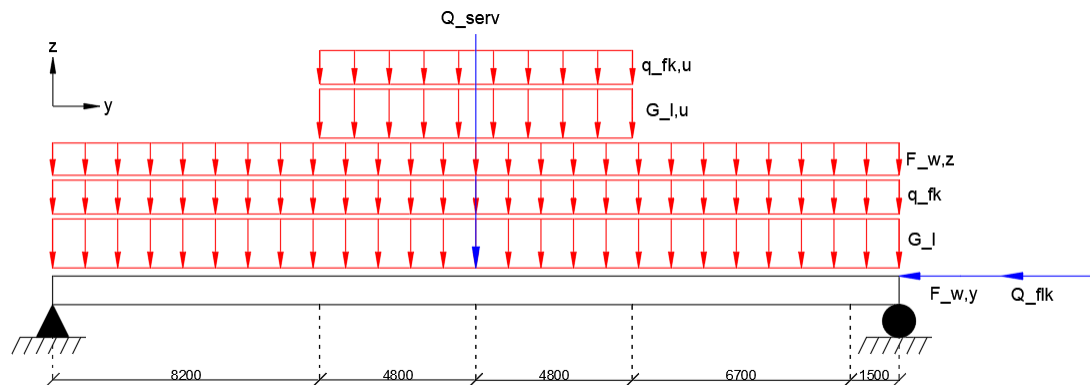
I horisontalled belastas konstruktionen enbart av variabla laster vilket är två horisontella krafter Q_{flk} i y -riktning och Q_{trk} i x -riktning (SIS, 2003). Dessutom verkar vindlasten $F_{w,x}$ och $F_{w,y}$ i x - och y -riktningen.

Konstruktionen utsätts även av temperatur- och snölast. Enligt SIS (2002) behöver inte temperatur- och vindlast beaktas samtidigt. Konstruktionens upplag medför att utvidgningen är fri vilket medför att vindlasten enbart kommer att beaktas. Snölasten skall inte kombineras med de övriga variabla lasterna. Därav utesluts snölasten i beräkningarna. Sammanfattningsvis är lasterna som bron dimensioneras för illustrerade i bilaga 9.

⁴Kommunikation med brokonstruktör J.Andersson, Cowi, 20 april 2021

Figur 16:

Systemmodell i yz-planet med laster i z- och y-riktning



Kommentar. Författarnas egen bild. Lasterna är ej skalenliga.

7.1.1 Egentyngd

I z-riktningen verkar egentyngden som har beräknats i bilaga 13. De egentyngder som räknas in är tyngden av limträbalkarna, grusbeläggningen, räcken samt spännanordningen. Övriga detaljer som skyddspanel anses vara försumbara. Egentyngden beräknas i två sektioner, G_l för ursprungsbredden samt $G_{l,u}$ för utbreddningen.

7.1.2 Utbredd last

Den utbredda lasten är en last i z-riktningen som verkar på hela brobanans yta. Lasten ska representera en folksamling och anges i standarden till 5 kN/m^2 (SIS, 2003). För att lasten ska följa konventionen i systemmodellen, figur 16, multipliceras lasten med brobanans bredd. Då brobanan har en utbreddning på mitten varierar lasten vilket medför att två laster definieras, q_{fk} för ursprungsbredden och $q_{fk,u}$ för utbreddningen. Lasternas värden redovisas i tabell 5 och beräkningen i bilaga 15.

7.1.3 Servicefordonslast

Servicefordonet är en punktlast i z-riktningen som verkar i två punkter (SIS, 2003). Avståndet mellan punkterna ska representera servicefordonets två hjulaxlar men kan förenklas till en verkningspunkt. Punktlasten, Q_{serv} verkar då istället i servicefordonets tyngdpunkt och blir sammanlagt 120 kN vilket redovisas i tabell 5.

7.1.4 Horisontell last

Den horisontella lasten är en punktlast som representerar en broms- eller accelerationskraft. Därför kombineras lasten samtidigt som *servicefordonslasten*. Lasten verkar i två riktningar, x- och y-riktning. Lasten verkandes i y-riktning, Q_{flk} , bestäms beroende på förhållandet mellan den jämnt utbredda lasten och servicefordonslasten. Beräkningen redovisas i bilaga 15 och resultatet i tabell 5. Lasten verkandes i x-riktning, Q_{trk} , beräknas som 25 procent av lasten i y-riktningen. Även denna redovisas i tabell 5 med tillhörande beräkning i bilaga 15.

7.1.5 Vindlast

Vindlast ger upphov till krafter i tre riktningar: x, y och z. Brokonceptet har en vanlig överbyggnad och ett spann på mindre än 40 meter och det föreligger inget behov av beräkning för den dynamiska responsen på grund av vindlaster. Beräkning av krafter i x- och z-riktningen kan göras med en förenklad metod (SIS, 2005). Beräkningarna beror på bronns geometri, lokalisering och även vilken typ av terräng bron ska byggas på. Vindlast i y-led är 25 procent av lasten i x-led. För fullständiga beräkningar se bilaga 14.

Tabell 5:

Sammanställning av laster som verkar på bron

Lasttyp	Beteckning	Storlek	Enhet	Kapitel
Egentyngd	G_1	15,6	[kN/m]	7.1.1
Egentyngd utbreddning	$G_{1,u}$	8,9	[kN/m]	7.1.1
Jämnt utbredd last	$q_{fk,l}$	12,6	[kN/m]	7.1.2
Jämnt utbredd last utbreddning	$q_{fk,l,u}$	7,2	[kN/m]	7.1.2
Servicefordon	Q_{serv}	120,0	[kN]	7.1.3
Horisontell last y-led	Q_{fk}	72,0	[kN]	7.1.4
Horisontell last x-led	Q_{trk}	18,0	[kN]	7.1.4
Vindlast x-led	$F_{w,x}$	35,5	[kN]	7.1.5
Vindlast y-led	$F_{w,y}$	8,9	[kN]	7.1.5
Vindlast z-led	$F_{w,z}$	1,8	[kN/m]	7.1.5

7.2 Lastkombinationer

I föregående avsnitt presenterades de laster som verkar på bron, vidare beskrivs lastkombinationerna i brott- och bruksgränstillstånd. För att kombinera de olika lasterna efterföljs särskilda kombinationsregler enligt standarder för brodimensionering. Lasterna fördelas i variabel och permanenta laster samt vilken som är huvudlast (SIS, 2002). Korrektion för huvudlast tas i beaktning i lastreduktionsfaktorerna, ψ och ξ . Lasterna kan även vara gynnsamma eller ogynnsamma vilket faktorn, γ , värderar. De variabla lasterna *utbredd last* och *servicefordonslast* fördelas i varsin lastgrupp och verkar därmed inte samtidigt (SIS, 2003). Förspänningskraften, P , bortses ifrån då en sådan kraft inte existerar för en tvärspäänd platta. Alla värden på korrektionsfaktorer redovisas i bilaga 10.

7.2.1 Lastkombinationer i brottgränstillstånd

Brottgränstillstånd motsvarar den maximala bärförmågan fram till brott. För lastkombinering i brottsgränstillstånd används det minst gynnsamma av uttrycken enligt ekvation 6.10a och 6.10b (SIS, 2002). Uttrycket beskriver vilka laster som kan kombineras, inte direkt adderas, därav citationstecken runt additionstecknet. Ekvation 6.10a har den permanenta lasten som huvudlast och reducerar övriga laster med lastreduktionsfaktorn, ψ . Ekvation 6.10b har de variabla lasterna som huvudlast och reducerar övriga laster med, ψ , samt reduktionsfaktorn, ξ .

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

Utgående från kombinationsreglerna har tabell 16 i bilaga 10 tagits fram. Tabellen innehåller varje variabel i ekvation 6.10a och 6.10b. Denna tabell har använts för att bestämma vilka kombinationer som är mest kritiska och behöver utvärderas vidare.

De kritiska kombinationerna i yz-planet redovisas i tabell 6 och utgörs av tre olika kombinationer. Kombinationerna är då egentyngd, utbredd last eller servicefordonet är huvudlast. Övriga laster är samtidigt ogynnsamma för att ge största möjliga inverkan. Vindlasten verkar däremot uppåt, i positiv z-riktning, och

är därför ansatt att vara gynnsam. De kritiska kombinationerna i yx-planet redovisas i tabell 7 och utgörs av två olika kombinationer. Kombinationerna är då vindlast eller horisontell last är huvudlast.

Tabell 6:

Lastkombinationer för brottgränstillstånd i z- och y-riktning

Kombinationer	Huvudlast	Övrig last		
		Kombo 1 6.10 a	Ogynnsam egentyngd	Ogynnsam jämnt utbredd last
Kombo 2 6.10 b	Jämnt utbredd last	Ogynnsam egentyngd	Ogynnsam vindlast y-led	Gynnsam vindlast z-led
Kombo 3 6.10 b	Servicefordon & horisontell last y-led	Ogynnsam egentyngd	Ogynnsam vindlast y-led	Gynnsam vindlast z-led

Tabell 7:

Lastkombinationer för brottgränstillstånd med laster i x-riktning

Kombinationer	Huvudlast	Övrig last
Kombo 1 6.10 b	Horisontell last x-led	Ogynnsam vindlast x-led
Kombo 2 6.10 b	Vindlast x-led	-

7.2.2 Lastkombinationer i bruksgränstillstånd

Bruksgränstillstånd motsvarar det tillstånd då konstruktionen bibehåller sin funktion utan att inverka på människors upplevelse eller konstruktionens utseende. För lastkombinering i bruksgränstillstånd används det minst gynnsamma av uttrycken enligt ekvation 6.15a och 6.16b (SIS, 2002). Uttrycket beskriver vilka laster som kan kombineras, inte direkt adderas, därav citationstecken runt additionstecknet.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

De lastreduktionstal som gäller för en gång och cykelbro presenteras i tabell 8.

Tabell 8:

Lastreduktionstal för bruksgränstillstånd

Lastreduktionstal	Ψ_1	Ψ_2
Jämnt utbredd last	0,4	0,0
Servicefordon	0	0,0
Vindlast	0,2	0,0

Genom att studera lastreduktionstalen inser man att det minst gynnsamma uttrycket är ekvation 6.15b på grund av att ekvation 6.16b endast består av egentygngen då, ψ_2 , är noll för alla laster.

De kombinationer som utvärderas vidare i MATLAB är två fall. Det ena fallet är egentygngd och jämnt utbredd last och det andra är egentygngd och vindlast.

7.3 Lasteffekter i brottgränstillstånd

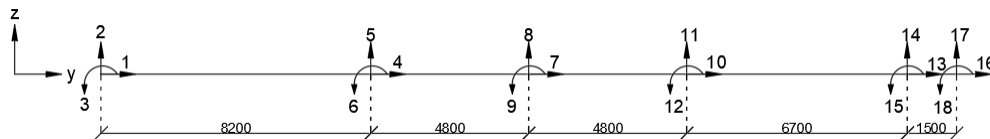
I tidigare avsnitt har olika lastkombinationer tagits fram för att kunna dimensionera bron och i detta avsnitt ska lasteffekterna för bron beräknas. Lasteffekterna tas fram med hjälp av beräkningsprogrammet MATLAB och ett tillägsprogram CALFEM. Den funktion som används är CALFEMs tvådimensionella beräkningsmodell för balkar. För mer information om vad CALFEM är och hur det fungerar, se bilaga 11. De tvärspända balkarna i bron ses i denna modell som en enda homogen balk som delas upp i ett antal noder med tillhörande element mellan sig. Antalet noder varierar beroende på krafterna som balken utsätts för. De lasteffekter som tas fram i detta avsnitt är reaktionskrafter, normalkrafter, tvärkrafter, moment samt tvärkraft för spännanordning i yz-planet medan i yx-planet tas reaktionskrafter, tvärkrafter och moment fram.

7.3.1 Lasteffekter i brottgränstillstånd i yz-planet med laster i z- och y-riktning

De kombinationer som presenteras i tabell 6 utgör grunden för de olika lastfallen som undersöks för att ta fram de dimensionerande krafterna. Lastfallen som har undersökts presenteras i bilaga 16, figur 44-47. För att kunna beräkna de dimensionerande krafterna krävs en beräkningsmodell som presenteras i figur 17 där lastfallen infogas.

Figur 17:

Beräkningsmodell för beräkningar av dimensionerande krafter i yz-planet

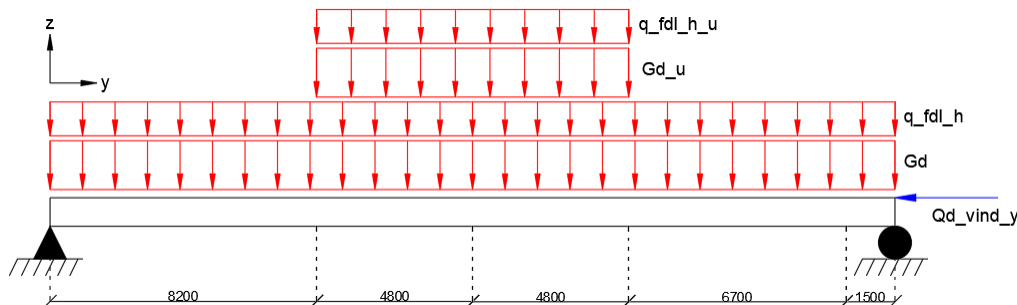


Kommentar. Författarnas egen bild.

Krafterna för de olika lastfallen beräknas enligt MATLAB kod i bilaga 16 och det dimensionerande lastfallet kan avläsas. Det dimensionerande lastfallet för tvärkraft och moment är lastfall 2 som presenteras i figur 18.

Figur 18:

Dimensionerande lastfall för reaktionskrafter, tvärkrafter och moment i yz-planet

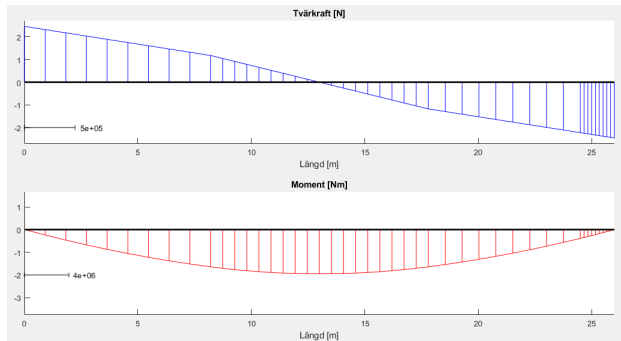


Kommentar. Författarnas egen bild.

De dimensionerande reaktionskrafterna är 549,8 kN för stöd 1 (vänstra stödet) och 549,7 kN för stöd 2 (högra stödet). Den maximala tvärkraften är 549,8 kN och det maximala momentet är 3967,4 kNm. Ett diagram över tvärkraften och momentet kan ses i figur 19.

Figur 19:

Plot över dimensionerande tvärkraft och moment i yz-planet

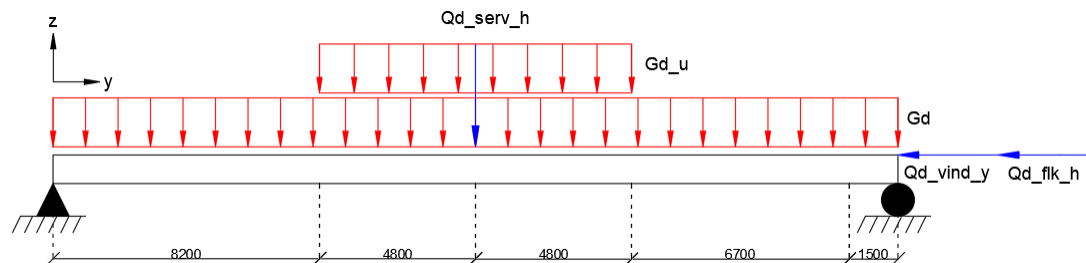


Kommentar. Författarnas egen bild.

Det dimensionerande lastfallet för dimensionerande normalkraft och tvärkraft för spännanordningen är lastfall 3 som presenteras i figur 20.

Figur 20:

Dimensionerande lastfall för normalkraft och tvärkraft till spännanordning i yz-planet

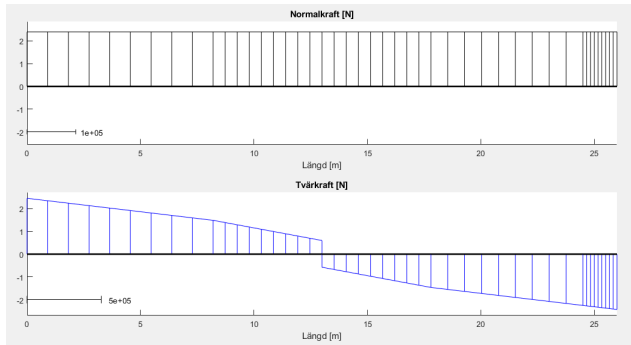


Kommentar. Författarnas egen bild.

Den dimensionerande normalkraften är 112,0 kN och 91,9 kN för tvärkraften till spännanordningen. Ett diagram för normalkraften och tvärkraften kan ses i figur 21.

Figur 21:

Plot över dimensionerande normalkraft och tvärkraft för spännanordning i yz-planet



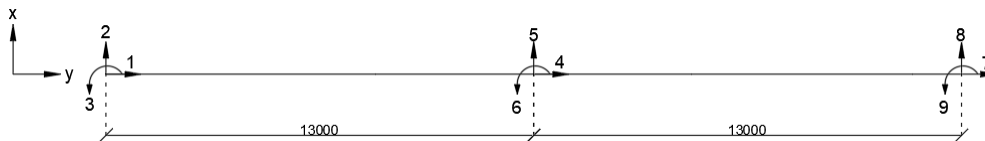
Kommentar. Författarnas egen bild. Dimensionerande tvärkraften för spännanordning är vid $L/2$.

7.3.2 Lasteffekter i brottgränstillstånd i yx-planet med laster längs x-axeln

De kombinationer som tagits fram i tabell 7 utgör grunden för att ta fram de dimensionerande krafterna. Lastfallen som har undersökts presenteras i bilaga 17, figur 49-51. För att kunna beräkna de dimensionerande krafterna krävs en beräkningsmodell som presenteras i figur 22 där lastfallen infogas.

Figur 22:

Beräkningsmodell för beräkningar av dimensionerande krafter i yx-planet



Kommentar. Författarnas egen bild.

Krafterna för de olika lastfallen beräknas enligt MATLAB kod i bilaga 17 och det dimensionerande lastfallet kan avläsas. Det dimensionerande lastfallet för reaktionskrafter är lastfall 3, lastfall 1 för tvärkraft samt lastfall 2 för moment. De dimensionerande värdena för reaktionskrafterna är 35,0 kN för stöd 1 och 8,0 kN för stöd 2. Det dimensionerande värdet för tvärkraften är 26,6 kN och 227,4 kNm för momentet.

7.4 Kontroller av brons slutgiltiga dimensioner

Utifrån de framräknade lasteffekterna kontrolleras att brons kapacitet är tillräcklig. Kontrollerna leder till att brons tvärsnittshöjd successivt itereras till en lägre höjd tills någon av kontrollerna inte längre uppfylls.

7.4.1 Kontroll av momentkapacitet

Lasteffekten i och på konstruktionen orsakar böjspänningar. För att kapaciteten ska säkerställas som tillräcklig måste dessa spänningar vara mindre än böjhållfastheten hos materialet, enligt den europeiska normen (Al-Emrani m. fl., 2011a). Den dimensionerande böjhållfastheten skall appliceras och tar hänsyn till klimatklass, lastvaraktighet och en särskild partialkoefficient som etablerar huruvida en träkonstruktion är tillverkningskontrollerad. Den slutliga dimensionen av tvärsnittet genererade att momentkapacitetens nyttjandegrad blev 75,9 procent. För fullständiga beräkningar se bilaga 25.

7.4.2 Kontroll av tvärkraftskapacitet

Skjuvspänningen orsakad av lasten konstruktionen bär, får inte överstiga materialets dimensionerande skjuv-hållfasthet (Al-Emrani m. fl., 2011a). För att säkerställa att ett skjuvbrott inte uppstår kontrolleras kapaciteten där tvärkraften är som störst. I detta fall med en fritt upplagd balk så startar skjuvsprickan i kanten och sprider sig sedan längs med balken. För balkar har man lagt till ett ytterligare krav enligt europeiska normen. För att ta hänsyn till att virket kan vara något sprucket, detta appliceras på bredden av balken. Den slutliga dimensionen av tvärsnittet genererade att tvärkraftkapacitetens nyttjandegrad blev 29,8 procent. För fullständiga beräkningar se bilaga 25.

7.4.3 Kontroll av böjning med inverkan av axiell kraft

Spänningarna orsakade av lasteffekten sker i två riktningar av moment, som skapar en skev böjning, samt en medverkande normalkraft. Därmed måste dessa spänningarna och dess respektive dimensionerande hållfasthet kontrolleras i samverkan med varandra för en balk och beräknas enligt Eurokod 5 (Al-Emrani m. fl., 2011b). Nyttjandegraden för de tre bidragen får tillsammans inte överstiga ett. På grund av en ökad kapacitet med avseende på plasticering av materialet och det biaxiella spänningstillståndet, behöver två kontroller göras, där en säkerhetsfaktor appliceras på var och en av de böjande bidragen. Den slutliga dimensionen av tvärsnittet genererade att kapaciteten för skev böjning tillsammans med både axiell drag- och tryckkraft var godkänd. För fullständiga beräkningar se bilaga 25.

7.4.4 Kontroll av spännanordning

För att genomföra en kontroll på spännanordningen ska den maximala dimensionerande tvärkraften beaktas. Det minsta värdet på kvarstående tryckspänning från förspänningen är 0,35 MPa (SIS, 2004b). Denna tryckspänning tillsammans med ett dimensioneringsvärde på friktionskoefficienten μ_d , som sätts till 0,4, multipliceras med balkhöjden för att få den minsta tryckkraften som uppstår mellan balkarna. Denna kraft måste vara större än den dimensionerande tvärkraften för att spänsystemet ska få balkarna att verka som en platta (SIS, 2004b).

När tvärkraftskontrollen är gjord ska spänningarna i ståltagen bestämmas och kontrolleras mot kapaciteten för stålet. Beräkningen börjar med ett antagande av stagens centrummått och därefter räknas kraften per stålstag ut enligt ekvation 9-17 i *Timber Bridges* (Ritter, 1990). Kraften divideras sedan med stålstagens tvärsnittsarea för att beräkna spänningen i staget. Enligt Ritter ska spänningen i stagen inte överskrida 70 procent av stålets brotthållfasthet (Ritter, 1990).

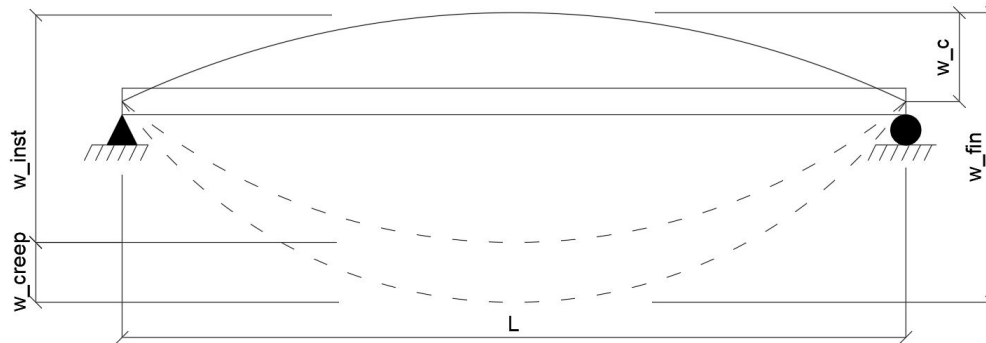
Kontrollen av mellanläggsplattan går ut på att de yttre limträbalkarna i plattan inte ska krossas av upplagstrycket som bildas på kontaktytan mellan mellanläggsplattan och limträbalken. Tryckspänningen i limträbalken ska vara lägre än kapaciteten för att undvika krossning (SIS, 2004a). Resultatet av kontrollerna var att spännstagens centrummått, antal rader, stålspänning samt kapacitet mot krossning är okej. För fullständiga beräkningar, se bilaga 24.

7.4.5 Kontroll av nedböjning

Vid dimensionering av en gång- och cykelbro ska kravet på deformation, w , uppfyllas (SIS, 2004b). Kravet är, $L/400$, där, L , är bronns spännvidd. Nedböjningen beräknas enligt följande modell i figur 23.

Figur 23:

Modell för nedböjning



Kommentar. Författarnas egen bild.

Modellen tar hänsyn till momentan nedböjning, w_{inst} , tidsberoende nedböjning, w_{creep} , total nedböjning, w_{fin} samt brons överhöjning, w_c . Vid dimensionering av bron sätts överhöjningen, w_c , till den tänkta bågformen adderat med nedböjningen på grund av egentyngden. Detta för att bron ska hålla formen under hela dess livslängd. Nedböjningen på grund av övriga laster är därmed det dimensionerande värdet som ska understiga kravet på deformation.

Beräkningen av nedböjningen utgår ifrån de kombinationer som tagits fram i avsnitt 7.2.2 och beskrivs i bilaga 19. Det dimensionerande lastfallet var egentyngd i kombination med jämnt utbredd last. Den momentana nedböjningen blir 58,31 mm och den tidsberoende nedböjningen blir 46,65 mm. Nedböjningen på grund av övriga laster blir 18,83 mm vilket understiger kravet, $L/400 = 65$ mm. Den totala nedböjningen är 123,79 mm.

7.4.6 Kontroll av vibrationer

För att säkerställa att inget obehag uppstår när man passerar bron i form av svängningar ska egenfrekvensen för bärverket vara minst 5 Hz i vertikalled, z-riktning, respektive 2,5 Hz i horisontalled, y-riktning (SIS, 2002). I de situationer där kravet inte är uppfyllt får ytterligare kontroller utföras för komfortkriterierna. Komfortkriterierna avser den största rekommenderade accelerationen för en godtycklig del av överbyggnaden. Accelerationen avser svängningen orsakad av gångtrafikanter. Vid dessa kontroller tittar man på fyra scenarion; en gående passerar bron, en distinkt grupp fotgängare passerar bron, en kontinuerlig ström av fotgängare passerar bron och en springande person passerar bron.

För en träbro med ett bärverk av en fritt upplagd balk kan en förenklad metod appliceras (SIS, 2004b). I vertikalled blev egenfrekvensen 4,2 Hz och därmed kontrollerades de ytterligare komfortkrav för acceleration och var då med god marginal under kravet $0,7 m/s^2$. Egenfrekvensen i horisontalled på 11,9 Hz uppfyllde kravet med god marginal och inga ytterligare kontroller behövde utföras. För fullständiga beräkningar se bilaga 23.

7.4.7 Kontroll av vippning

För att kontrollera om bron har någon risk för vippning så har en vippningsberäkning utförts i bilaga 22. Det som kontrollerats är ett antal lastfall där ena sidan av brons utbreddning belastas maximalt.

Resultatet av detta visade att vippningsrisken var väldigt låg för alla lastfall då stöden vid motsatt sida belastningen fortfarande belastades med en relativt stor kraft. Detta är en mycket förenklad metod och mer detaljerade beräkningar behöver utföras på detta område.

7.5 Resultat av dimensioneringsprocessen

Det som framkommit efter den iterativa dimensioneringsprocessen i ovanstående avsnitt är att den fria variabeln, h , kan sättas till 0,9 meter. Den dimensionerande kontrollen var vibrationer. En sammanfattning av resultaten visas i tabell 9.

Tabell 9:

Sammanställning av dimensionerande lasteffekter och resultat av kontroller

Lasteffekter	Krav	Resultat	Enhet
yz-planet			
Maximal reaktionskraft stöd 1	-	549,8	kN
Maximal reaktionskraft stöd 2	-	549,7	kN
Maximal normalkraft	-	112,0	kN
Maximal tvärkraft	-	549,8	kN
Maximal tvärkraft stagsystem	-	91,9	kN
Maximalt moment	-	3967,4	kNm
yx-planet			
Maximal reaktionskraft stöd 1	-	35,0	kN
Maximal reaktionskraft stöd 2	-	8,0	kN
Maximal tvärkraft	-	26,6	kN
Maximalt moment	-	227,4	kNm
Kontroller			
Momentkapacitet	< 100	75,9	%
Tvärkraftskapacitet	< 100	29,8	%
Böjning med axiell dragning 1	< 1	0,8	-
Böjning med axiell dragning 2	< 1	0,6	-
Böjning med axiell tryck 1	< 1	0,8	-
Böjning med axiell tryck 2	< 1	0,5	-
Nedböjning	< 65	18,83	mm
Egenfrekvens vertikalled	> 5	4,2	Hz
Egenfrekvens horisontalled	> 2,5	11,9	Hz

Kommentar. Enligt tabellen uppfylls inte kravet för egenfrekvens i vertikalled. Ytterligare kontroller genomfördes enligt avsnitt 7.4.6.

8 Diskussion

En tvärspäänd plattbro var det brokoncept som efter vår förstudie kom att lämpa sig bäst för att ta sig över Himleån. Den preliminära dimensioneringen bekräftar att brokonceptet är genomförbart för de antaganden och val som gjorts under arbetets gång. Parallellt med den preliminära dimensioneringen byggdes en modell av konceptet vilket på ett greppbart sätt förtydligat visualiseringen av brokonceptet. I kommande två avsnitt diskuteras de utmaningar som uppstod, de antaganden som gjordes samt våra förslag på vidare dimensionering för projektets båda delar.

8.1 Processen att ta fram ett lämpligt brokoncept

Ett uppstartsmöte med Derome lade en god grund och förståelse för vilka visioner som eftersträvades. Uppstartsmötet innebar ett fältbesök där Derome presenterade de önskemål, begränsningar samt krav som ställs på uppförandet av bron. I samband med detta etablerades en god kontakt med Derome som genererade gott samarbete genom arbetets gång. Fältbesöket tillsammans med en förstudie möjliggjorde framtagandet av fem brokoncept av hög kvalitet. Under arbetet valdes det mest lämpade brokonceptet ut. De övriga fyra koncepten bör tas i åtanke vid utveckling av brokoncept på platser med liknande förutsättningar eftersom även de är bra koncept.

De framtagna kriterierna är dels byggda på visioner och önskemål hos Derome men även på produktions- och förvaltningsaspekter. De kriterier som togs fram lyfter fram de kvalitéer som värdesätts hos bron för att kunna skilja dem åt utifrån dessa punkter. Man bör ha i åtanke att jämförelsen mellan koncepten både har objektiva så väl som subjektiva inslag. Ekonomiska och produktionstekniska kriterier är relativt lätta att göra en objektiv bedömning på, medan estetik är exempel på ett kriterium som är subjektivt i betraktarens ögon. Eftersom det sistnämnda kriteriet värderades högt är det därför möjligt att utslaget från den slutliga betygssättningen kunnat bli annorlunda om studien genomförs av någon annan. Det kan anses diskutabelt att ekonomi vägs in så lite i arbetet. I enlighet med arbetets syfte, avgränsningar och Deromes egna önskemål anses det dock acceptabelt. Vid mer grundlig analys av lämpliga brokoncept hade upprättande av en kostnadskalkyl varit lämpligt för att erhålla ett rimligt bedömningsunderlag vad gäller den ekonomiska aspekten.

De tre specialistgruppernas perspektiv och framtagning av kriterierna var en viktig del för att urskilja det mest lämpade brokonceptet. Gruppen själv hade en tidig vision och önskan om en bågbro, men studien som lade grund för betygssättningen visade sig inte vara försvarbar för de koncepten. Det vinnande konceptet hade inte ett lika spektakulärt primärbärverk enligt oss. Med kreativitet och vidareutformning fick räcke och övriga brodetaljer ta mer plats. Det kunde slutligen bli ett brokoncept av ett högt arkitektoniskt värde som både är iögonfallande och i harmoni med området Göingegården.

Ett avstämningsmöte med Derome var viktigt för att fastställa det slutgiltiga brokonceptet samt detaljutformningen. Valet av en farbana i trä eller av en grusbeläggning och även få åsikter om de räckesutformningsförslagen som tagits fram. Derome hade en intention av ett brokoncept som ger ett blickfångande uttryck. Detta är en blygsam egenskap hos en tvärspäänd plattbro men under mötet växte därigenom idén om de belysta bågarna över mittsektionen fram.

En viktig lärdom i detta broprojekt har varit att tänka problemlösning utifrån flera discipliner och på så sätt få till en bra helhet. Arkitekterna, konstruktörerna, produktionen och förvaltningen har alla sin egen kunskap att bidra med varav egna prioriteringar värdesätts. Det är en balansgång att hitta det koncept som fungerar för alla och en förståelse för den andres disciplin är därmed viktig för att uppnå ett lyckat resultat.

8.2 Processen av preliminärdimensionering och modellbyggnation

Vid dimensionering av bron kan olika teorier och metoder tillämpas. Eftersom bron är lång i förhållande till sin bredd valdes balkteorin. Beräkning med hjälp av balkteori ger i detta fall en god uppskattning av brons bärförmåga och dimensioner vilket genererar en dimensionering på den säkra sidan. Rimlighetsbedömningar har gjorts kontinuerligt längs hela beräkningsprocessen med hjälp av referensobjekt, muntlig kommunikation och föreläsningar presenterade av personer med god erfarenhet inom branschen.

Vår vision om bågform fick ett visst genomslag då plattan valdes att utformas med en krökning. Krökningen är relativt liten och möjliggör att vi kunde utföra beräkningarna som en helt horisontell bro. Krökningen skulle kunna ökas men då bör normalkrafterna som verkar vid ändstöden samt kraven för tillgänglighetsanpassning kontrolleras.

Beräkningarna bygger på en fri variabel för höjden av tvärsnittet för att få ner bygghöjden så mycket som möjligt. Att minska tvärsnittshöjden genererar flera fördelar tack vare en minskad materialåtgång. Den minskade materialåtgången genererar en mindre egenvikt som i sin tur är fördelaktigt för både grundläggning, transport samt lasteffekterna. För ett hållbart byggande bör vi därför alltid jobba för att inte slösa med våra materialtillgångar. En minskad tvärsnittshöjd ger ett estetiskt nättare uttryck vilket passar bättre på den växtberikade platsen. Förslag för att minska tvärsnittshöjden ytterligare skulle vara att installera extra dämpare då det blev vibrationerna från gångtrafikanterna som utgav den dimensionerande tvärsnittsutformningen.

En optimering som skulle kunna utföras är centrummättet i längsled för stagen. Det valda centrummättet uppfyller kraven med viss överkapacitet. Eftersom stålstagen står för en stor del av brons totala miljöpåverkan bör därför denna överkapacitet minskas. Ett alternativ skulle vara att ha ett större centrummått mellan stagen före och efter utbreddningen. Det är dock osäkert hur en ojämn fördelning av stagen påverkar brons totala bärförmåga och kräver därför vidare undersökning.

Ytterligare beräkningar som behöver genomföras är främst inom grundläggning och anslutningar. Det som behöver kontrolleras är vilken typ av pålar som krävs samt storleken på bottenplattan. Landfästena behöver dimensioneras så de klarar krafterna från egentygden samt de variabla lasterna som bron utsätts för. Därmed behöver även anslutningen mellan den tvärspända plattan och landfästet och dess gummilager dimensioneras. Utbreddningen skulle även behöva undersökas noggrannare med hjälp av en analys med finita elementmetoden för att se hur bron påverkas av denna.

Modellbygget av brokonceptet har genererat flera positiva bidrag. Först och främst möjliggör den ett lättare format att ta till sig i jämförelse med textbeskrivning eller 2D-skisser. Modellen ökar förståelsen för var de kritiska produktionstekniska punkterna finns. Det är viktigt att dessa är väl utformade och uppfyller sitt syfte att skydda konstruktionen mot yttre påfrestningar.

9 Slutsats

I enlighet med sitt syfte resulterade rapporten i ett slutgiltigt förslag på en gång- och cykelbro med ett spann på 26 meter som lämpar sig väl för området.

Rapporten resulterade i framtagning och utvärdering av flera olika brokoncept samt ett slutgiltigt förslag på en gång- och cykelbro i trä. Det slutgiltiga brokonceptet uppfyllde alla krav som ställdes på bron utifrån områdets förutsättningar. Det slutgiltiga konceptet är även det koncept som bäst överensstämde med de krav som ställdes på bron utifrån de tre olika perspektiv som broarna har utvärderades ifrån. Efter avstämningen med Derome är det tydligt att de var nöjda och anser att bron är bra ur miljösynpunkt, är gynnsam för trafikanter samt ger ett positivt tillskott till områdets estetiska uttryck.

I rapporten har även en preliminär dimensionering utförts där en beräkningsmodell upprättats, dimensionerande lastfall identifierats, beräkningar och kontroller genomförts. Resultatet av dimensioneringen visar att bronns slutliga tvärsnittsdimensioner är tillräckliga för att klara av att bära de laster som bron kan utsättas för.

Referenser

- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2011a). *Bärande konstruktioner-Del 1*. Chalmers Tekniska Högskola.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2011b). *Bärande konstruktioner-Del 2*. Chalmers Tekniska Högskola.
- Andersson, P. & Johansson, E. (2005). *Beräkningsgång för tvärspända GC-broar i limträ* [Examensarbete, Chalmers tekniska högskola]. Chalmers bibliotek. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/19494.pdf>
- Audrey, M. (2019). *What is Glued Laminated Wood (Glulam)?* arch daily. <https://www.archdaily.com/928387/what-is-glued-laminated-wood-glulam>
- Derome. (2021). *Göingegården*. <https://www.deromebostad.se/lan-kommuner/halland/varberg/goingegarden>
- Martinssons. (2015). *Martinssons småvägsbro, tvärspänd platta Teknisk Specifikation Överbyggnad*. https://www.martinssons.se/wp-content/uploads/2019/02/MSV-TP_Teknisk_specifikation_20150428.pdf
- Nordiska Träskyddsrådet. (2021). *NTR träskyddsklasser*. <https://www.ntr-nwpc.com/index.php/ntr-traskyddsklasser/?lang=sv>
- Pousette, A., Norén, J., Penaloza, D., Wiklund, U. & Pantze, A. (2014). *LCA för vägbro Analys av en byggd betongöverbyggnad och en alternativ träöverbyggnad* [SP Rapport: 2014:73]. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. <https://www.svenskttra.se/siteassets/1-trafakta/4-om-limtra/lca-for-vagbro-analys-av-en-byggd-betongoverbyggnad-och-en-alternativ-traoverbyggnad-slutrapport.pdf>
- Ritter, M. A. (1990). *Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance*. United States Department of Agriculture Forest Service.
- Sétra. (2007). *Timber bridges - How to ensure their durability* [EQ-SETRA-07-ED40-FR+ENG]. <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/technical-guide-timber-bridges-how-ensure-their-durability>
- Svenska institutet för standarder. (2000). *Trävaror – Visuell handelssortering av sågat virke av barrträ – Del 1: Europeisk gran, silvergran, furu och Douglas fir* [SS-EN 1611-1]. <https://www.sis-se.eu1.proxy.openathens.net/api/document/get/27357>
- Svenska institutet för standarder. (2002). *Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk* [SS-EN 1990]. <https://www.sis.se/api/document/get/32603>
- Svenska institutet för standarder. (2003). *Laster på bärverk - Del 2: Trafiklast på broar* [SS-EN 1991-2]. <https://www.sis.se/api/document/get/34672>
- Svenska institutet för standarder. (2004a). *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-1: Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggnader* [SS-EN 1995-1-1]. <https://www.sis.se/api/document/get/69557>
- Svenska institutet för standarder. (2004b). *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner – Del 2: Broar* [SS-EN 1995-2:2004]. <https://www.sis.se/api/document/get/70900>
- Svenska institutet för standarder. (2005). *Laster på bärverk – Del 1-4: Allmänna laster – Vindlast* [SS-EN 1991-1-4]. <https://www.sis.se/api/document/get/66459>
- Svenska institutet för standarder. (2007). *Träskydd – Träskyddsbehandlat massivt trä – Del 1: Klassificering av inträngning och upptagning av träskyddsmedel* [SS-EN 351-1]. <https://www.sis-se.eu1.proxy.openathens.net/api/document/get/61681>
- Svenska institutet för standarder. (2009). *Träskydd – Förebyggande skyddseffekt hos träskyddsmedel bestämd genom biologiska provningar – Del 1: Krav med hänsyn till användningsklass* [SS-EN 599-1]. <https://www.sis-se.eu1.proxy.openathens.net/api/document/get/100362>
- Svenska institutet för standarder. (2013). *Färg och lack – Färger och färgsystem för målning på trä utomhus – Del 1: Klassificering och urval* [SS-EN 927-1:2013]. <https://www.sis.se/api/document/get/89147>
- Svenska institutet för standarder. (2017). *Vägutrustning-Skyddsanordningar-Skyddsräcken för fotgängare* [SIS-CEN/TR 16949:2016]. <https://www.sis.se/api/document/get/8024420>
- Svenska-Kommunförbundet. (1998). *Träbroar - Ett alternativt till stål och betong*. Kommentus Förlag.
- Svenskt Trä. (2015a). *Träguiden- Balkbroar*. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/balkbroar/?previousState=1>
- Svenskt Trä. (2015b). *Träguiden- Bågbroar*. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/bagbroar/>

- Svenskt Trä. (2015c). *Träguiden- Fackverksbroar*. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/fackverksbroar/>
- Svenskt Trä. (2015d). *Träguiden- Hängbroar*. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/hangbroar-och-snedstagsbroar/?previousState=1>
- Svenskt Trä. (2015e). *Träguiden- Hängverks- och sprängverksbroar*. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/hangverks--och-sprangverksbroar/>
- Svenskt Trä. (2015f). *Träguiden- Plattbroar*. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/plattbroar/>
- Svenskt Trä. (2021). *Om limträ*. <https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/om-limtra/>
- Trafikverket. (2018). *Broprojekteringshandbok förhandsutgåva*. Trafikverket.
- Trafikverket. (2019a). *Krav Brobyggande* [TDOK 2016:0204]. Trafikverket. <https://www.trafikverket.se/contentassets/5e3d8c0eb4e94efd9738cca74b912bf5/krav-brobyggande.pdf>
- Trafikverket. (2019b). *Transport av odelbar last utan dispens*. <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/Transportdispens/Transport-av-odelbar-last-utan-dispens/>
- Trafikverket. (2020). *BaTMan- Kodförteckning beskrivning av brotyper*. https://batmanhandbok.trafikverket.se/dokument/Bro_konstruktionstyper/#bagbro2
- Trafikverket. (2021). *Krav - VGU, Vägars och gators utformning* [2021:001]. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1511818/FULLTEXT02.pdf>
- TRVFS 2011:12. (2011). *Trafikverkets föreskrifter om ändring i Vägverkets föreskrifter (VVFS 2004:43) om tillämpningen av europeiska beräkningsstandarder*; Transportstyrelsen. <https://webapp.trafikverket.se/TRVFS/pdf/2011nr012.pdf>
- TSFS 2010:141. (2010). *Transportstyrelsens föreskrifter om färd med bred odelbar last*; Transportstyrelsen. https://transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202010_141.pdf
- TSFS 2010:142. (2010). *Transportstyrelsens föreskrifter om färd med lång odelbar last*; Transportstyrelsen. https://transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202010_142.pdf
- Varberg kommun. (2017). *Planprogram Södra Trönninge* [Dnr: BN 2012/830]. https://www.varberg.se/download/18.48948b6e16e405ce20687370/1573475884652/2012-830_SC3B6dra20TrC3B6nninge20planprogram20godkC3A4nnandehandling.pdf
- Vägarverket. (1999). *Broars gestaltning*. Vägarverket. https://www.trafikverket.se/contentassets/8425704897db43059cb747ece4421b95/forstudie_avseende_broars_gestaltning.pdf

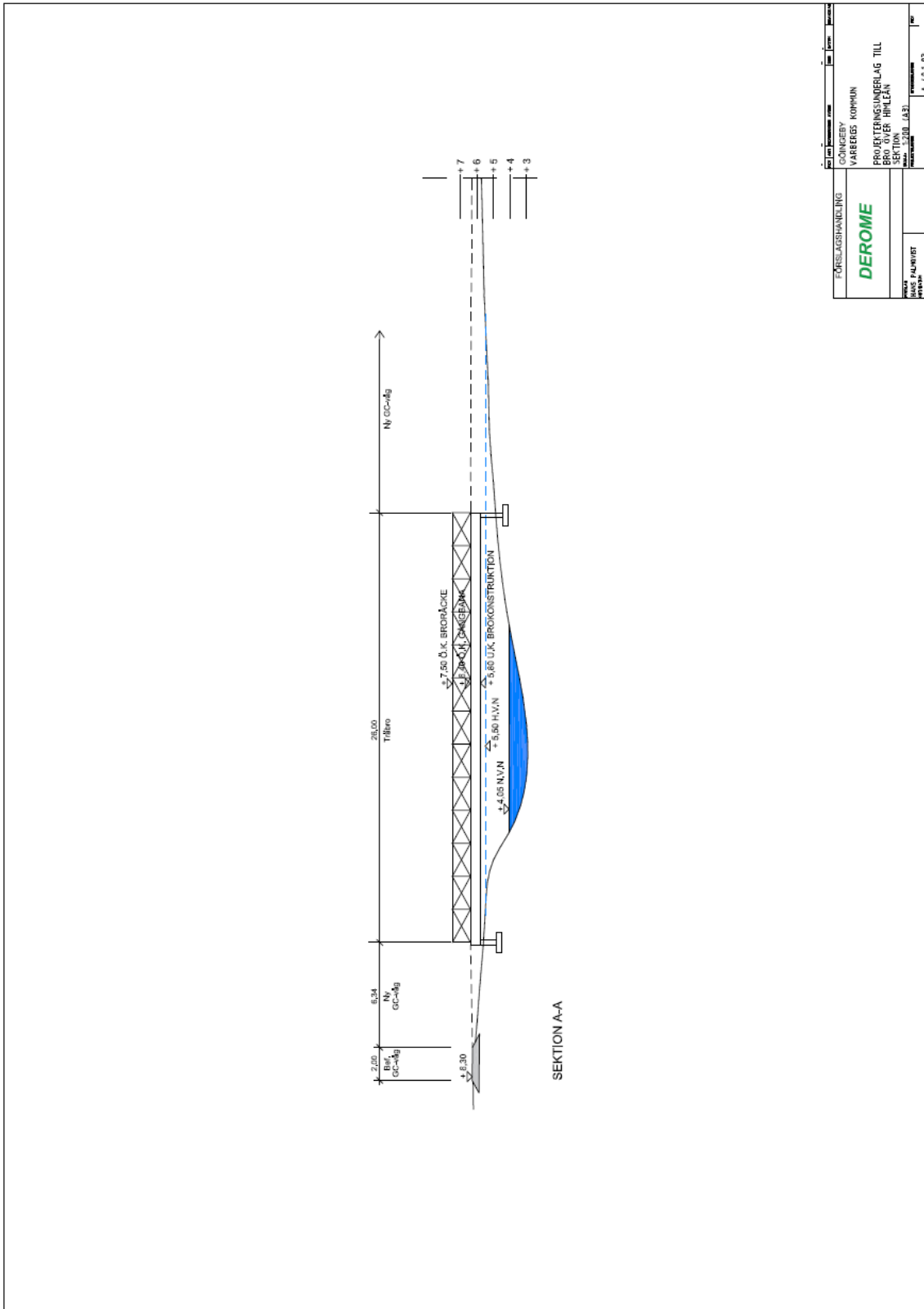
Bildkällor

- Hans Palmqvist. (2021). Situationsplan. [Bild].
- Jakob Löfstedt. (2021). [Foto]
- Svenskt trä. (2015). *Balkbroar* [Bild]. Träguiden. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/balkbroar/?previousState=1>
- Svenskt trä. (2015). *Bågbroar* [Bild]. Träguiden. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/bagbroar/?previousState=1>
- Svenskt trä. (2015). *Fackverksbroar* [Bild]. Träguiden. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/fackverksbroar/?previousState=1>
- Svenskt trä. (2015). *Hängbroar och snedstagsbroar* [Bild]. Träguiden. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/hangbroar-och-snedstagsbroar/?previousState=1>
- Svenskt trä. (2015). *Hängverks- och sprängverksbroar* [Bild]. Träguiden. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/hangverks--och-sprangverksbroar/?previousState=1>
- Svenskt trä. (2015). *Plattbroar* [Bild]. Träguiden. <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/plattbroar/?previousState=1>
- Svenskt trä. (2017). *Krökta limträelement* [Bild]. Träguiden. <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/fakta-om-limtra/fakta-om-limtra/limtraprodukter/krokta-limtraelement/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2021). *Jordartskarta* [Bild]. SGU. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html>
- Sveriges geologiska undersökning. (2021). *Jorddjupskarta* [Bild]. SGU. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jorddjup.html>

Bilageförteckning

1	Borrhålskarta	1
2	Provtagningsprotokoll	2
3	Sektionskiss	3
4	Brotyper	4
5	Underlag till andra urvalet	10
6	Risikanalys	15
7	Modellbilder	17
8	Landfäste	23
9	Systemmodeller	24
10	Koefficienter	25
11	CALFEM	26
12	Huvudprogram	27
13	Funktion 1 Egentyngd	36
14	Funktion 2 Vindlast	39
15	Funktion 3 Brottgränslaster	42
16	Funktion 4 Beräkning av lasteffekter i yz-planet	45
17	Funktion 5 Beräkning av lasteffekter i yx-planet	52
18	Funktion 6 Bruksgränslaster	58
19	Funktion 7 Nedböjning	61
20	Funktion 8 Kontroll av nedböjning	66
21	Funktion 9 Beräkning av laster från konsol	69
22	Funktion 10 Kontroll av vippning	71
23	Funktion 11 Kontroll av vibrationer	76
24	Funktion 12 Kontroll av spännanordning	81
25	Funktion 13 Kontroll av tvärsnittskapacitet	85

Bilaga 3 - Sektionskiss



Bilaga 4 - Brotyper

Broar delas generellt sett in i fyra olika kategorier beroende på hur de bär lasterna⁵. Dessa kategorier är balkverkans-, bågverkans-, linverkans- samt fackverksbroar som i sin tur innehåller en mängd olika brotyper. I nedanstående kapitel beskrivs de träbrotyper som kan lämpa sig för byggnation över Himleån.

Tvärspänd plattbro

En plattbro består av en tvärspänd platta, se principskiss i figur 24. Brobanaplattan tillverkas av balkar, vid större spännvidder av limträbalkar, som spänns ihop med stålstänger tvärs plattan. Man får en broplatta som är enkel att bygga och har ett högt materialutnyttjande genom att lasten fördelas i två riktningar. Denna brotyp lämpar sig där man har spännvidder om 20-30 meter (Svenskt Trä, 2015f). Balkhöjden beror på spännvidden och är cirka $L/20-L/30$, vilket innebär en balkhöjd på cirka 0,90-1,30 meter för fallet då spännvidden är 26 meter. Gällande material så kan denna brotyp bestå av trä i de bärande delarna, även räcken och dylikt kan vara av trä. Farbanan kan bestå av asfalt, grus eller trä med tillhörande tätskikt. Den bärande konstruktionen täcks in och den tekniska livslängden blir 80 år för denna brotyp (Trafikverket, 2019a).

Figur 24:

Tvärspänd plattbro



Kommentar. Från Plattbroar [Bild], av Svenskt trä, 2015, Träguiden, (<https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/plattbroar/?previousState=1>). Återgiven med tillstånd.

Balkbro

En balkbro består vanligtvis av en konstruktion av limträbalkar samt tvär- eller längsgående slitplank, se principskiss i figur 25. Vill man montera slitplanket längs brons riktning kan det vara av intresse att lägga tvärgående syll ovanpå de primära balkarna. Dessa sekundärbalkar kan även ses som stabilisering i tvärriktningen och skulle man inte ha dessa balkar sätter man så kallade "kortlingar" mellan primärbalkarna för att stabilisera. Denna brokonstruktion tar upp lasterna via balkarna och vidare ned i grundläggningen med hjälp av balkverkan. En balkbro lämpar sig för spännvidder upp till 30 meter (Svenskt Trä, 2015a). Balkhöjden beror på spännvidden och är cirka $L/15-L/20$, vilket innebär en balkhöjd på 1,3-1,7 meter för fallet då spännvidden är 26 meter. Gällande material kan hela denna brotypen konstrueras i trä, både de bärande delarna samt farbanan. Eftersom primärbärverket inte byggs in blir den tekniska livslängden för denna bro 40 år (Trafikverket, 2019a).

⁵Föreläsning av biträdande professor M.Plos, 19 januari 2021

Figur 25:

Balkbro



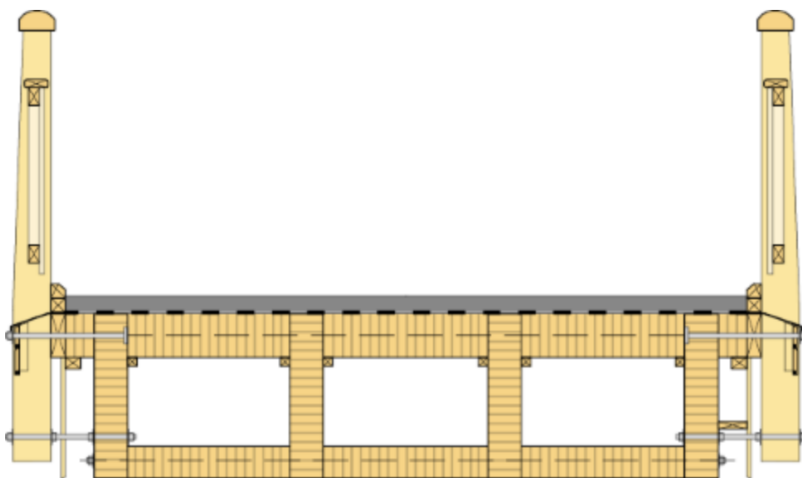
Kommentar. Från Balkbroar [Bild], av Svenskt trä, 2015, Träguiden, (<https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/balkbroar/?previousState=1>). Återgiven med tillstånd.

Lådbalkbro

En lådbalkbro har en konstruktion som till stor del påminner om balkbron, se principskiss i figur 26. En lådbalksbro kan konstrueras över betydligt större spann än vad en balkbro kan, upp till 50 meter (Svenskt Trä, 2015a). Lådbalkbron består av livbalkar likt balkbron samt liggande limträbalkar som tillsammans bygger upp ett lådtvärsnitt. En lådbalkbro bär lasterna genom balkverkan. Balkhöjden beror på spannvidden och är cirka $L/15$ - $L/20$, vilket innebär en balkhöjd på 1,3-1,7 meter för fallet då spannvidden är 26 meter. Likt den tvärspända plattbron byggs de bärande delarna i trä men farbanan kläs in i asfalt eller grus och därmed uppnås en teknisk livslängd på 80 år (Trafikverket, 2019a).

Figur 26:

Lådbalkbro



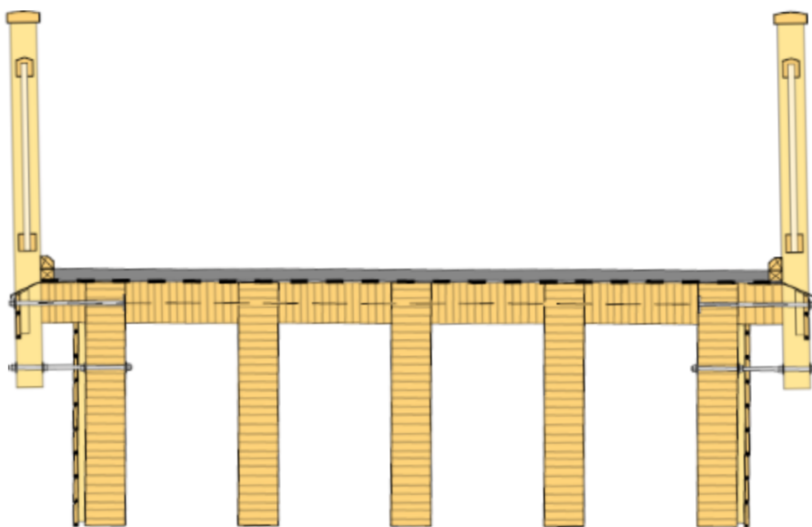
Kommentar. Från Krökta limträelement [Bild], av Svenskt trä, 2017, Träguiden, (<https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/fakta-om-limtra/fakta-om-limtra/limtraprodukter/krokta-limtraelement/>). Återgiven med tillstånd.

T-balkbro

En T-balkbro består av livbalkar som monteras ihop med hjälp av en överliggande balk som skapar ett element som ser ut som ett "T", se principskiss i figur 27. Bron lämpar sig till spännvidder upp till 50 meter (Svenskt Trä, 2015a). Tillsammans bildar flera T-element en överliggande platta som inklädd i asfalt eller grus bildar farbanan. En T-balkbro bär lasterna genom balkverkan. Balkhöjden beror på spännvidden och är cirka $L/15$ - $L/20$, vilket innebär en balkhöjd på 1,3-1,7 meter för fallet då spännvidden är 26 meter. Som för lådbalkbron är den tekniska livslängden för denna brotyp 80 år (Trafikverket, 2019a).

Figur 27:

T-balkbro



Kommentar. Från Krökta limträelement [Bild], av Svenskt trä, 2017, Träguiden, (<https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/fakta-om-limtra/fakta-om-limtra/limtraprodukter/krokta-limtraelement/>). Återgiven med tillstånd.

Sprängverksbro

En sprängverksbro är en konstruktion där brobanan stadgas upp av sneda trycksträvor eller bockar undertill, se principskiss i figur 28. Trycksträvorna kan vara infästa i brofundamentet medan bockarna utgör ett eget stöd. Denna konstruktion gör att lasten förs ned i tryck genom underliggande byggnadsdelar. En sprängverksbro kan även kompletteras med hängverkan ovan brobanan vid större spännvidder. Sprängverksbron är en av de äldsta träbrokonstruktionerna och kräver att det finns tillräckligt med utrymme under bron (Trafikverket, 2020). En vanlig spännvidd för denna brotyp är ungefär 20-40 meter med en konstruktionshöjd på $L/15$ - $L/20$ (Svenskt Trä, 2015e). Eftersom primärbärverket inte byggs in blir den tekniska livslängden för denna bro 40 år (Trafikverket, 2019a).

Figur 28:

Sprängverksbro



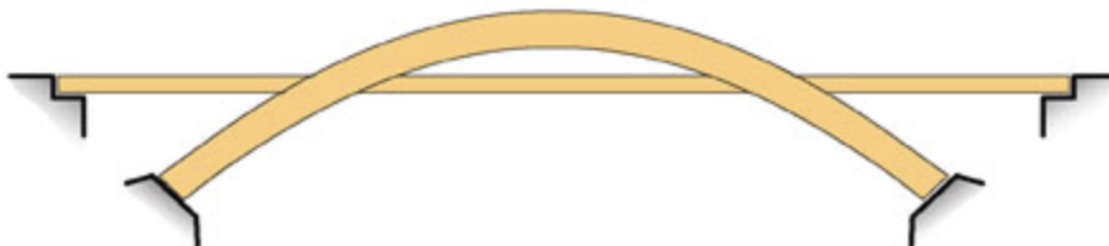
Kommentar. Från Hängverks- och sprängverksbroar [Bild], av Svenskt trä, 2015, Träguiden, (<https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/hangverks-och-sprangverksbroar/?previousState=1>). Återgiven med tillstånd.

Bågbro

För en bågbro är huvudbärverket format likt en båge placerad under, se principskiss i figur 29, alternativt över brobanan. Brobanan fäster i bågen med pelare om bågen är placerad undertill och med hängare då bågen är placerad ovan brobanan (Trafikverket, 2020). Brobanan kan även följa bågens form vilket ställer särskilda krav på bågens lutning. Bärverkets form gör att lasterna fördelas främst i tryckkrafter i bågen, dragkrafter i hängare och böjning i brobanan. För en överliggande båge kompletteras konstruktionen med ett dragband mellan bågens upplagspunkter. Bågens form gör att den totala bygghöjden är stor men samtidigt anpassningsbar. Konstruktionens höjden varierar från $L/25$ då brobanan följer bågen till $L/4$ - $L/6$ då brobanan är under alternativt över bågen. Spännvidden för denna brotyp kan anpassas beroende på bågens utformning och varierar vanligen mellan 10-60 meter (Svenskt Trä, 2015b). Gällande materialet kan en bågbro uppföras helt av trä där undantaget är hängarna vilket är av annat material. Beroende på hur mycket det primära bärverket byggs in blir den tekniska livslängden 40- eller 80 år (Trafikverket, 2019a).

Figur 29:

Bågbro



Kommentar. Från Bågbroar [Bild], av Svenskt trä, 2015, Träguiden, (<https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/bagbroar/?previousState=1>). Återgiven med tillstånd.

Fackverksbro

En fackverksbro är en typ av balkbro men med ett system av stänger som bildar ett stabilt bärverk. Fackverksbalken består av en över- och underarmsstång samt vertikala och diagonala stänger vilket binder samman över och underarmsstång, se principskiss i figur 30. Konstruktionen gör att krafterna främst överförs i tryck och drag och mindre i böjning. Detta gör att farbanans bygghöjd kan minskas i jämförelse med exempelvis en balkbro men ändå uppnå stora spännvidder. En vanlig konstruktionshöjd för fackverkskonstruktionen är $L/10$ - $L/15$ och spännvidden kan sträcka sig upp till 100 meter (Svenskt Trä, 2015c). Gällande material kan hela denna brotyp konstrueras i trä, både de bärande delarna samt farbanan. Eftersom primärbärverket inte byggs in blir den tekniska livslängden för denna bro 40 år (Trafikverket, 2019a).

Figur 30:

Fackverksbro



Kommentar. Från Fackverksbroar [Bild], av Svenskt trä, 2015, Träguiden, (<https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/fackverksbroar/?previousState=1>). Återgiven med tillstånd.

Hängbro och snedkabelbro

De två brotyperna hängbro och snedkabelbro är broar där brobanan hängs upp i kablar eller dragstag för att överföra lasten från bron till fundamenten, se principskisser i figur 31-32. Dessa brotyper lämpar sig för långa spännvidder, från ca 20-100 meter. Brotypernas kablar eller dragstag hängs upp i torn eller pyloner på brons sidor. För en snedstagsbro kan det räcka med torn på brons ena sida. Kablarna tar upp dragkrafter och fästs normalt i marken med hjälp av ankare i form av landfästen i betong. Det är även vanligt att vid större spann att använda sig av sidospann, med ytterligare kablar, bakom pylonerna för att balansera krafterna. Tornen, eller pylonerna, kan i sin tur ta upp tryckkrafter. Dessa torn eller pyloner bygger mycket på höjden över brons stöd, och varierar normalt inom spannet $L/8$ - $L/4$. I vårt fall med en spännvidd på 26 meter skulle det innebära en höjd på mellan 3,25 och 6,5 meter. Eftersom stag och kablar tar upp brobanans egentyngd och laster, gör det att brobanans bygghöjd kan hållas väldigt låg i förhållande till andra brotyper (Svenskt Trä, 2015d). Eftersom primärbärverket inte byggs in blir den tekniska livslängden för denna bro 40 år (Trafikverket, 2019a).

Figur 31:

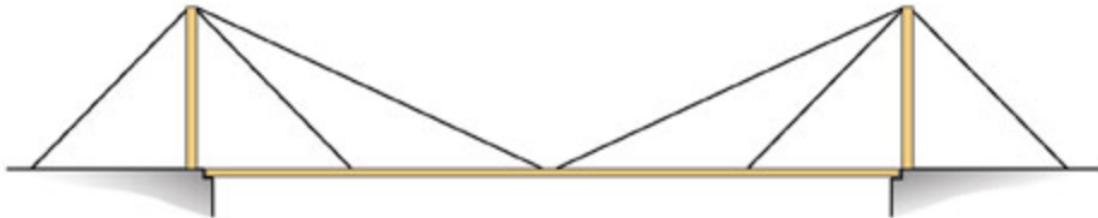
Hängbro



Kommentar. Från Hängbroar och snedstagsbroar [Bild], av Svenskt trä, 2015, Träguiden, (<https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/hangbroar-och-snedstagsbroar/?previousState=1>). Återgiven med tillstånd.

Figur 32:

Snedkabelbro



Kommentar. Från Hängbroar och snedstagsbroar [Bild], av Svenskt trä, 2015, Träguiden, (<https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/hangbroar-och-snedstagsbroar/?previousState=1>). Återgiven med tillstånd.

Bilaga 5 - Underlag till andra urvalet

För att kunna genomföra ett urval mellan de olika brotyperna som beskrivs i bilaga 4 sammanställs information inom relevanta områden för uppförandet av en bro. Områdena är: estetik, ekonomi, konstruktionsteknik, produktion, grundläggning, förvaltning och underhåll samt hållbarhet. Denna bilaga ligger till grund för urvalsprocessen samt utvecklingen av varje enskilt brokoncept.

Estetiska aspekter

En bro är inte enbart en konstruktion för transport utan ska även passa in i omgivande landskapsbild. För att uppnå detta bör formgivningen vara sådan att bron inte sticker ut eller förstör de naturliga förutsättningarna. Olika typer av material ger olika uttryck och för att bron ska passa in i området har beställaren ett särskilt önskemål om synligt trä. Vidare finns begreppet ”strukturell ärlighet” inom estetisk utformning. Detta innebär att broar som visar kraftspelet i konstruktionen förespråkas över andra lösningar (Vägverket, 1999). För att trafikanterna som utnyttjar bron ska uppleva den som tilltalande lyfter Vägverket fram vikten av hastighetsanpassning samt fri sikt (1999). Sikten bör inte begränsas av räcken eller takkonstruktioner samt att trafikantens hastighet inte ska påverkas av konstruktionens utformning.

Estetiken värderas med avseende på det primära bärverket men även dess anpassningsbarhet vilket är möjligheten att påverka form på farbanan och möjligheten till mer unik utformning av exempelvis räcken.

Tak över bron ger ett gott skydd för den bärande konstruktionen och ökar därmed livslängden vilket är en fördel både i ekonomiska och hållbara aspekter. I ett estetiskt perspektiv så skapar ett tak över bron en uppfattning av en byggnad snarare än en bro och blir onaturlig i en annars naturlig miljö berikad av växtlighet som då kan komma att skymmas. Ett förslag utan tak är därmed mer kompatibel med omgivningen i detta projekt och även önskvärt av beställaren som ansåg att ett tak över hela bron skulle upplevas klumpigt⁶.

Trä som byggnadsmaterial

Trä är ett ortotrop material och har olika egenskaper tangentiellt, radiellt och parallellt med fibrerriktningen. Materialet är starkast i drag parallellt med fibrerriktning, tryck parallellt med fibrerna är lite svagare än i drag. Vid belastning vinkelrätt fibrerna är materialet svagt både i tryck och drag. Detta är de generella uppträdandet hos trä, men för större virkesdimensioner kommer faktorer som bland annat kvistar och snedfibrighet göra att man inte kan tillgodoräkna en lika hög hållfasthet. För konstruktionsvirke kan till exempel draghållfastheten parallellt fibrerna vara en fjärdedel av hållfastheten hos en felfri provkoppsbit. Trä påverkas också i stor grad av fukt vilket gör att man behöver skydda den genom någon form av skyddande lager som impregnering, färg, skyddande plåtar eller tak.

Konstruktionsvirke

Konstruktionsvirke ska hålla klass G4-0 - G4-2 vilket är en fyrsidig visuell kontroll av virket där de två flatsidorna såväl som kantsidorna måste tillhöra samma klass. Klassificeringen bygger på både antalet och storleken på kvistarna och bestäms utifrån en kontroll av särdragen för kvistarna i kategoriseringen 0-4 (SIS, 2000). Konstruktionsvirket lämpar sig främst till kortare spann, men genom att konstruera ett fackverk kan man drastiskt öka spännvidden. Virket är av dess naturliga geometri begränsad i utformning som främst avser balkens höjd. I längsled kan skarvar nyttjas för att sammankoppla virkeselement för att på ett effektivt sätt förlänga virket redan under produktionen.

⁶Kommunikation med projektutvecklare M.Johansson, Derome, 9 april 2021

De konstruktionsmässiga valen är av stor vikt för att begränsa träets utsatthet av fukt men för en konstruktion som ställer höga säkerhetskrav behöver materialet även skyddas med någon form av impregnering. Enligt branchstandard som Nordiska Träskyddsrådet utformat ska en bro ha träskyddsklassen NTR A, klassen bygger på Svenska institutets standarder (SIS, 2007) (SIS, 2009). Klassen avser trä av furu som är i kontakt med sötvatten samt konstruktioner ovan mark där personsäkerheten kräver att det inte försvagas eller kan vara svåra att inspektera eller bytas ut (Nordiska Träskyddsrådet, 2021).

Limträ

Limträ är ett fabriksstillverkat trämaterial som består av små sammanlimmade lameller som tillsammans bildar en större trästruktur. Denna nya trästruktur kan sedan användas till en mängd olika ändamål, där några av de vanligaste är pelare, balkar eller bågar. Lamellernas tjocklek varierar, men vanligtvis väljs tjockleken till 45 mm för raka limträprodukter och 33 mm för krökta limträprodukter (Svenskt Trä, 2021). Lamellerna väljs så att dess fiberriktning går parallellt med limträproduktens längdriktning, för att erhålla så stor hållfasthetsförmåga som möjligt. Detta betyder att limträ, precis som vanligt konstruktionsvirke, är ett anisotropt material. Vid tillverkning är materialets fuktkvot viktig. Materialets fuktkvot ska ligga mellan 8-15 procent och skillnaden i fuktkvot mellan två intilliggande lameller får inte överskrida 4 procent. Några av fördelarna med att bygga med limträ är att det är: ett av de starkaste konstruktionsmaterialen, motståndskraftigt och flexibelt.

I förhållande till sin egen vikt är limträ ett av de absolut starkaste konstruktionsmaterialen. Detta medför att man kan bygga stora konstruktioner med relativt lätta komponenter (Audrey, 2019). I jämförelse med konstruktionsvirke erhålls en mycket högre hållfasthet hos limträ. Detta eftersom lamellerna gör att risken för punkter med avsevärt försämrad hållfasthet minskar kraftigt (Andersson & Johansson, 2005).

Limträ är motståndskraftigt mot fuktrelaterade deformationer såsom svällning, krympning eller vridning.

Eftersom limträprodukten produceras av små lameller erhålls stor frihet och flexibilitet vad gäller utseende och form av slutprodukten. Detta medför att produkten inte längre begränsas av en trädstams geometri och kan anpassas väl för sitt ändamål (Audrey, 2019).

Produktionsaspekter

En bra produktionsmetod ska vara säker, hållbar och så kostnadseffektiv som möjligt⁷. Produktionsmetoden ska vara säker att utföra och ge byggarbetarna en så bra arbetsmiljö som möjligt. Den ska även vara hållbar och i den mån det går bidra så lite som möjligt till koldioxidutsläpp. För att planering och utförande av projektet ska gå smidigt är det viktigt att tidsåtgången är relativt förutsägbar, där en kort tid oftast är en fördel. För att hålla produktionsmetoden så kostnadseffektiv som möjligt ska ett minimum av temporära konstruktioner användas, byggtiden på projektplatsen vara kort samt en strävan efter högt materialutnyttjande. Det finns i huvudsak två olika tillverkningsmetoder när det kommer till träbroar: prefabricering och platsbyggnation.

Tillverkningsmetoder för träbroar: prefabricering och platsbyggnation

Vid prefabricering tillverkas hela bron i fabrik eller i provisoriska fabriker i anslutning till byggarbetsplatsen för att sedan monteras på plats. Ett alternativ till detta är halvprefabricering som används då bron behöver delas upp i olika broelement på grund av storleken. Detta går till så att olika brodelar, balkar eller pelare tillverkas i fabrik för att sedan monteras ihop på plats. Fördelen med detta arbetssätt är en kortare byggtid, bra arbetsmiljö, kontrollerad miljö samt liten påverkan på omgivningen. Nackdelarna är begränsningen på hur stora element som kan transporteras samt byggplatsens tillgänglighet för montering. Det kan i vissa fall kräva att en tillfällig väg anläggs för att komma åt byggarbetsplatsen med transportfordon.

⁷Föreläsning av professor of the practice M.Karlsson, 23 februari 2021

Vid platsbyggnation byggs bron på projektplatsen och med hjälp av temporära konstruktioner blir detta möjligt. Arbetet inleds med att den temporära konstruktionen byggs upp, vanligtvis en byggställning. Därefter sätts balkar, regler och andra brodelar ihop och en bro växer fram. Fördelen med en platsbyggd träbro är att det är smidiga transporter till byggplatsen medan nackdelarna är att byggtiden på platsen är betydligt längre än för en prefabricerad bro. Dessutom blir trämaterialiet utsatt för väder och vind under byggtiden samt behov av temporära konstruktioner är stort.

Produktionsmetoder för träbroar: lansering, kranlyft och sekundär konstruktion

Brodelar kan förberedas på byggplatsen, intill där bron ska placeras, för att sedan monteras ihop och skjutas på plats från ett håll genom lansering. Denna metod lämpar sig bäst för en bro med flera stöd och spann. Lanseringen går till så att brodelarna skjuts ut på temporära rullstöd och när broelementet har nått fram till nästa stöd sänks bron ner till stödet med hjälp av en domkraft. En uppvinklad lanseringsnos kan även användas vid lansering⁸. Den används för att änden av bron inte skall kollidera med nästa brostöd när konstruktionen böjer ned.

För mindre broar och på platser där det är möjligt är det smidigaste sättet att montera en bro på plats genom att lyfta den på plats med hjälp av en kran. När bron är färdigbyggd och skall monteras på plats krävs endast att bron hamnar i rätt läge för att sedan monteras fast i de redan förberedda brostöden i var ände av bron. Denna monteringsmetod är snabb, kräver ingen temporär konstruktion och därav blir den väldigt kostnadseffektiv. Nackdelen med denna lösning är begränsningen i storlek på bron som ska monteras, även byggplatsens utformning kan ställa till problem som gör att denna metod inte kan implementeras.

Vid platsbyggnation krävs det oftast en sekundär konstruktion vid uppbyggandet av bron. En sekundär konstruktion är en konstruktion som har i uppgift att avlasta brokonstruktionen innan den kan bära lasterna av sig självt. Den sekundära konstruktionen är med andra ord en tillfällig konstruktion som monteras ner så fort det är möjligt eller i annat fall i samband med slutförandet av brobyggnationen. Denna konstruktion ska ge en god arbetsmiljö för de som monterar bron och är vanlig i de fall en bro skall platsbyggas.

Grundläggningmetoder: plattgrundläggning och pålgrundläggning

Det finns ett antal olika grundläggningsmetoder som är lämpade för broar. Syftet med grundläggningen är att föra ner de horisontella och vertikala lasterna som verkar på bron till den omgivande jorden. Det finns främst två olika typer av grundläggningsmetoder: plattgrundläggning och pålgrundläggning. Valet av grundläggning baseras mestadels på de geotekniska förutsättningarna men typen av bro har också en viss inverkan.

Platta på berg, platta på jord och platta på packad fyllning

Platta på berg innebär att man schaktar ner till plant berg eller spränger det plant etappvis och sedan gjuter en platta ovanpå. Dimensionerande bärförmåga för berg är mycket hög och därför blir dessa grundplattor ofta relativt små men fortfarande mycket styva (Trafikverket, 2018). Denna metoden används främst när avståndet till stabilt berg är relativt litet och jordskiktet ovanpå är instabilt.

Platta på jord innebär att man schaktar fram en plan och stabil botten utefter de geologiska förutsättningar med avseende på bärförmåga, sättningar, tjälsäkert djup samt risken för erosion. Bottenplattan grundläggs på en nivå så att tjällyftning undviks eller genom lämpligt tjälskydd (Trafikverket, 2018). Denna metoden används främst då jordmassan har en relativt bra bärförmåga samt att avståndet till berg är stort.

⁸Föreläsning av professor of the practice M.Karlsson, 23 februari 2021

Platta på packad fyllning innebär att man schaktar bort material med sämre bärförmåga och ersätter det med bättre material som packat grus- eller sprängstensfyllning. Förutsättningar som krävs för detta är dock att jorden under det sämre materialet har en bra bärförmåga (Trafikverket, 2018). Denna metod används främst då en jord med hög bärförmåga överlagras av en jordmassa med sämre bärförmåga samtidigt som avståndet till berg är stort.

Spets- och mantelbärande pålar

Spetsbärande pålar slås ner till fast berg och bär därmed lasten från plattan ner genom pålen vidare till spetsen som leder ner lasten i berget (Trafikverket, 2018). Denna metod används främst då jorden har en väldigt låg bärförmåga samtidigt som lasterna är stora. Varje påle kan bära en förhållandevis stor last till sin dimension vilket leder till färre pålar.

Mantelbärande pålar bär istället lasten genom kohesion eller friktion mellan pålens mantelyta och omgivande jordmaterial (Trafikverket, 2018). Denna metod används främst då avståndet till berg är mycket stort och jorden har en låg bärförmåga samtidigt som lasterna är stora. Eftersom pålen bär lasten genom sin mantelyta krävs ofta stora dimensioner och fler pålar.

Förvaltnings- och underhållsaspekter

En bro är en utsatt konstruktion då den befinner sig i konstant utomhusmiljö och är svår att skydda. Trä är ett material som förr eller senare kommer att brytas ned men för att förskjuta processen kan lämpliga skyddsåtgärder vidtas. Sol och nederbörd är de främsta orsakerna till materialets nedbrytning där solen orsakar sprickor och nederbörden fuktproblem. Sprickorna gör att vatten tränger in i konstruktionen vilket senare kan leda till biologiska angrepp och att materialet förlorar sin hållfasthet (Svenska-Kommunförbundet, 1998). För att en bro ska hålla över tid är det därmed viktigt att identifiera eventuella kritiska punkter i konstruktionen samt hur dessa ska hanteras.

För en träbrokonstruktion kan de kritiska punkterna utgöras av infästningar, förband, utformningsavvikelse, övergångskonstruktioner, ändträ och plana ytor med dålig avrinning (Sétra, 2007). Dessa punkter är kritiska då vatten enklare kan tränga in i konstruktionen och påverka materialet. För att skydda bron är det av största vikt att förhindra att vattnet når den bärande konstruktionen alternativt att tillfälle ges för uttorkning. Ett utmärkt skydd mot regn kan vara farbanan alternativt ett skyddande tak vilket även skyddar mot solljuset. För att möjliggöra uttorkning är ett fritt luftflöde och avrinning värdefullt vilket åstadkoms med luftspalter och dräneringshål. Vid infästningar, övergångskonstruktioner och anslutningar är det viktigt att separera ytor som står i kontakt med varandra med hjälp av distansbrickor och plåtar eller tjärpapp. Detta för att förhindra en kapillär fukttransport mellan de olika delarna (Svenska-Kommunförbundet, 1998).

Regelbundet underhåll är en förutsättning för att bron ska uppnå sin tekniska livslängd samt för att undvika omfattande reparationer. Utformningen av bron bestämmer underhållsbehovet där exempelvis konstruktioner med överliggande bärverk har ett större behov av underhåll. Exempelvis kräver fackverks- och bågbroar mer underhåll än tvärsända plattbroar. Regelbundet underhåll omfattar främst rengöring, målning och reparation av vägbeläggningen. Dessa underhållsåtgärder förhindrar fukt att nå den bärande konstruktionen och förlänger livslängden. Ytterligare en viktig detalj är underhåll av ståldetaljer vilka ska undvikas från att rosta (Svenska-Kommunförbundet, 1998).

För att säkerställa att bron uppfyller de ställda kraven för bärighet och säkerhet genomförs regelbundna inspektioner. Inspektionerna genomförs av en inspektör med förbestämda intervall. Inspektionen består av en okulär besiktning samt uppmätning av temperatur och fuktkvot⁹. För att inspektionen ska kunna genomföras krävs åtanke på arbetsmiljön och säkerhet för både inspektör och trafikanter. Utformningen av bron bör möjliggöra inspektion vid kritiska punkter och slutna utrymmen. Detta innebär att extra tilltagna utrymmen eller demonterbara inspektionsluckor kan behövas. För att säkerställa trafikanternas säkerhet samt frigöra utrymme för inspektören kan framkomligheten på bron även behöva begränsas vid inspektion.

⁹Kommunikation med broinspektör J.Sandberg, Brokontroll AB, 25 februari 2021

Hållbarhetsaspekter

Vid byggande av broar uppstår en självklar miljöpåverkan. Vid byggnation av broar i trä är miljöpåverkan oftast mindre än vid användandet av andra material såsom betong eller stål. För att utvärdera broars miljöpåverkan analyseras ett flertal faktorer. Dessa är: materialval, underhåll, transport samt grundläggningsmetod.

Analyserade hållbarhetsaspekter

I rapporten *LCA för vägbro- Analys av en byggd betongöverbyggnad och en alternativ träöverbyggnad* på uppdrag av Sveriges Tekniska Forskningsinstitut jämförs en överbyggnad i trä med en överbyggnad i betong för en vägbro (Pousette m. fl., 2014). Enligt rapporten är det framförallt två aktiviteter som står för den absolut största miljöpåverkan: material och underhåll.

Vad gäller materialet i en träbro står den för cirka 60 procent av bronns totala klimatpåverkan i form av utsläpp av CO₂-ekvivalenter. Av dessa 60 procent som materialet står för, så är det stålkomponenterna i bron som står för den absolut största andelen utsläpp av CO₂-ekvivalenter, och dessa kan uppgå till 74 procent (Pousette m. fl., 2014). Det är därför av största vikt vid val av brokoncept att man tänker på mängden stålkomponenter i bron för att hålla nere miljöpåverkan så mycket som möjligt.

Även användningen av träprodukter bidrar till viss miljöpåverkan i form utsläpp vid förädling samt transporter. Det är därför att föredra att använda en bro som använder så lite material som möjligt. Dock anses skillnaden i materialåtgång mellan de olika brotyperna vara relativt liten, vilket gör att denna aspekt inte vägs in så tungt i jämförelse med mängden stål.

Underhåll är den andra aspekten som har stor miljöpåverkan. Underhåll av bron kan exempelvis vara utbyte av övergångskonstruktion, utbyte av gummilager, byte av räcke, byte av panel samt ommålning av undersidan av broplattan (Pousette m. fl., 2014). Det är därför viktigt att analysera i vilken utsträckning de olika brokoncepten kräver underhåll för ett komplett hållbarhetstänk.

Avgränsade hållbarhetsaspekter

Målet med att analysera brotypernas miljöpåverkan är att kunna hitta faktorer där de urskiljer sig markant från varandra och därmed kunna jämföra dem. Eftersom brotyperna är relativt lika kommer ingen skillnad kunna urskiljas på ett par av de ovanstående faktorerna. Dessa är: grundläggningsmetod och transportmetod.

Grundläggningsmetoden har generellt sett stor miljöpåverkan. Detta beror på att den oftast består av materialet betong. Eftersom grundläggningen inte antas skilja sig markant mellan de framtagna brotyperna kommer, för jämförelsens skull, dess miljöpåverkan bortses.

Alla framtagna brotyper kommer kunna transporteras i en eller ett fåtal delar till byggplatsen med lastbil. Alla broar kommer kunna tillverkas på samma ställe och det finns därför heller inga jämförbara skillnader i transportens längd. Av denna anledning kommer, för jämförelsens skull, dess miljöpåverkan att bortses.

Ekonomiska aspekter

Tid är en stor aspekt vad gäller ekonomiska utgifter i alla skeden i projektet. Därmed tenderar en mer komplex konstruktion att medföra stora kostnader främst för dimensionering och produktion. Om byggtiden är kort på grund av prefab så genererar det en stor besparing. Transport kan generera kostnader om det är laster eller dimensioner som kräver dispens. En bro som kräver mindre underhåll över tid genererar mindre kostnader och är därför med fördelaktig ur ett ekonomiskt perspektiv.

Bilaga 6 - Riskanalys

För riskanalyser på de olika brokoncepten har allvarlighetsgrader tilldelats varje enskilt brokoncept, se tabell 10-14. Liknande brokoncept har tilldelats samma allvarlighetsgrad. Byggtid, ekonomi och miljöpåverkan har värderats lika högt för alla brotyper medan arbetsplatsolycka och risk för påkörning värderas olika beroende på brokoncept. Allvarlighetsgraden för arbetsplatsolycka baseras på hur allvarlig en eventuell olycka kan vara för brokonceptet. Skillnaden på bågbroarna och de andra tre koncepten är att bågbroarna kräver mer montering på plats tillsammans med stora bågar som gör att konsekvensen vid ett fall är mycket allvarlig. För påkörning varierar allvarlighetsgraden mellan brokoncepten på grund av att den bärande delen på olika sätt är skyddad mot påkörning för en del koncept. Den tvärspända plattbron har exempelvis den bärande delen inklädd under farbanan och kan därav inte bli påkörd. Bågbroarna är även de skyddade mot påkörning, även om risken är större än för den tvärspända plattbron. Fackverken har däremot högst påkörningsrisk av alla koncept eftersom de bärande delarna är exponerade.

Vid bedömning av sannolikhet görs en gradering över hur sannolikt det är att risken som beskrivs inträffar. Denna punkt skiljer sig på olika sätt men en del koncept påminner mycket om varandra. För den tvärspända plattbron och fackverken är sannolikheten värderad lika låg gällande byggtid, miljöpåverkan samt arbetsplatsolycka eftersom dessa koncept kan förtillverkas för att sedan endast monteras på plats. Sannolikheten för påkörning värderas till 1 för alla brokoncept eftersom det enbart kommer vara ett renhållningsfordon som passerar bron. För att värdera ekonomin har det tagits i beaktande huruvida kostsamt det skulle vara rent ekonomiskt om något oväntat inträffar.

Tabell 10:

Riskanalys för Brokoncept 1

Brokoncept 1 - Tvärspänd plattbro			
Risk	Allvarlighetsgrad	Sannolikhet	Riskpoäng
Byggtid	3	1	3
Ekonomi	4	2	8
Miljöpåverkan	4	1	4
Arbetsplatsolycka	4	1	4
Påkörning	1	1	1
Summa Riskpoäng			20

Tabell 11:

Riskanalys för Brokoncept 2

Brokoncept 2 - Bågbro med hängare i stål			
Risk	Allvarlighetsgrad	Sannolikhet	Riskpoäng
Byggtid	3	2	6
Ekonomi	4	3	12
Miljöpåverkan	4	2	8
Arbetsplatsolycka	5	2	10
Påkörning	2	1	2
Summa Riskpoäng			38

Tabell 12:

Risikanalyt för Brokoncept 3

Brokoncept 3 - Bågbro med inåtböjda bågar			
Risk	Allvarlighetsgrad	Sannolikhet	Riskpoäng
Byggtid	3	2	6
Ekonomi	4	3	12
Miljöpåverkan	4	2	8
Arbetsplatsolycka	5	2	10
Påkörning	2	1	2
Summa Riskpoäng			38

Tabell 13:

Risikanalyt för Brokoncept 4

Brokoncept 4 - Fackverksbro med krökt farbana			
Risk	Allvarlighetsgrad	Sannolikhet	Riskpoäng
Byggtid	3	1	3
Ekonomi	4	2	8
Miljöpåverkan	4	1	4
Arbetsplatsolycka	4	1	4
Påkörning	3	1	3
Summa Riskpoäng			22

Tabell 14:

Risikanalyt för Brokoncept 5

Brokoncept 5 - Fackverksbro med bågformad överligger			
Risk	Allvarlighetsgrad	Sannolikhet	Riskpoäng
Byggtid	3	1	3
Ekonomi	4	2	8
Miljöpåverkan	4	1	4
Arbetsplatsolycka	4	1	4
Påkörning	3	1	3
Summa Riskpoäng			22

Bilaga 7 - Modellbilder

Figur 33:



Kommentar. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

Figur 34:



Kommentar.[Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

Figur 35:



Kommentar. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

Figur 36:



Kommentar. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

Figur 37:



Kommentar. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

Figur 38:

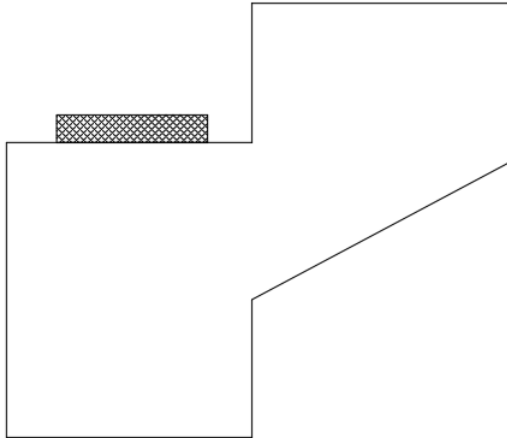


Kommentar. [Foto] Av Jakob Löfstedt, 2021. Återgiven med tillstånd.

Bilaga 8 - Landfäste

Figur 39:

Förslag på landfäste

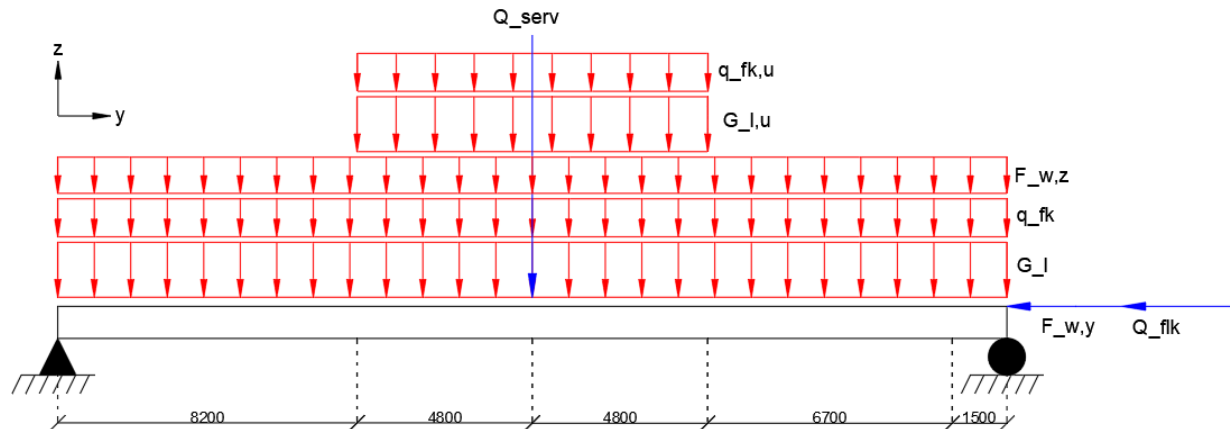


Kommentar. Författarnas egen bild.

Bilaga 9 - Systemmodeller

Figur 40:

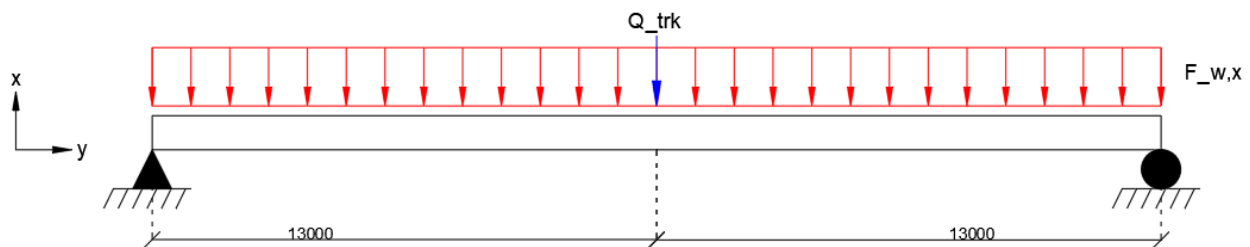
Systemmodell i yz -planet med laster i z - och y -riktning



Kommentar. Författarnas egen bild. Lasterna är ej skalenliga.

Figur 41:

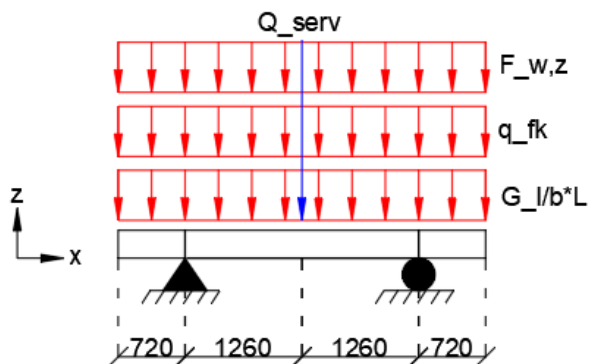
Systemmodell i yx -planet med laster i x -riktning



Kommentar. Författarnas egen bild. Lasterna är ej skalenliga.

Figur 42:

Systemmodell i xz -planet med laster i z -riktning



Kommentar. Författarnas egen bild. Lasterna är ej skalenliga.

Bilaga 10 - Koefficienter

Tabell 15:

Koefficienter för laster

Koefficienter	Beteckning	Storlek
Reduktionsfaktor egentyngd	ξ	0,85
Lastreduktionstal servicefordon	$\Psi_{0,1}$	0,00
Lastreduktionstal jämnt utbredd last	$\Psi_{0,2}$	0,40
Lastreduktionstal vindlast	$\Psi_{0,3}$	0,30
Ogynnsam egentyngd	γG_0	1,35
Gynnsam egentyngd	γG_G	1,00
Ogynnsam jämnt utbredd last	γQ_{02}	1,35
Gynnsam jämnt utbredd last	γQ_{G2}	0,00
Ogynnsam servicefordon	γQ_{01}	1,50
Gynnsam servicefordon	γQ_{G1}	0,00
Ogynnsam vindlast	γQ_{03}	1,50
Gynnsam vindlast	γQ_{G3}	0,00
Ogynnsam horisontell last	γQ_{04}	1,50
Gynnsam horisontell last	γQ_{G4}	0,00

Tabell 16:

Kombinationsvärden för lastkombinationer

	Egentyngd	Egentyngd utbreddning	Jämnt utbredd last	Jämnt utbredd last utbreddning	Servicefordon	Horisontell last y-led	Vindlast y-led	Vindlast z-led
Ekvation 6.10 a	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN/m]
Ogynnsamma laster	21,1	12,0	6,8	3,9	0,0	0,0	4,0	0,8
Gynnsamma	15,6	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ekvation 6.10 b								
Ogynnsamma laster	17,9	10,2	6,8	3,9	0,0	0,0	4,0	0,8
Gynnsamma	13,3	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Huvudlast	-	-	17,0	9,7	180,0	108,0	13,3	2,7

Bilaga 11 - CALFEM

Varje nod består av tre frihetsgrader: en horisontell, en vertikal och en för rotation. Noderna har två koordinater: en i lokalt x-led och en i lokalt y-led. Upplagsvillkor definieras för de frihetsgrader som är förhindrade till att förskjutas.

Lokala styvhetsmatriser definieras för varje element utifrån dess tre materialegenskaper: elasticitetsmodul, area och yttröghetsmoment. Dessa kombineras till en global styvhetsmatris, K , för hela balken. Punktlaster som verkar på bron införs i respektive frihetsgrad i en lastvektor medan utbredda laster verkar över hela element och därmed införs i fyra frihetsgrader i lastvektorn, f_l . Genom balkteori kan man därmed härleda sambandet $Ka = f_b + f_l$ där, a , är förskjutningsvektorn och, f_b , är nodkraftvektorn.

Detta ekvationssystem är lösningsbart tack vare att styvhetsmatrisens alla positioner är kända samt att nodförskjutningarna är kända där nodkrafterna är okända och vice versa. På så vis kan reaktionskrafterna där förskjutningar är förhindrade lösas ut samtidigt som utböjningar kan lösas ut där nodkrafterna är satta till noll.

Nodförskjutningarna används sedan för att beräkna snittkrafterna i varje enskilt element och därefter kan detta användas för att ta fram den största normalkraften, tvärkraften och momentet. Detta är det som sedan är de dimensionerande lasteffekterna.

Bilaga 12 - Huvudprogram

I följande MATLAB-kod redovisas resultaten från alla beräkningar som har genomförts för att dimensionera bron. Beräkningarna är gjorda i 13 olika funktioner där resultaten redovisas i följande script.

Funktion 1 Egentyngd - I funktion 1 beräknas bronns egentyngd, se fullständig beräkning i bilaga 13.

Funktion 2 Vindlast - I funktion 2 beräknas vindlasterna som verkar på bron, se fullständig beräkning i bilaga 14.

Funktion 3 Brottgränslaster - I funktion 3 beräknas lasterna i brottgränstillstånd, för fullständig beräkning se bilaga 15.

Funktion 4 Beräkning av lasteffekter i yz-planet - I funktion 4 beräknas reaktionskrafter, normalkrafter, tvärkrafter, moment samt tvärkraft för spännanordningen i yz-planet. För fullständig beräkning se bilaga 16.

Funktion 5 Beräkning av lasteffekter i yx-planet - I funktion 5 beräknas reaktionskrafter, tvärkrafter och moment i yx-planet. För fullständig beräkning se bilaga 17.

Funktion 6 Bruksgränslaster - I funktion 6 beräknas lasterna i bruksgränstillstånd, för fullständig beräkning se bilaga 18.

Funktion 7 Nedböjning - I funktion 7 beräknas nedböjningen av bron, för fullständig beräkning se bilaga 19.

Funktion 8 Kontroll av nedböjning - I funktion 8 genomförs en kontroll av nedböjningsresultatet i funktion 7, för fullständig beräkning samt kontroll se bilaga 20.

Funktion 9 Beräkning av laster från konsol - I funktion 9 beräknas utbreddningens påverkan som en konsol med hjälp av elementarfall, för fullständig beräkning se bilaga 21.

Funktion 10 Kontroll av vippning - I funktion 10 beräknas reaktionskrafter och kontrollerar att detta inte orsakar vippning, för fullständig beräkning samt kontroller se bilaga 22.

Funktion 11 Kontroll av vibrationer - I funktion 11 kontrolleras att vibrationerna är i enlighet med komfortkrav, för fullständig beräkning samt kontroller se bilaga 23.

Funktion 12 Kontroll av spännanordning - I funktion 12 kontrolleras spännanordningens kapacitet och dimensioner, för fullständig beräkning samt kontroller se bilaga 24.

Funktion 13 Kontroll av tvärsnittskapacitet - I funktion 13 kontrolleras att det är tillräcklig kapacitet i det tvärsnitt där maximalt moment och tvärkraft verkar, samt kapacitet vid kombinerad böjning med axiell kraft, för fullständig beräkning samt kontroller se bilaga 25.

```

% Huvudprogram: Dimensionering av tvärspänd plattbro
%-----
% Syfte
% Dimensionera en tvärspänd plattbro enligt gällande krav.
%
% Senast ändrad: 2021-05-04 av:
% Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
% William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----
clear
clc
close all
%-----
% Dimensionerande variabel
h=0.8; % [m] Plattans tvärsnittshöjd

% Egentyngd, funktion 1
fprintf('\n\nEgentyngds beräkning\n\n')
[G_l, G_l_u]=Funktion_1(h);

% Vindlast, funktion 2
fprintf('\n\nVindlast beräkning\n\n')
[Fw_x, Fw_y, Fw_z]=Funktion_2(h);

% Brottgränslaster ULS, funktion 3
[Gd_h, Gd_h_u, Gd, Gd_u, q_fdl_h, q_fdl_h_u, q_fdl, q_fdl_u,
Qd_serv_h, ...
Qd_serv, Qd_flk_h, Qd_flk, Qd_vind_y_h, Qd_vind_y, Qd_vind_x_h, ...
Qd_vind_x]=Funktion_3(h, G_l, G_l_u, Fw_x, Fw_y, Fw_z);

% Reaktionskrafter, normalkraft, tvärkraft, moment och tvärkraft för
% stag i yz-planet, funktion 4
fprintf('\n\nBeräkning i yz-planet\n\n')
[N_max, V_max, M_max, V_max_serv]=Funktion_4(h, Gd_h, Gd_h_u, Gd, ...
Gd_u, q_fdl_h, q_fdl_h_u, q_fdl, q_fdl_u, Qd_serv_h, Qd_flk_h,
Qd_vind_y);

% Reaktionskrafter, tvärkraft och moment i yx-planet, funktion 5
fprintf('\n\nBeräkning i yx-planet\n\n')
[V_max_z, M_max_z, reaktion_z]= ...
Funktion_5(h,Qd_flk_h, Qd_flk, Qd_vind_x_h, Qd_vind_x);

% Bruksgränslaster i SLS, funktion 6
[Gd_SLS, Gd_u_SLS, q_fdl_SLS, q_fdl_u_SLS, Qd_vind_z_SLS]= ...
Funktion_6(h, G_l, G_l_u, Fw_x, Fw_y, Fw_z);

% Nedböjning, funktion 7
fprintf('\n\nBeräkning av nedböjning i yz-planet\n\n')
[w_tot]=...
Funktion_7(h, Gd_SLS, Gd_u_SLS, q_fdl_SLS, q_fdl_u_SLS,
Qd_vind_z_SLS);

```

```

% Kontroll av nedböjning, funktion 8
fprintf('\n\nKontroll av nedböjnings beräkning\n\n')
[w_e]=Funktion_8 ...
(h, Gd_SLS, Gd_u_SLS, q_fdl_SLS, q_fdl_u_SLS, Qd_vind_z_SLS);

% Beräkning av laster från konsol, funktion 9
[M_serv, R_serv, M_utbredd, R_utbredd, M egen, R egen]=Funktion_9 ...
(h,Gd_h, Gd_h_u, Gd, Gd_u, q_fdl_h, q_fdl_h_u, q_fdl, q_fdl_u, ...
Qd_serv_h, Qd_serv, Qd_flk_h, Qd_flk, Qd_vind_y_h, Qd_vind_y);

% Kontroll av vippning, funktion 10
fprintf('\n\nKontroll av vippning\n\n')
[reaktion]=Funktion_10 ...
(h, Gd, Qd_serv_h, M_serv, R_serv, M_utbredd, R_utbredd, M egen,
R egen);

% Dynamisk analys, funktion 11
fprintf('\n\nKontroll av dynamik\n\n')
[f_l_x, f_l_y] = Funktion_11(h, G_l, G_l_u);

% Spännanordning, funktion 12
fprintf('\n\nKontroll av spännanordning\n\n')
[sigma_stag, sigmac_90_d]=Funktion_12(h, V_max_serv);

% Kontroll av tvärsnittskapacitet, funktion 13
fprintf('\n\nKontroll av tvärsnittskapacitet\n\n')
[M_kap, V_kap]=Funktion_13(h, M_max, V_max, N_max,M_max_z);

```

Egentyngds beräkning

Egentyngd: $G_l = 14.5$ [kN/m]
Egentyngd utbreddning: $G_{l_u} = 8.3$ [kN/m]

Vindlast beräkning

Horisontell vindlast, x-led: $F_{w_x} = 33.8$ [kN]
Horisontell vindlast, y-led: $F_{w_y} = 8.5$ [kN]
Vertikal vindlast, z-led: $F_{w_z} = 1.8$ [kN/m]

Beräkning i yz-planet

Maximal normalkraft i lastfall 3 & 4: $N_{max} = 111.8$ [kN]
Maximal tvärkraft i lastfall 2: $V_{max} = 530.6$ [kN]
Maximal moment i lastfall 2: $M_{max} = 3828.6$ [kNm]
Reaktionskraft för stöd 1 lastfall 2: $R_{max} = 530.6$ [kN]
Reaktionskraft för stöd 2 lastfall 2: $R_{max} = 530.5$ [kN]
Maximal tvärkraft för spännanordning i lastfall 3: $V_{max_serv} = 91.7$ [kN]

Beräkning i yx-planet

Maximal tvärkraft i lastfall 1: $V_{max_z} = 25.4$ [kN]
Maximal moment i lastfall 2: $M_{max_z} = 224.9$ [kNm]
Reaktionskraft för stöd 1 lastfall 3: $R_{max} = 34.6$ [kN]
Reaktionskraft för stöd 2 lastfall 3: $R_{max} = 7.6$ [kN]

Beräkning av nedböjning i yz-planet

Kravet på nedböjningen av variabla laster ($w < L/400$) uppfylls, OK!

Initialnedböjning: 77.37 mm
Nedböjning pga långtidseffekter: 61.90 mm
Nedböjning pga variabla laster: 26.81 mm
Total nedböjning: 166.07 mm

Kontroll av nedböjnings beräkning

Kravet på nedböjningen av variabla laster ($w < l/400$) uppfylls, OK!

Initialnedböjning: 78.60 mm
Nedböjning pga långtidseffekter: 62.88 mm
Nedböjning pga variabla laster: 27.23 mm
Total nedböjning: 168.71 mm

Kontroll av vippning

Reaktionskraften vid stöd två för lastfall 1 är riktad uppåt, OK!
 $R_1 = 240.3$ [kN]
Reaktionskraften vid stöd två för lastfall 2 är riktad uppåt, OK!
 $R_2 = 219.8$ [kN]
Reaktionskraften vid stöd två för lastfall 3 är riktad uppåt, OK!
 $R_3 = 310.3$ [kN]

Kontroll av dynamik

Vertikal kontroll INTE OK! (krav: > 5 Hz)
Egenfrekvens i vertikalled: $f_{1_vertikal} = 3.7$ [Hz]
Fortsatta kontroller följer:
Kontroll 1 OK! (krav: < 0.7 m/s²) en passerande person:
 $a_{vert_1} = 0.1$ [m/s²]
Kontroll 2a OK! (krav: < 0.7 m/s²) en distingt grupp fotgängare:
 $a_{vert_n_1} = 0.1$ [m/s²]
Kontroll 2b OK! (krav: < 0.7 m/s²) en kontinuerlig ström
fotgängare:
 $a_{vert_n_2} = 0.2$ [m/s²]
Kontroll 3 OK! (krav: < 0.7 m/s²) springande person, frekvens
utanför kritiskt intervall: $f_{1_x} = 3.7$ [m/s²]

Horisontell kontroll OK! (krav: > 2.5 Hz)

Inga fler kontroller krävs!
Egenfrekvens i horisontalld: $f_{1_horisontell} = 11.6$ [Hz]

Kontroll av spännanordning

Kontroll av skjuvkraft OK!
Dimensionerande skjuvkraft: 92 kN
Kapacitet hos balkarna: 112 kN

Kontroll av stagspänning OK! => Spännstagens cc-mått OK!
Dimensionerande stagspänning: 446 MPa
Krav: < 770 MPa
Spännstagens cc-mått: 600 mm

Kontroll av krossning i brobanan OK!
Dimensionerande tryckspänning: 1.61 MPa
Dimensionerande tryckhållfasthet: 2.06 MPa

Kontroll av tvärsnittskapacitet

Kapacitetskontroll yz-planet

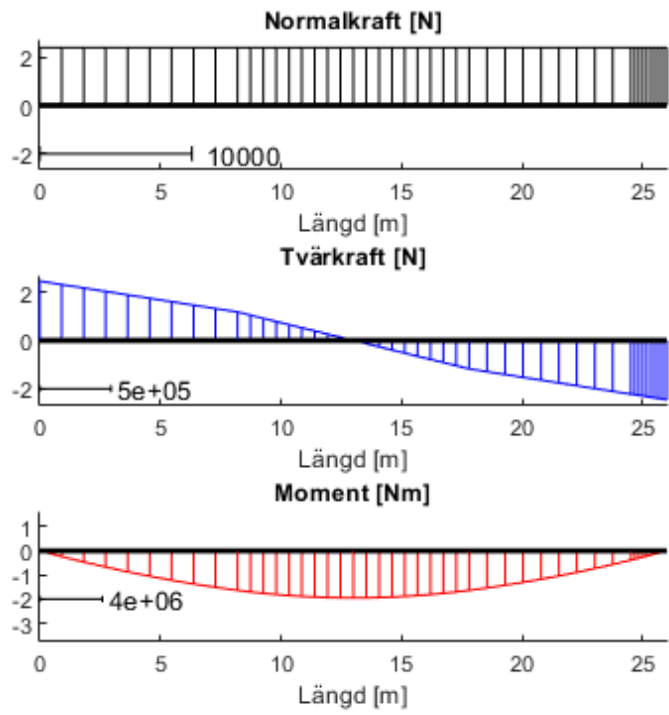
Momentkapacitet yz-planet OK!: $M_{kap} = 92.7$ [%]
Tvärkraftskapacitet yz-planet OK! : $V_{kap} = 32.3$ [%]

Kombinerad böjning med axiell dragning kapacitet ($ekv_1 < 1$) OK!:
 $ekv_1 = 0.9$ [-]
Kombinerad böjning med axiell dragning kapacitet ($ekv_2 < 1$) OK!:
 $ekv_2 = 0.7$ [-]
Kombinerad böjning med axiellt tryck kapacitet ($ekv_3 < 1$) OK!:
 $ekv_3 = 0.9$ [-]
Kombinerad böjning med axiellt tryck kapacitet ($ekv_4 < 1$) OK!:
 $ekv_4 = 0.7$ [-]

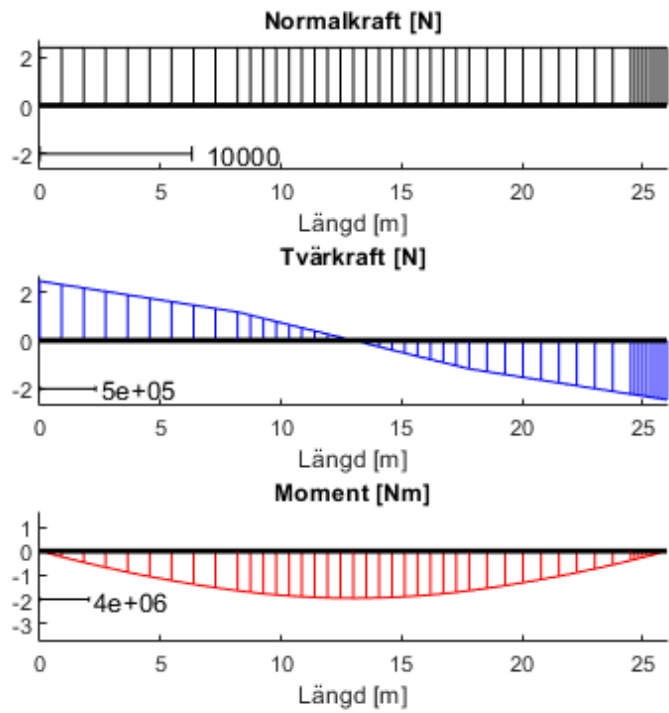
Kapacitetskontroll yx-planet

Momentkapacitet i sidled OK!: $M_{kap_z} = 1.7$ [%]

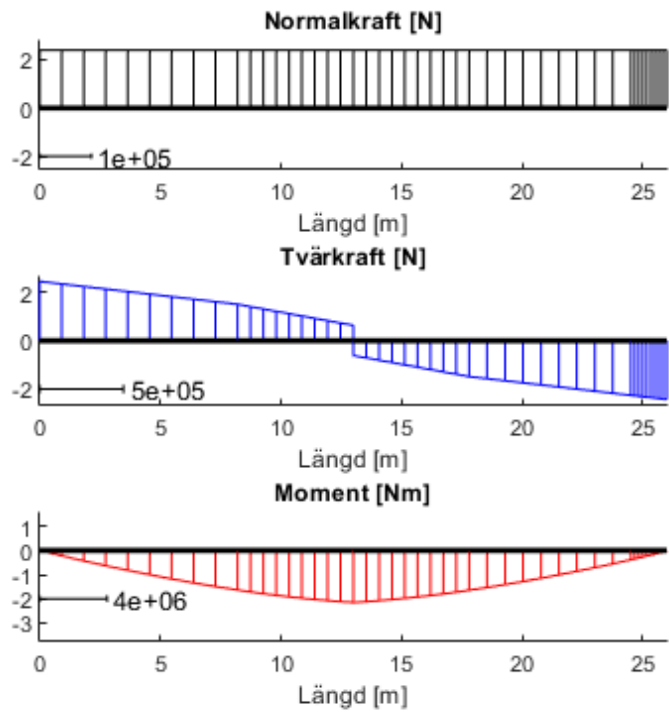
Lastfall 1 yz-planet



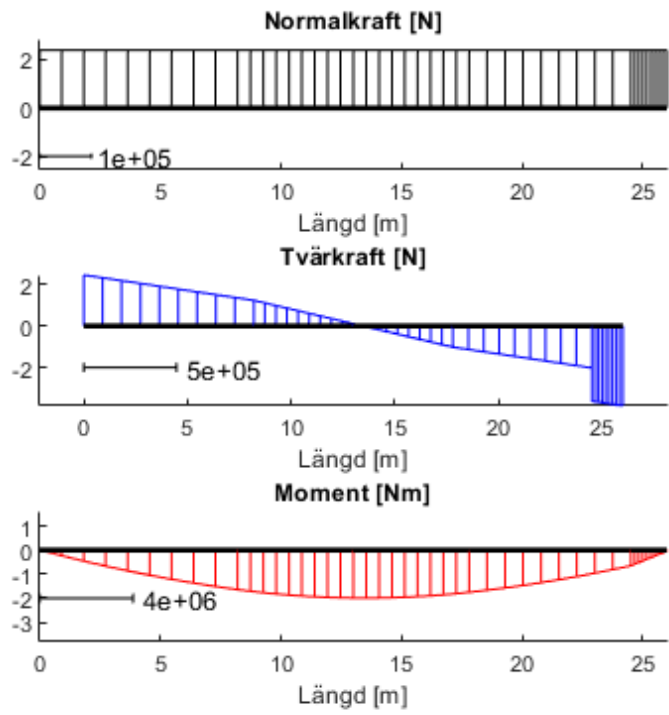
Lastfall 2 yz-planet



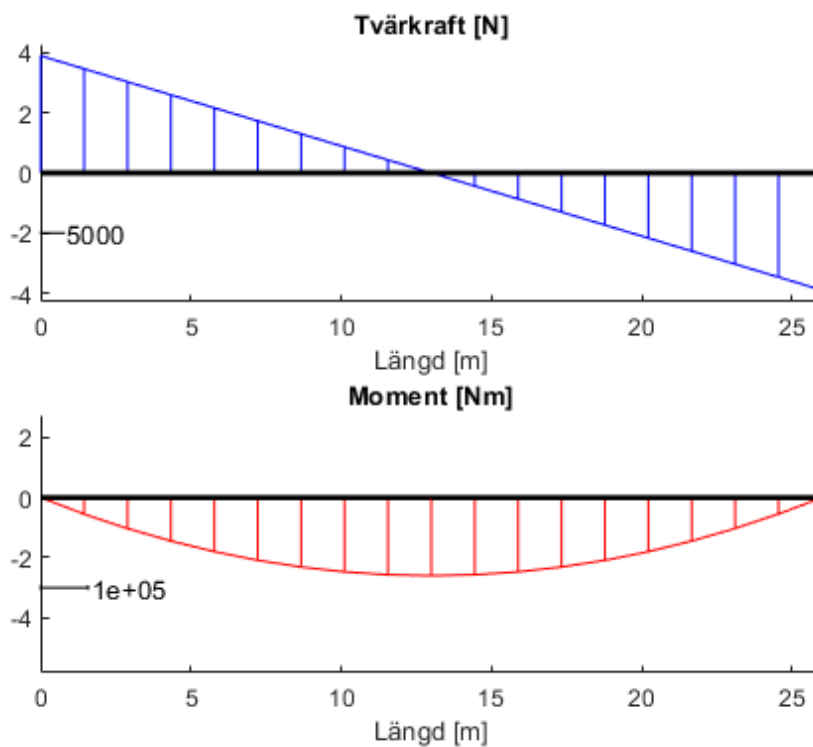
Lastfall 3 yz-planet



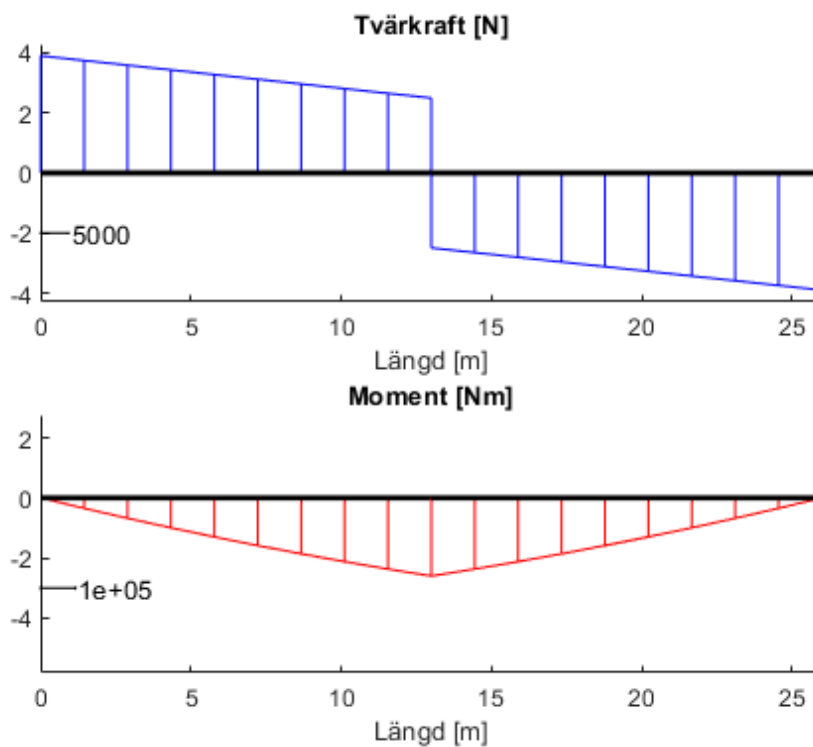
Lastfall 4 yz-planet



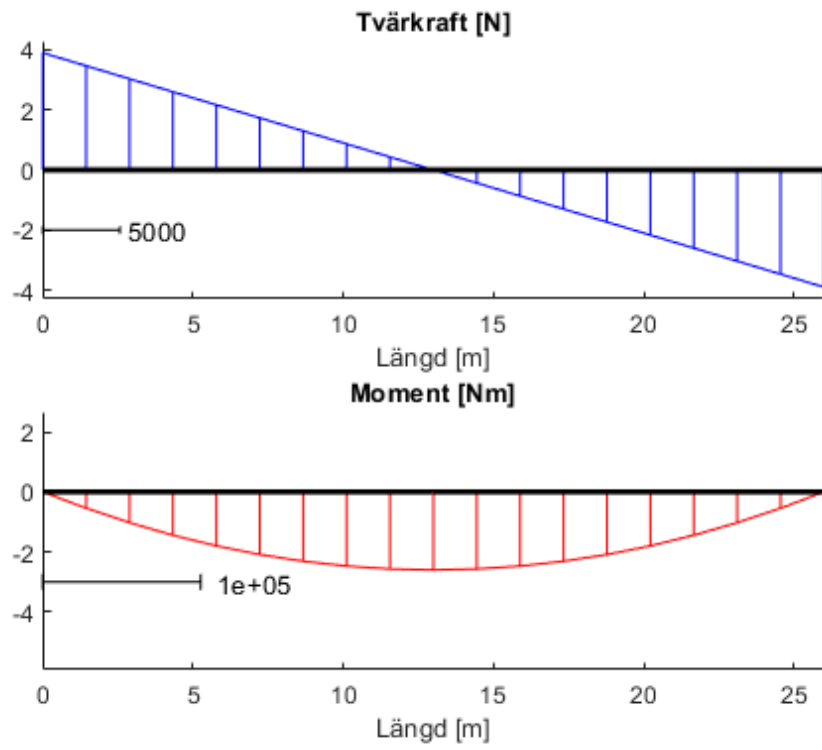
Lastfall 1 yx-planet



Lastfall 2 yx-planet



Lastfall 3 yx-planet



Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 13 - Funktion 1 Egentyngd

I följande MATLAB-kod har brons egentyngd beräknats.

```

function [G_l, G_l_u]=Funktion_1(h)
% Funktion 1: Egentyngd
%-----
% Syfte
%   Beräkning av brons egentyngd i längsled
%
% Senast ändrad: 2021-05-04 av:
%   Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
%   William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann

% Referenser
% Ref. BK 1
% Författare = Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2013
% Titel = Bärande konstruktioner, Del 1
% Förlag = Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
%   konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg

% Ref. SIS 1991-1-1
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2002
% Titel = Laster på bärverk - ...
%   Del 1-1: Allmänna laster - Tunghet, egentyngd, ...
%   nyttig last för byggnader
% Nummer på standard = SS-EN 1991-1-1
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/32604>

% Ref. SIS 338
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2016
% Titel = Träkonstruktioner - Konstruktionsvirke - Hållfasthetsklasser
% Nummer på standard = SS-EN 338:2016
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/8022967>

% Ref. J.Andersson
% Kommunikation med brokonstruktör J.Andersson, Cowi, 20 april 2021
%-----
% Indata
h_g=0.1;           % [m]           Tvärsnittshöjd grus
L=26;             % [m]           Längd bro
b=2.52;          % [m]           Bredd bro
b_u=0.72;        % [m]           Bredd utbreddning bro
g=9.82;          % [m/s^2]       Tyngdacceleration

% Grus
Tunghet_g=16e3;   % [N/m^3]       Tunghet (tabell A.6 SIS 1991-1-1)
g_grus_l=b*h_g*Tunghet_g; % [N/m]         Egentyngd
g_grus_l_u=(2*b_u)*h_g*Tunghet_g; % [N/m]         Egentyngd för utbreddning

% Limträ, GL32K
rho_tra=430;      % [kg/m^3]       Densitet (tabell T2.5, BK 1)

```

```

Tunghet_t=rho_tra*g;           % [N/m^3]   Tungheten
g_tra_l=b*h*Tunghet_t;       % [N/m]   Egentyngd
g_tra_l_u=(2*b_u)*h*Tunghet_t;% [N/m]   Egentyngd för utbredning

% Stålstag
d=0.6;                        % [m]     CC mått
n_rader=3;                    % [-]    Antal rader
n_stag=((L/d)*n_rader)/L;     % [-]    Antal per meter
d_stag=0.02;                  % [m]    Diameter
A_stag=pi*d_stag^2/4;        % [m^2]  Area
rho_stal=7800;                % [kg/m^3] Densitet (S32, BK 1)
Tunghet_s=rho_stal*g;        % [N/m^3] Tunghet
% Egentyngd av trä som tas bort pga stag
g_hal_l=Tunghet_t*n_stag*A_stag*b; % [N/m]
% Egentyngd av trä som tas bort pga stag vid utbredning
g_hal_l_u=Tunghet_t*n_stag*A_stag*(2*b_u); % [N/m]
% Egentyngd för stålstag
g_stag_l=Tunghet_s*n_stag*A_stag*b; % [N/m]
% Egentyngd för stålstag utbredning
g_stag_l_u=Tunghet_s*n_stag*A_stag*(2*b_u); % [N/m]

% Mellanläggsplatta, lövträ
rho_lov=650;                  % [kg/m^3] Densitet (tabell 3, SIS 338)
Tunghet_lov=rho_lov*g;       % [N/m^3] Tunghet
n_plattor=2*n_stag;          % [-]    Antal per meter
h_m_platta=0.250;            % [m]    Höjd
b_m_platta=0.280;            % [m]    Bredd
t_m_platta=0.05;             % [m]    Tjocklek
% Egentyngd
g_m_plattor=Tunghet_lov*n_plattor* ...
                b_m_platta*h_m_platta*t_m_platta; % [N/m]

% Ankarplatta
d_a_platta=0.2;               % [m]    Diameter
A_a_platta=pi*d_a_platta^2/4; % [m^2]  Area
t_a_platta=0.02;              % [m]    Tjocklek
% Egentyngd
g_a_plattor=Tunghet_s*n_plattor*A_a_platta*t_a_platta; % [N/m]

% Räcke
g_racke=0.5e3; % [N/m] Egentyngd (J.Andersson)

% Total egentyngd [N/m]
G_l=g_grus_l+g_tra_l-g_hal_l+g_stag_l+g_m_plattor+g_a_plattor
+g_racke*2;
fprintf(' Egentyngd: G_l = %2.1f [kN/m] \n', G_l/1000)

% Total egentyngd utbredning [N/m]
G_l_u=g_grus_l_u+g_tra_l_u-g_hal_l_u+g_stag_l_u+g_racke*2;
fprintf(' Egentyngd utbredning: G_l_u = %2.1f [kN/m] \n',
        G_l_u/1000)
end

```

Bilaga 14 - Funktion 2 Vindlast

I denna bilaga redovisas beräkningsgången och MATLAB-koden för de antaganden som gjorts för vindlast beräkningen.

Vindlast, enligt (SIS, 2005)

Indata

$$h = 0,9 \text{ m}$$

$$b = 2,52 \text{ m}$$

$$b_u = 2 \cdot 0,72 \text{ m}$$

$$L = 26 \text{ m}$$

$$d = h \text{ m}$$

Brobaneplattans tvärsnittshöjd

Brobaneplattans bredd

Brobaneplattans maxbreddning

Brons totallängd

Brobaneplattans tvärsnittshöjd inkluderat "kantbalk"

Parametrar

$$\rho = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Luftens densitet, rekommenderat värde.

$$V_b = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Referensvindhastigheten enligt bilaga 4, tabell:4.1, ort:Varberg (TRVFS 2011:12, 2011)

$$C_e = 1,28$$

Exponeringsfaktorn $C_e = 1,28$ enligt figur 4.2, för terrängtyp:3, höjd från markytan $< 5\text{m}$.

$$C_{f,x} = 1,3$$

8.3.1(1) Formfaktor x-led. $C_{f,x} = C_{f,x,0} = 1,3$, normalfall: tvärsپänd plattbro, då man inte kan förutsätta att en bro har fri strömning över ändarna, då strömningen endast avböjs över överbyggnadens över- och undersida.

$$C_{f,z} = 0,9$$

8.3.3(1) Formfaktor z-led. Vindtunnelförsök ej utförda, därmed används detta rekommenderade värde.

Horisontella vindlast, x-led

$$C_x = C_e \cdot C_{f,x} = 1,664$$

$$A_{ref,x} = (d + 1,2) \cdot l = 57,2 \text{ m}^2$$

Formfaktorn i x-led

Enligt 8.3.1(1) för vägskyddsanordningar med öppna räcken och öppna barriärer på båda sidorna.

$$F_{w,x} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot C_x \cdot A_{ref,x} = 37,18 \text{ kN}$$

Horisontella vindlast, y-led

$$F_{w,y} = 0,25 \cdot F_{w,x} = 9,3 \text{ kN}$$

För vindkrafter mot överbyggnaden i y-riktningen är det rekommenderade värdet för en tvärsپänd plattbro 25% av vindlasten i x-riktningen.

Vertikala vindlast, z-led

$$C_z = C_e \cdot C_{f,z} = 1,152$$

$$A_{ref,z} = b \cdot l = 3,96 \text{ m}^2$$

Formfaktorn i z-led

Enligt 8.3.3(2), ekvation 8.3

$$F_{w,z} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot C_z \cdot A_{ref,z} = 1,782 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

```

function[Fw_x, Fw_y, Fw_z]=Funktion_2(h)
% Funktion 2: Vindlast
%-----
% [Fw_x, Fw_y, Fw_z]=Funktion_2(h)
%-----
%   Syfte
%   Beräkning av brons vindlaster i x, y och z riktning
%
%   Senast ändrad: 2021-05-04 av:
%   Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
%   William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann

% Ref. SS-EN 1991-1-4,
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2005
% Titel = Eurocode 1: Laster på bärverk-Del 1-4:
%   Allmänna laster - Vindlast
% Nummer på standard = SS-EN 1991-1-4
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/66459>

% Ref. TRVFS 2011:12
% Författare = Trafikverket
% År = 2011
% Titel = Trafikverkets författningssamling
% Ort = Borlänge
% ISSN 2000-5458
%-----
% Indata
b=2.52;      % [m] Brobaneplattans tvärsnittshöjd
b_u=2*0.72; % [m] Bredd max utbreddning båda sidor
L=26;       % [m] Total brolängd
l_u=9.6;    % [m] Längd utbreddning
h_k=0;      % [m] Höjd kantbalk
d=h+h_k;    % [m] (s.81, SS-EN 1991-1-4) Balkhöjd + ev.kantbalk

%Indata
% Luftens densitet, rekommenderat värde. (SS-EN 1991-1-4)
rho=1.25;   % [kg/m^3]
% Referensvindhastigheten ...
% (Bilaga 4, tabell: 4.1, ort: Varberg, TRVFS 2011:12)
V_b=25;     % [m/s]
% Exponeringsfaktorn Ce = 1:28 (figur 4.2 för terrängtyp: 3, ...
% höjd från markytan < 5m, SS-EN 1991-1-4)
C_e=1.28;   % [-]
% Formfaktor x-led. Cf;x = Cfx;0 = 1:3, normalfall: plattbro, ...
% där man inte kan förutsätta att en bro har fri strömning över ...
% ändarna, där strömningen endast avböjs över överbyggnadens ...
% över- och undersida. (8.3.1(1), SS-EN 1991-1-4)
C_fx=1.3;   % [-]
% Formfaktor z-led. Vindtunnelförsök ej utförda, därmed används ...
% detta rekommenderade värde. (8.3.3(1), SS-EN 1991-1-4)
C_fz=0.9;   % [-]

```

```

%Horisontell vindlast, x-led
C_x=C_e*C_fx; % [-] Formfaktorn i x-led
% För vägskyddsanordningar med öppna räcken och öppna barriärer ...
% på båda sidorna (8.3.1(1), SS-EN 1991-1-4)
A_ref_x=(d+1.2)*L; % [m^2]
% Vindlast x-led (ekv.8.2, SS-EN 1991-1-4)
Fw_x=1/2*rho*V_b^2*C_x*A_ref_x; % [N]

%Horisontell vindlast, y-led
Fw_y=0.25*Fw_x; % [N] (s.84, avsnitt 8.3.4, SS-EN 1991-1-4)

%Vertikal vindlast, z-led
C_z=C_e*C_fz; % [-] Formfaktorn i z-led
A_ref_z=(b_u+b)*1; % [m^2] (8.3.3(2), SS-EN 1991-1-4)
% Vindlast z-led (s.83, avsnitt 8.3.3, SS-EN 1991-1-4)
Fw_z=1/2*rho*V_b^2*C_z*A_ref_z; % [N/m]

fprintf(' Horisontell vindlast, x-led: Fw_x = %2.1f [kN] \n',
Fw_x/1000)
fprintf(' Horisontell vindlast, y-led: Fw_y = %2.1f [kN] \n',
Fw_y/1000)
fprintf(' Vertikal vindlast, z-led: Fw_z = %2.1f [kN/m] \n',
Fw_z/1000)
end

```

Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 15 - Funktion 3 Brottgränslaster

I följande MATLAB-kod redovisas beräkningen av laster i brottgränstillstånd.

```

function[Gd_h, Gd_h_u, Gd, Gd_u, q_fdl_h, q_fdl_h_u, q_fdl,
q_fdl_u,...
    Qd_serv_h, Qd_serv, Qd_flk_h, Qd_flk, Qd_vind_y_h, Qd_vind_y,...
    Qd_vind_x_h, Qd_vind_x]=...
    Funktion_3(~, G_l, G_l_u, Fw_x, Fw_y, ~)
% Funktion 3: Brottgränslaster
% -----
% Syfte
% Definera laster som verkar på bron samt tillhörande
% partialkoefficienter i brottsgränstillstånd.
%
% Senast ändrad: 2021-05-04
% Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
% William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
% -----
% Referenser
% Ref. SS-EN 1991-2
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2003
% Titel = Laster på bäververk - Del 2: Trafiklast på broar
% Nummer på standard = SS-EN 1991-2
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/34672>
%
% Ref. SS-EN 1990
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2002
% Titel = Grundläggande dimensioneringsrelger för bärverk
% Nummer på standard = SS-EN 1990
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/32603>
% -----
% Indata dimensioner
L=26; % [m] Brons spännvidd
b=2.52; % [m] Brobanans bredd
b_u=2*0.72; % [m] Brobanans bredd utbreddning
l_u= 9.6; % [m] Längden för utbreddningen

% Karakteristiska laster
q_fk=5*10^3; % [N/m^2] Jämnt utbredd last (SS-EN 1991-2)
q_fk_l= q_fk*b; % [N/m] Jämnt utbredd last längsled
q_fk_lu= q_fk*b_u; % [N/m] Jämnt utbredd last längsled utbreddning
% Servicefordon (SS-EN 1991-2)
Q_serv= 120*10^3; % [N]
% Horisontelllast (SS-EN 1991-2)
Q_flk=max([0.6*Q_serv, 0.1*(q_fk_l*L + q_fk_lu*l_u)]); % [N]

% Partialkoefficienter och reduktionstal
xi=0.85; % Egentyngd (SS-EN 1990, tabell A2.4)
psi_0_1=0; % Servicefordon (SS-EN 1990, tabell A2.2)
psi_0_2=0.4; % Jämnt utbredd last (SS-EN 1990, tabell A2.2)
psi_0_3=0.3; % Vindlast (SS-EN 1990, tabell A2.2)
gamma_G_o=1.35; % Egentyngd ogynnsam (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_G_g=0; % Egentyngd gynnsam (SS-EN 1990, tabell A2.4)

```

```

gamma_Q_o1=1.5; % Servicefordon ogynnsam (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_Q_g1=0; % Servicefordon gynnsam (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_Q_o2=1.35; % Jämnt utbredd last ogynnsam
                % (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_Q_g2=0; % Jämnt utbredd last gynnsam (SS-EN 1990, tabell
A2.4)
gamma_Q_o3=1.5; % Övriga laster ogynnsam (SS-EN 1990, tabell A2.4)
gamma_Q_g3=0; % Övriga laster gynnsam (SS-EN 1990, tabell A2.4)

% Skapar variabler för lastkombinering
Gd_h=gamma_G_o*G_l; % Egentyngd huvudlast
Gd_h_u=gamma_G_o*G_l_u; % Egentyngd huvudlast utbreddning
Gd=xi*Gd_h; % Egentyngd
Gd_u=xi*Gd_h_u; % Egentyngd utbreddning
q_fdl_h=gamma_Q_o2*q_fk_l; % Jämnt utbredd last huvudlast
q_fdl_h_u=gamma_Q_o2*q_fk_lu; % Jämnt utbredd last ...
                % huvudlast utbreddning
q_fdl=psi_0_2*gamma_Q_o2*q_fk_l; % Jämnt utbredd last
q_fdl_u=psi_0_2*gamma_Q_o2*q_fk_lu; % Jämnt utbredd last utbreddning
Qd_serv_h=gamma_Q_o1*Q_serv; % Service fordon huvudlast
Qd_serv=psi_0_1*gamma_Q_o1*Q_serv; % Service fordon
Qd_flk_h=gamma_Q_o1*Q_flk; % Horisontell last huvudlast
Qd_flk=psi_0_1*gamma_Q_o1*Q_flk; % Horisontell last
Qd_vind_y_h=gamma_Q_o3*Fw_y; % Vindlast y-led huvudlast
Qd_vind_y=psi_0_3*gamma_Q_o3*Fw_y; % Vindlast y-led
Qd_vind_x_h=gamma_Q_o3*Fw_x; % Vindlast x-led huvudlast
Qd_vind_x=psi_0_3*gamma_Q_o3*Fw_x; % Vindlast x-led
end

```

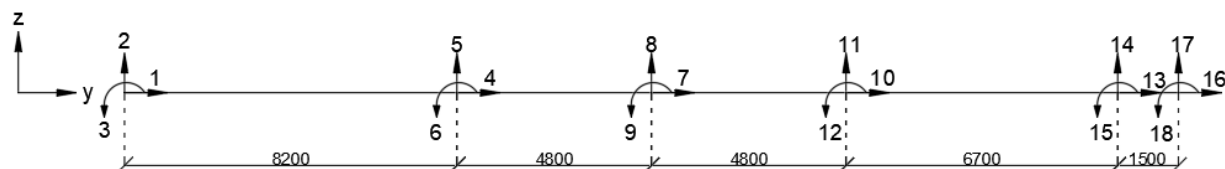
Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 16 - Funktion 4 Beräkning av lasteffekter i yz-planet

I denna bilaga redovisas beräkningen av reaktionskrafter, normalkrafter, tvärkrafter, moment samt tvärkraft för spännanordningen i yz-planet. För att kunna beräkna dessa krävs en beräkningsmodell som visas i figur 43.

Figur 43:

Beräkningsmodell för beräkningar av reaktionskrafter, normalkrafter, tvärkrafter, moment samt tvärkraft för spännanordningen i yz-planet

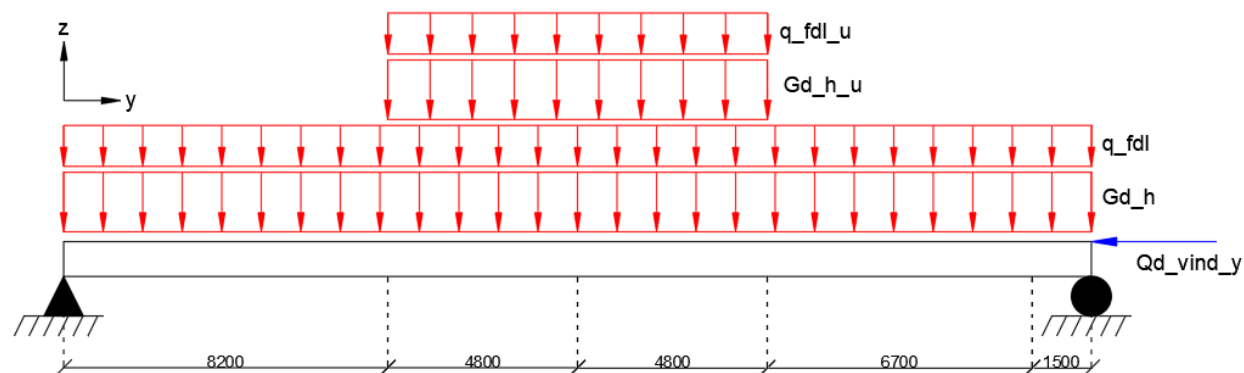


Kommentar. Författarnas egen bild.

Utifrån de tre olika lastkombinationerna som togs fram i tabell 6 skapas fyra stycken lastfall, se figur 44-47. Lastkombination 3 skapar två stycken lastfall på grund av att servicefordonet placeras på olika ställen. De horisontella krafterna verkar i brons ovankant och bidrar därmed till ett inre moment. Detta moment beräknats i kommande MATLAB kod där de infogas i nod 18 enligt figur 43.

Figur 44:

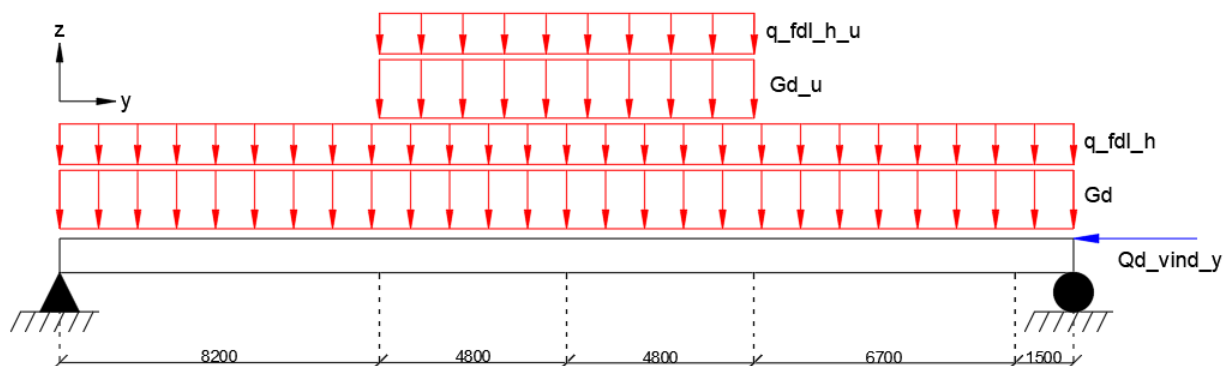
Lastfall 1, egentyngd huvudlast, jämnt utbredd last och horisontell vindlast är övriga laster



Kommentar. Författarnas egen bild.

Figur 45:

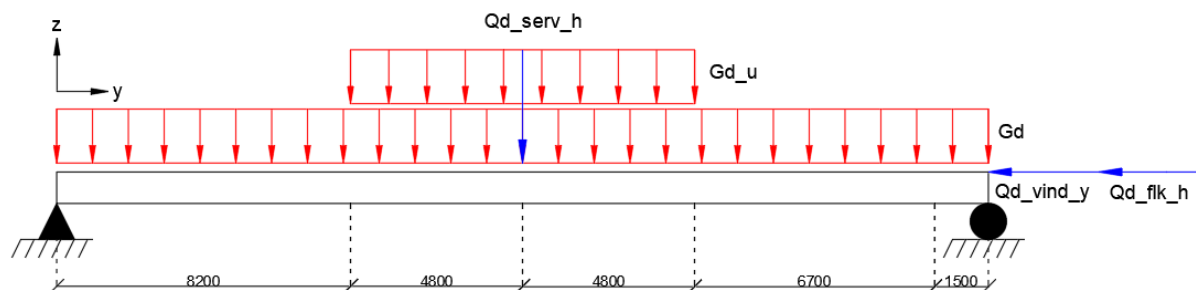
Lastfall 2, jämnt utbredd last huvudlast, egenvikt och horisontell vindlast är övriga laster



Kommentar. Författarnas egen bild.

Figur 46:

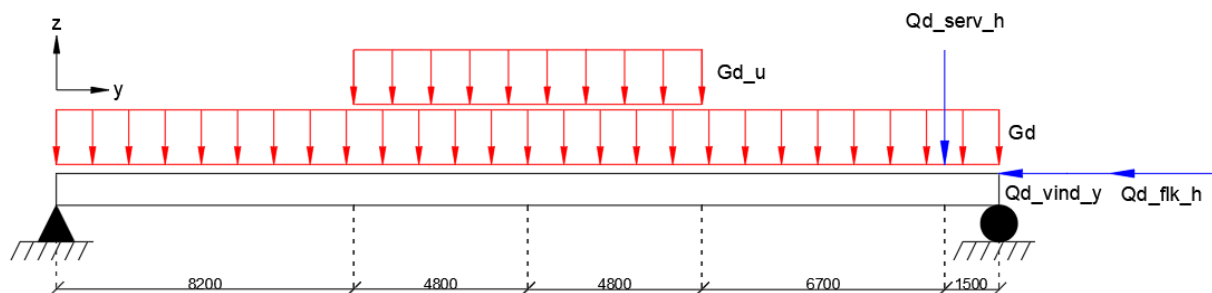
Lastfall 3, servicefordon huvudlast placerad på bronns mitt tillsammans med horisontell bromslast, egenvikt och horisontell vindlast är övriga laster



Kommentar. Författarnas egen bild.

Figur 47:

Lastfall 4, servicefordon huvudlast placerad på bronns ände tillsammans med horisontell bromslast, egenvikt och horisontell vindlast är övriga laster



Kommentar. Författarnas egen bild.

```

function [N_max, V_max, M_max, V_max_serv]=...
    Funktion_4(h, Gd_h, Gd_h_u, Gd, Gd_u,...
        q_fdl_h, q_fdl_h_u, q_fdl, q_fdl_u, Qd_serv_h,...
        Qd_flk_h, Qd_vind_y)
% Funktion 4: Normalkraft, tvärkraft och moment i yz-planet
%-----
% Syfte
% Beräkning av reaktionskrafter, max normalkraft, max tvärkraft,
% max moment samt max tvärkraft för stag i yz-planet med laster
% i z- och y-riktning.
%
% Senast ändrad: 2021-05-04 av:
% Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
% William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----

% Referenser
% Ref. BK 1
% Författare = Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2013
% Titel = Bärande konstruktioner, Del 1
% Förlag = Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
% konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg
%-----

% Indata Limträ GL32k
% Tvärsnittsegenskaper
E=11100e6; % [Pa] (tabell T2.5, BK 1) ...
% elasticitetsmodul limträ, bärförmågeberäkningar
b=0.090; % [m] Balkbredd
A=h*b; % [m^2] Area limträbalk
I=b*h^3/12; % [m^4] Yttröghetsmoment
L=26; % [m] Spännvidd
L_1=8.2; % [m] Längd till utbreddning
L_2=4.8; % [m] Längd halva utbreddning
L_3=6.7; % [m] Längd ubreddning till näst sista nod

% Laster
% Momenttillskott från horisontell last pga excentricitet ...
% av punktlast verkande i överkant bro
M_flk_h=Qd_flk_h*h/2;
% Momenttillskott från horisontell vindlast pga excentricitet ...
% av punktlast verkande i överkant bro
M_vind_y=Qd_vind_y*h/2;
% Topologimatrix
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];

% Upplagsvillkor, frit upplagd balk

```

```

bc=[1 0; 2 0; 17 0];

% Koordinatvektorer för elementen
ex=[0          L_1;          % Element 1
    L_1        L/2;         % Element 2
    L/2        L/2+L_2;     % Element 3
    L/2+L_2    L/2+L_2+L_3; % Element 4
    L/2+L_2+L_3 L];        % Element 5
ey=zeros(5,2);

% Vektor med elementens materialegenskaper
ep=[E A I];

% Definierar en matris för reaktionskrafter och maxvärden
reaktion=zeros(4,4);
Maxvarden=zeros(4,4);
Vmaxserv=zeros(4,1);

% Lastfall
% Loopar de 4 olika lastfallen
for i=1:4
% Definierar en styvhetsmatris K och en lastvektor f
K=zeros(18);
f=zeros(18,1);
    if i==1
% Lastfall 1, egentyngd huvudlast, jämnt utbredd last & vindlast ...
% Övrig last, ogynnsamma laster, gynnsam vindlast uppåt
        eq=[0 -Gd_h-q_fdl; 0 -Gd_h-Gd_h_u-q_fdl-q_fdl_u; ...
            0 -Gd_h-Gd_h_u-q_fdl-q_fdl_u; 0 -Gd_h-q_fdl; 0 -Gd_h-q_fdl];
        f(16)=-Qd_vind_y; % Horisontell punktlast från vind
        f(18)=M_vind_y;   % Momenttillskott av punktlast från vind
    elseif i==2
% Lastfall 2, jämnt utbredd last huvudlast, egentyngd & vindlast ...
% Övrig last, ogynnsamma laster, gynnsam vindlast uppåt
        eq=[0 -Gd-q_fdl_h; 0 -Gd-Gd_u-q_fdl_h-q_fdl_h_u; ...
            0 -Gd-Gd_u-q_fdl_h-q_fdl_h_u; 0 -Gd-q_fdl_h; 0 -Gd-q_fdl_h];
        f(16)=-Qd_vind_y; % Horisontell punktlast från vind
        f(18)=M_vind_y;   % Momenttillskott av punktlast från vind
    elseif i==3
% Lastfall 3, servicefordon huvudlast placerad i mitten, egentyngd ...
% & vindlast övrig last, ...
% ogynnsamma laster, gynnsam vindlast uppåt
        eq=[0 -Gd; 0 -Gd-Gd_u; 0 -Gd-Gd_u; 0 -Gd; 0 -Gd];
        % Horisontell punktlast från bromslast & vind
        f(16)=-Qd_flk_h-Qd_vind_y;
        % Momenttillskott av punktlast från bromslast & vind
        f(18)=M_flk_h+M_vind_y;
        f(8)=-Qd_serv_h; % Vertikal punktlast från servicefordon
    elseif i==4
% Lastfall 4, servicefordon huvudlast placerad vid kanten, egentyngd
% & vindlast övrig last, ogynnsamma laster, gynnsam vindlast uppåt
        eq=[0 -Gd; 0 -Gd-Gd_u; 0 -Gd-Gd_u; 0 -Gd; 0 -Gd];
        % Horisontell punktlast från bromslast & vind
        f(16)=-Qd_flk_h-Qd_vind_y;

```

```

        % Momenttillskott av punktlast från bromslast & vind
        f(18)=M_flk_h+M_vind_y;
        f(14)=-Qd_serv_h;    % Vertikal punktlast från servicefordon
    end

% Beräkning av styvhetsmatriser och lastvektorer
% Loopar för varje balkelement
    for n=1:5
        % Tar fram styvhetsmatris och lastvektor för varje balkelement
        [Ke,fe]=beam2e(ex(n,:),ey(n,:),ep,eq(n,:));
        % Assemblering till global styvhetsmatris och global lastvektor
        [K,f]=assem(Edof(n,:),K,Ke,f,fe);
    end

% Löser ekvationssystemet och beräknar förskjutningarna a [m] ...
% i noderna samt upplagskrafterna r [N]
[a,r]=solveq(K,f,bc);
% Samlar alla reaktionskrafter i en matris
reaktion(i,:)=[i r(1) r(2) r(17)];
Ed=extract(Edof,a);    % Elementkrafterna beräknas, [N]

% Loopar elementkrafter för varje element, samlar i en matris es
% Kolumn 1-3 för element 1 osv
% Normalkraft kolumn 1, tvärkraft kolumn 2 samt moment i kolumn 3
es=zeros(10,15); % Definierar matris för es
    for j=1:5
        [es(:,3*j-2:3*j)]=...
            beam2s(ex(j,:),ey(j,:),ep,Ed(j,:),eq(j,:),10);
    end

% Skapar en figur för varje lastfall
figure(i)
% Döper varje subplot till lastfall 1, 2, 3 osv
    if i==1
        sgtitle('Lastfall 1 yz-planet')
    elseif i==2
        sgtitle('Lastfall 2 yz-planet')
    elseif i==3
        sgtitle('Lastfall 3 yz-planet')
    elseif i==4
        sgtitle('Lastfall 4 yz-planet')
    end
hold on
% Plottar normalkraften för alla element
    for n=1:5
        subplot(3,1,1) % Placerar normalkraften överst i subplotten
        title('Normalkraft [N]') % Anger titel
        xlabel('Längd [m]')    % Anger namn på x-axeln
        plotpar=[1 1];        % Anger linjefärg
        % Anger skala på figurerna
        sfac2=scalfact2(ex(2,:),ey(2,:),es(:,(1)),0.5);
        % Ritar diagram, anger kolumn 1,4,7 osv för normalkraft
        eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(1+(n-1)*3)),plotpar,sfac2);
    end
% Anger skala på mätsticka

```

```

pltscalb2(sfac2, [((-6*i^3+45*i^2-93*i+56)/2)*10e3 0 -2], 1);

% Beräknar maximal normalkraft för alla element
Nmax=max(max([abs(es(:,1)), abs(es(:,4)), abs(es(:,7)), ...
    abs(es(:,10)), abs(es(:,13))])));

% Plottar tvärkraften för alla element
for n=1:5
    subplot(3,1,2) % Placerar tvärkraften i mitten av subplotten
    title('Tvärkraft [N]') % Anger titel
    xlabel('Längd [m]') % Anger namn på x-axeln
    plotpar=[2 1]; % Anger linjefärg
    % Anger skala på figurerna
    sfac2=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(:,(2)),0.3);
    % Ritar diagram, anger kolumn 2,5,8 osv för tvärkraft
    eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(2+(n-1)*3)),plotpar,sfac2);
end
pltscalb2(sfac2, [500e3 0 -2], 1); % Anger skala på mätsticka

% Beräknar dimensionerande tvärkraft för stag
Vmaxserv(i,:)=max([abs(es(10,5)),abs(es(1,8))]);
% Beräknar maximal tvärkraft för alla element
Vmax=max(max([abs(es(:,2)), abs(es(:,5)), abs(es(:,8)), ...
    abs(es(:,11)), abs(es(:,14))])));

% Plottar momentet för alla element
for n=1:5
    subplot(3,1,3) % Placerar moment längst ner i subplotten
    title('Moment [Nm]') % Anger titel
    xlabel('Längd [m]') % Anger namn på x-axeln
    plotpar=[4 1]; % Anger linjefärg
    % Anger skala på figurerna
    sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(:,3),0.2);
    % Ritar diagram, anger kolumn 3,6,9 osv för moment
    eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(3+(n-1)*3)),plotpar,sfac);
end
pltscalb2(sfac, [4e6 0 -2], 1); % Anger skala på mätsticka

% Beräknar maximalt moment för alla element
Mmax=max(max([abs(es(:,3)), abs(es(:,6)), abs(es(:,9)), ...
    abs(es(:,12)), abs(es(:,15))])));

% Skapar en matris med värden för maximal normalkraft, ...
% tvärkraft och moment för varje lastfall
Maxvarden(i,:)= [i Nmax Vmax Mmax];
end

% Plockar ut det maximala värdet för alla lastfall för normalkraft,
% tvärkraft, moment, tvärkraft för stag samt reaktionskrafter
N_max=max(Maxvarden(:,2));
V_max=max(Maxvarden(:,3));
M_max=max(Maxvarden(:,4));
R_max1=max(reaktion(:,3));
R_max2=max(reaktion(:,4));

```

```
V_max_serv=max(Vmaxserv);
% Skriver ut de dimensionerande värdena
fprintf(' Maximal normalkraft i lastfall 3 & 4: N_max = %2.1f [kN]
\n', N_max/1000)
fprintf(' Maximal tvärkraft i lastfall 2: V_max = %2.1f [kN] \n',
V_max/1000)
fprintf(' Maximal moment i lastfall 2: M_max = %2.1f [kNm] \n',
M_max/1000)
fprintf(' Reaktionskraft för stöd 1 lastfall 2: R_max = %2.1f [kN]
\n', R_max1/1000)
fprintf(' Reaktionskraft för stöd 2 lastfall 2: R_max = %2.1f [kN]
\n', R_max2/1000)
fprintf(' Maximal tvärkraft för spännanordning i lastfall 3:
V_max_serv = %2.1f [kN] \n', V_max_serv/1000)
end
```

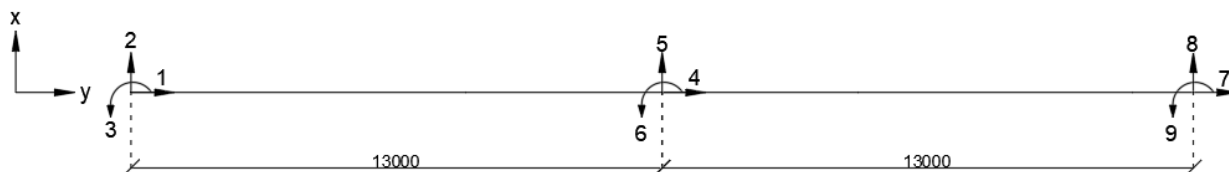
Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 17 - Funktion 5 Beräkning av lasteffekter i yx-planet

I denna bilaga redovisas beräkningen av reaktionskrafter, tvärkrafter och moment i yx-planet. För att kunna beräkna dessa krävs en beräkningsmodell som visas i figur 48.

Figur 48:

Beräkningsmodell för beräkningar av reaktionskrafter, tvärkrafter och moment i yx-planet

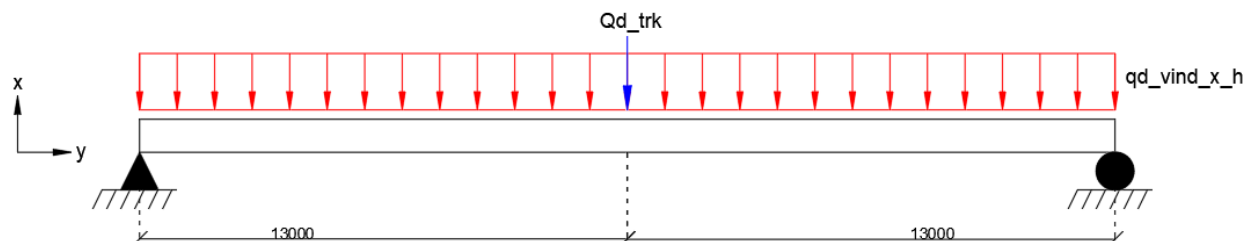


Kommentar. Författarnas egen bild.

Utifrån de två olika lastkombinationerna som togs fram i tabell 7 skapas tre stycken lastfall, se figur 49 till 51. Lastkombination 2 skapar två stycken lastfall på grund av att den bromslasten placeras på olika ställen.

Figur 49:

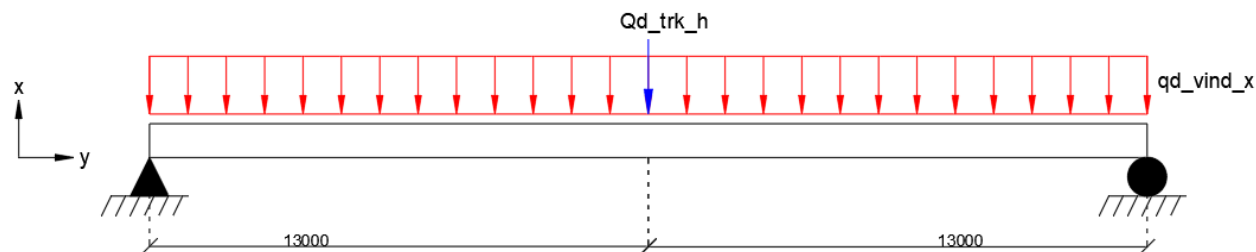
Lastfall 1, vindlast huvudlast, bromslast övrig last



Kommentar. Författarnas egen bild.

Figur 50:

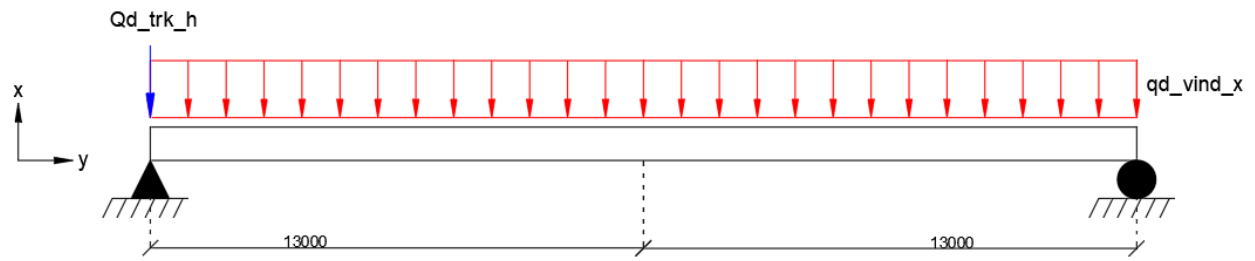
Lastfall 2, bromslast huvudlast placerad på mitten av bron, vindlast övrig last



Kommentar. Författarnas egen bild.

Figur 51:

Lastfall 3, bromslast huvudlast placerad på ena stödet av bron, vindlast övrig last



Kommentar. Författarnas egen bild.

För detaljerade beräkningar se följande MATLAB kod.

```

function [V_max_z, M_max_z, reaktion_z]=...
    Funktion_5(h,Qd_flk_h, Qd_flk, Qd_vind_x_h, Qd_vind_x)
% Funktion 5: Normalkraft, tvärkraft och moment i yx-planet
%-----
% Syfte
% Beräkning av reaktionskrafter, max tvärkraft och max moment i
% yx-planet med laster i x-riktningen.
%
% Senast ändrad: 2021-05-04 av:
% Marcus Iversen, Noora Khouilani, Sofie Skorsdal,
% William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----

% Referenser
% Ref. BK 1
% Författare = Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2013
% Titel = Bärande konstruktioner, Del 1
% Förlag = Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
% konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg
%-----

% Indata Limträ GL32k
% Tvärsnittsegenskaper
b=2.52; % [m] Balkbredd
E=11100e6; % [Pa] (tabell T2.5, BK 1) ...
% elasticitetsmodul limträ, bärförhållningar
A=h*b; % [m^2] Area limträbalk
I=b^3*h/12; % [m^4] Yttröghetsmoment
L=26; % [m] Spännvidd

% Laster
qd_vind_x_h=Qd_vind_x_h/L; % [N/m] Vindlast huvudlast
qd_vind_x=Qd_vind_x/L; % [N/m] Vindlast
Qd_trk_h=0.25*Qd_flk_h; % [N] Sidobromskraft huvudlast
Qd_trk=0.25*Qd_flk; % [N] Sidobromskraft

% Topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
      2 4 5 6 7 8 9];

% Upplagsvillkor, fritt upplagd balk
bc=[1 0; 2 0; 8 0];

% Koordinatvektorer för elementen
ex=[0 L/2; % Element 1
    L/2 L]; % Element 2
ey=zeros(2,2);

% Vektor med elementens materialegenskaper
ep=[E A I];

```

```

% Definierar en matris för reaktionskrafter och maxvärden
reaktion_z=zeros(3,4);
Maxvarden=zeros(2,3);

% Lastfall
% Loopar de 3 olika lastfallen
for i=1:3
% Definierar en styvhetsmatris K och en lastvektor f
K=zeros(9);
f=zeros(9,1);
    if i==1
        % Lastfall 1, vindlast huvudlast
        eq=[0 -qd_vind_x_h; 0 -qd_vind_x_h];
    elseif i==2
        % Lastfall 2, sidobromslast huvudlast placerad i mitten, ...
        % vindlast övrig last
        eq=[0 -qd_vind_x; 0 -qd_vind_x];
        f(5)=-Qd_trk_h; % Vertikal punktlast från sidobroms
    elseif i==3
        % Lastfall 3, sidobromslast huvudlast placerad vid stöd, ...
        % vindlast övrig last
        eq=[0 -qd_vind_x; 0 -qd_vind_x];
        f(2)=-Qd_trk_h; % Vertikal punktlast från sidobroms
    end

% Beräkning av styvhetsmatriser och lastvektorer
% Loopar för varje balkelement
for n=1:2
    % Tar fram styvhetsmatris och lastvektor för varje balkelement
    [Ke,fe]=beam2e(ex(n,:),ey(n,:),ep,eq(n,:));
    % Assemblering till global styvhetsmatris och global lastvektor
    [K,f]=assem(Edof(n,:),K,Ke,f,fe);
end

% Löser ekvationssystemet och beräknar förskjutningarna a[m] ...
% i noderna samt upplagskrafterna r[N]
[a,r]=solveq(K,f,bc);
% Samlar alla reaktionskrafter i en matris
reaktion_z(i,:)=[i r(1) r(2) r(8)];
Ed=extract(Edof,a); % Elementkrafterna beräknas, [N]

% Loopar elementkrafter för varje element, samlar i en matris
% Kolumn 1-3 för element 1 osv
% Normalkraft kolumn 1, tvärkraft kolumn 2 samt moment i kolumn 3
es=zeros(10,6); % Definierar matris för es
for j=1:2
    [es(:,3*j-2:3*j)]= ...
        beam2s(ex(j,:),ey(j,:),ep,Ed(j,:),eq(j,:),10);
end

% Skapar en figur för varje lastfall
figure(i+4) % i+4 pga figur 1-4 upptagen av tidigare funktion
% Döper varje subplot till lastfall 1, 2, 3
if i==1
    sgttitle('Lastfall 1 yx-planet')

```

```

        elseif i==2
            sgtitle('Lastfall 2 yx-planet')
        elseif i==3
            sgtitle('Lastfall 3 yx-planet')
        end
    end
    hold on

    % Plottar tvärkraften för alla element
    for n=1:2
        subplot(2,1,1) % Placerar tvärkraft överst i subplotten
        title('Tvärkraft [N]') % Anger titel
        xlabel('Längd [m]') % Anger namn på x-axeln
        plotpar=[2 1]; % Anger linjefärg
        % Anger skala på figurerna
        sfac2=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(:,(2)),0.3);
        % Ritar diagram, anger kolumn 2,5 för tvärkraft
        eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(2+(n-1)*3)),plotpar,sfac2);
    end
    pltscalb2(sfac2, [5e3 0 -2], 1); % Anger skala på mätsticka

    % Beräknar maximal tvärkraft för alla element
    Vmax=max(max([abs(es(:,2)),abs(es(:,5))])));

    % Plottar momentet för alla element
    for n=1:2
        subplot(2,1,2) % Placerar moment längst ner i subplotten
        title('Moment [Nm]') % Anger titel
        xlabel('Längd [m]') % Anger namn på x-axeln
        plotpar=[4 1]; % Anger linjefärg
        % Anger skala på figurerna
        sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(:,3),0.2);
        % Ritar diagram, anger kolumn 3,6,9 osv för moment
        eldia2(ex(n,:),ey(n,:),es(:,(3+(n-1)*3)),plotpar,sfac);
    end
    pltscalb2(sfac, [100000 0 -3], 1); % Anger skala på mätsticka

    % Beräknar maximalt moment för alla element
    Mmax=max(max([abs(es(:,3)),abs(es(:,6))])));

    % Skapar en matris med värden för tvärkraft och moment ...
    % för varje lastfall
    Maxvarden(i,:)=[i Vmax Mmax];
    end

    % Plockar ut det maximala värdet för alla lastfall för normalkraft,
    % tvärkraft, moment samt reaktionskrafter
    V_max_z=max(Maxvarden(:,2));
    M_max_z=max(Maxvarden(:,3));
    R_max_z_1=max(reaktion_z(:,3));
    R_max_z_2=reaktion_z(3,4);
    % Skriver ut de dimensionerande värdena
    fprintf(' Maximal tvärkraft i lastfall 1: V_max_z = %2.1f [kN] \n',
        V_max_z/1000)

```

```
fprintf(' Maximal moment i lastfall 2: M_max_z = %2.1f [kNm] \n',  
M_max_z/1000)  
fprintf(' Reaktionskraft för stöd 1 lastfall 3: R_max = %2.1f [kN]  
\n', R_max_z_1/1000)  
fprintf(' Reaktionskraft för stöd 2 lastfall 3: R_max = %2.1f [kN]  
\n', R_max_z_2/1000)  
end
```

Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 18 - Funktion 6 Bruksgränslaster

I följande MATLAB-kod redovisas beräkningen av laster i bruksgränstillstånd.

```

function[Gd_SLS, Gd_u_SLS, q_fdl_SLS, q_fdl_u_SLS, Qd_vind_z_SLS]= ...
    Funktion_6(~, G_l, G_l_u, ~, ~, Fw_z)
% Funktion 6: Bruksgränslaster
% -----
% Syfte:
% Definera laster som verkar på bron samt tillhörande
% partialkoefficienter i bruksgränstillstånd.
%
% Senast ändrad: 2021-05-04 av:
% Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
% William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
% -----

% Referenser
% Ref. SS-EN 1991-2
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2003
% Titel = Laster på bäververk - Del 2: Trafiklast på broar
% Nummer på standard = SS-EN 1991-2
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/34672>
%
% Ref. SS-EN 1990
% Författare: Svenska institutet för standarder
% År = 2002
% Titel = Grundläggande dimensioneringsrelger för bärverk
% Nummer på standard = SS-EN 1990
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/32603>
% -----
% Indata dimensioner
L=26; % [m] Brons spännvidd
b=2.52; % [m] Brobanans bredd
b_u=2*0.72; % [m] Brobanans bredd utbreddning
l_u= 9.6; % [m] Längden för utbreddningen

% Karakteristiska laster
q_fk=5*10^3; % [N/m^2] Jämnt utbredd last (SS-EN 1991-2)
q_fk_l= q_fk*b; % [N/m] Jämnt utbredd last längsled
q_fk_lu= q_fk*b_u; % [N/m] Jämnt utbredd last längsled utbreddning
q_fk_t= q_fk*L; % [N/m] Jämnt ubredd last tvärled
q_fk_tu= q_fk*l_u; % [N/m] Jämnt utbredd last tvärled utbreddning
% Servicefordonslast (SS-EN 1991-2)
Q_serv= 120*10^3; % [N]
% Horisontell last (SS-EN 1991-2)
Q_flk=max([0.6*Q_serv, 0.1*(q_fk_l*L + q_fk_lu*l_u)]); % [N]

% Partialkoefficienter och reduktionstal
% Lastreduktionstal för jämnt utbredd last (SS-EN 1990, tabell A2.2)
psi_1_2=0.4; % [-]
% Lastreduktionstal för vindlast (SS-EN 1990, tabell A2.2)
psi_1_3=0.2; % [-]

Gd_SLS=G_l; % [N/m] Egentyngd

```

```
Gd_u_SLS=G_l_u;           % [N/m] Egentyngd för utbreddningen
q_fdl_SLS=psi_1_2*q_fk_l; % [N/m] Jämnt utbredd last längsled
q_fdl_u_SLS=psi_1_2*q_fk_lu; % [N/m] Jämnt utbredd last längsled
                             % utbreddning
Qd_vind_z_SLS=psi_1_3*Fw_z; % [N/m] Vindslast z-led
end
```

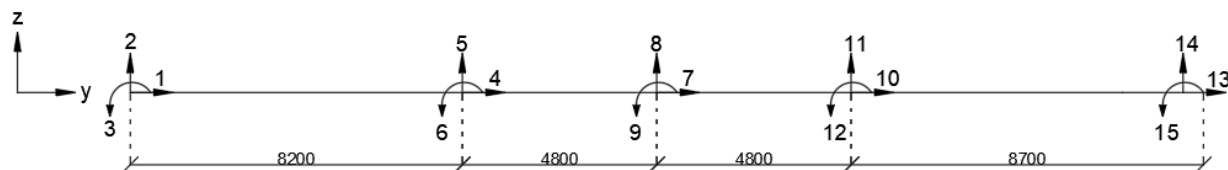
Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 19 - Funktion 7 Nedböjning

I denna bilaga redovisas beräkningen av nedböjningen i yz-planet. För att kunna beräkna de olika nedböjningarna i yz-planet krävs en beräkningsmodell som visas i figur 52.

Figur 52:

Beräkningsmodell för beräkning av nedböjning i yz-planet med laster i z-riktning

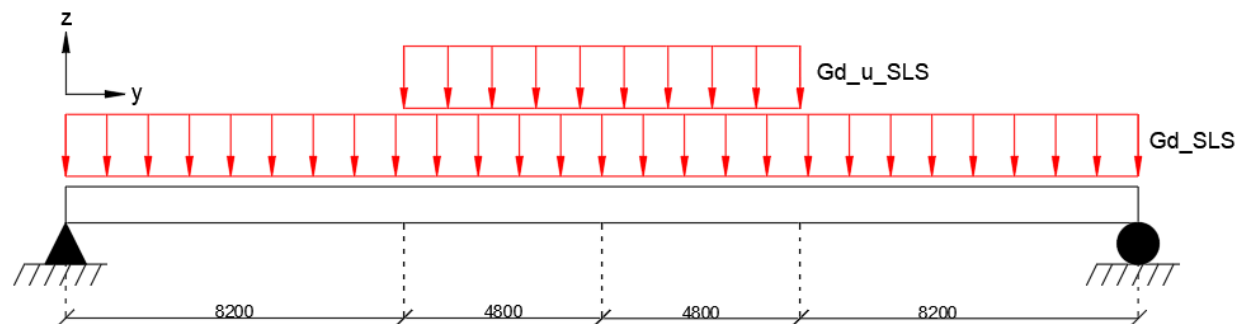


Kommentar. Författarnas egen bild.

Olika lastfall har tagits fram för att kunna beräkna de olika typerna av nedböjningar. Det första lastfallet i figur 53 symboliseras av den momentana nedböjningen på grund av egentynghden.

Figur 53:

Lastfall 1 för beräkning av momentan nedböjning på grund av egentynghden

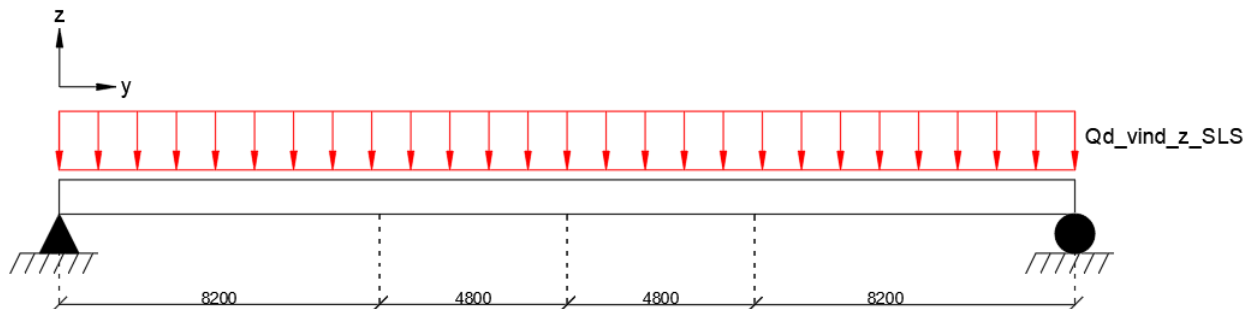


Kommentar. Författarnas egen bild.

Lastfall två och tre symboliserar de två olika kombinationerna som kan vara dimensionerande för nedböjningen på grund av variabel last. I figur 54 visas lastfallet för vindlast som variabel last och i figur 55 visas lastfallet då den jämnt utbredda lasten är variabel last.

Figur 54:

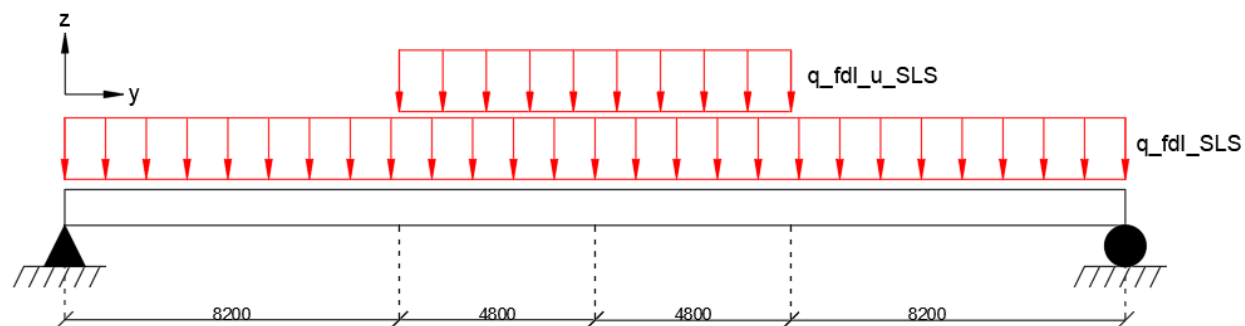
Lastfall 2 för beräkning av nedböjning på grund av vindlast



Kommentar. Författarnas egen bild.

Figur 55:

Lastfall 3 för beräkning av nedböjning på grund av jämnt utbredd last



Kommentar. Författarnas egen bild.

Totala nedböjningen beräknas sedan först genom att den momentana nedböjningen w_{inst} adderas med den momentana nedböjningen multiplicerat med långtidsdeformationskoefficienten, k_{def} . Sedan adderas det värsta lastfallet för de variabla lasterna. Se detaljerade beräkningar i följande MATLAB kod.

```

function [w_tot]=Funktion_7 ...
    (h, Gd_SLS, Gd_u_SLS, q_fdl_SLS, q_fdl_u_SLS, Qd_vind_z_SLS)
% Funktion 7: Nedböjning
%-----
% [w]=Funktion_7 ...
% (h, Gd_SLS, Gd_u_SLS, q_fdl_SLS, q_fdl_u_SLS, Qd_vind_z_SLS)
%-----
%     Syfte
%     Beräkning av initialnedböjning, långtidsnedböjning, variabel
%     nedböjning samt total nedböjning
%
%     Senast ändrad: 2021-05-04 av:
%     Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
%     William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----

% Referenser
% Ref. BK 1
% Författare = Al-ermani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2013
% Titel = Bärande konstruktioner, Del 1
% Förlag = Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
%     konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg

% Ref. Krav Brobyggande,
% Författare = Trafikverket
% År = 2019
% Titel = Krav Brobyggande
% Nummer på dokument = TDOK 2016:0204
% Url = <https://www.trafikverket.se/
contentassets/5e3d8c0eb4e94efd9738cca74b912bf5/krav-brobyggande.pdf>
%-----

% Indata Limträ GL32k
% Tvärsnittsegenskaper
b=2.52;           % [m]    Balkbredd
E=13700e6;       % [Pa]    (tabell T2.5, BK 1) ...
                % elasticitetsmodul limträ, deformationsberäkningar

A=h*b;           % [m^2]   Area limträbalk
I=b*h^3/12;      % [m^4]   Yttröghetsmoment
L=26;            % [m]     Spännvidd
l1=8.2;          % [m]     Längd till utbreddning
l2=4.8;          % [m]     Längd halva utbreddning
k_def=0.8;       % [-]     Långtidsdeformations konstant,
                %         Klimatklass 2, limträ (s.T36, BK 1)

% Topologimatrix
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];

```

```

% Upplagsvillkor, frit upplagd balk
bc=[1 0; 2 0; 14 0];

% Koordinatvektorer för elementen
ex=[0 l1;           % Element 1
    l1 L/2;        % Element 2
    L/2 L/2+l2;    % Element 3
    L/2+l2 L];    % Element 4
ey=zeros(4,2);

% Vektor med elementens materialegenskaper
ep=[E A I];

% Definierar en matris för nedböjning
wmax=zeros(3,1);

% Lastfall
% Loopar de 3 olika lastfallen
for i=1:3
% Definierar en styvhetsmatris K och en lastvektor f
K=zeros(15);
f=zeros(15,1);
    if i==1
        % Lastfall 1, egentyngd
        eq=[0 -Gd_SLS; 0 -Gd_SLS-Gd_u_SLS; ...
            0 -Gd_SLS-Gd_u_SLS; 0 -Gd_SLS];
    elseif i==2
        % Lastfall 2, vertikal vindlast
        eq=[0 -Qd_vind_z_SLS; 0 -Qd_vind_z_SLS; ...
            0 -Qd_vind_z_SLS; 0 -Qd_vind_z_SLS];
    elseif i==3
        % Lastfall 3, jämnt utbredd last
        eq=[0 -q_fdl_SLS; 0 -q_fdl_SLS-q_fdl_u_SLS; ...
            0 -q_fdl_SLS-q_fdl_u_SLS; 0 -q_fdl_SLS];
    end

% Beräkning av styvhetsmatriser och lastvektorer
% Loopar för varje balkelement
for n=1:4
    % Tar fram styvhetsmatris och lastvektor för varje balkelement
    [Ke,fe]=beam2e(ex(n,:),ey(n,:),ep,eq(n,:));
    % Assemblering till global styvhetsmatris och global lastvektor
    [K,f]=assem(Edof(n,:),K,Ke,f,fe);
end

% Löser ekvationssystemet och
% beräknar förskjutningarna a [m] i noderna
[a,~]=solveq(K,f,bc);
Ed=extract(Edof,a); % Elementkrafterna beräknas, [N]

% Loopar förskjutningar för varje element, samlar i en matris edi
% Kolumn 1-2 för element 1 osv
% Horisontel förskjutning i kolumn 1, Vertikal förskjutning i kolumn 2
edi=zeros(10,8); % Definierar matris för edi
for j=1:4

```

```

        [~,edi(:,2*j-1:2*j),~]= ...
            beam2s(ex(j,:),ey(j,:),ep,Ed(j,:),eq(j,:),10);
    end

% Beräknar maximal nedböjning för alla element
wmax(i)=max(max([abs(edi(:,2)), abs(edi(:,4)), ...
    abs(edi(:,6)), abs(edi(:,8))])));
end

% Beräknar totalnedböjning
w_tot=wmax(1)*(1+k_def)+wmax(3);

% Kontrollerar kravet på nedböjning (Krav Brobyggande B.3.4.2.2)
if (wmax(3) <= L/400)
    fprintf('  Kravet på nedböjningen av variabla laster (w <
L/400) uppfylls, OK!\n\n')
elseif (wmax(3) > L/400)
    fprintf('  Kravet på nedböjningen av variabla laster (w <
L/400) uppfylls ej, INTE OK!\n\n')
end

% Skriver ut de dimensionerande värdena
fprintf('  Initialnedböjning: %2.2f mm\n', (wmax(1))*1000)
fprintf('  Nedböjning pga långtidseffekter: %2.2f mm\n',
    ((wmax(1))*k_def)*1000)
fprintf('  Nedböjning pga variabla laster: %2.2f mm\n',
    (wmax(3))*1000)
fprintf('  Total nedböjning: %2.2f mm\n', w_tot*1000)
end

```

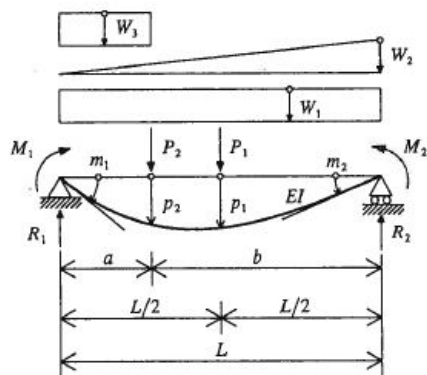
Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 20 - Funktion 8 Kontroll av nedböjning

I följande MATLAB-kod genomförs en kontroll av nedböjningsberäkningen med hjälp av elementarfall.

Figur 56:

B.1 Jämnstyv balk. Tvåsidig fri uppläggning.



Snittmomentet under P_1 av M_1 , M_2 , P_1 , W_1 , W_2 är

$$\frac{M_1}{2} + \frac{M_2}{2} + \frac{P_1 L}{4} + \frac{W_1 L^2}{8} + \frac{W_2 L^2}{16}$$

Snittmomentet under P_2 av P_2 är $\frac{P_2 a b}{L}$

$$A = \begin{cases} \frac{aL^2}{48EI} \left(3 - \frac{4a^2}{L^2} \right) & \text{för } a \leq \frac{L}{2} \\ \frac{bL^2}{48EI} \left(3 - \frac{4b^2}{L^2} \right) & \text{för } a \geq \frac{L}{2} \end{cases}$$

	$M_1 \cdot$	$M_2 \cdot$	$P_1 \cdot$	$P_2 \cdot$	$W_1 \cdot$	$W_2 \cdot$	$W_3 \cdot$
$R_1 =$	$-\frac{1}{L}$	$\frac{1}{L}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{b}{L}$	$\frac{L}{2}$	$\frac{L}{6}$	$a \left(1 - \frac{a}{2L} \right)$
$R_2 =$	$\frac{1}{L}$	$-\frac{1}{L}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{a}{L}$	$\frac{L}{2}$	$\frac{L}{3}$	$\frac{a^2}{2L}$
$m_1 =$	$\frac{L}{3EI}$	$\frac{L}{6EI}$	$\frac{L^2}{16EI}$	$\frac{bL}{6EI} \left(1 - \frac{b^2}{L^2} \right)$	$\frac{L^3}{24EI}$	$\frac{7L^3}{360EI}$	$\frac{a^2 L}{24EI} \left(2 - \frac{a}{L} \right)^2$
$m_2 =$	$\frac{L}{6EI}$	$\frac{L}{3EI}$	$\frac{L^2}{16EI}$	$\frac{aL}{6EI} \left(1 - \frac{a^2}{L^2} \right)$	$\frac{L^3}{24EI}$	$\frac{L^3}{45EI}$	$\frac{a^2 L}{24EI} \left(2 - \frac{a^2}{L^2} \right)$
$p_1 =$	$\frac{L^2}{16EI}$	$\frac{L^2}{16EI}$	$\frac{L^3}{48EI}$	A	$\frac{5L^4}{384EI}$	$\frac{5L^4}{768EI}$	-
$p_2 =$	$\frac{bL}{6EI} \left(1 - \frac{b^2}{L^2} \right)$	$\frac{aL}{6EI} \left(1 - \frac{a^2}{L^2} \right)$	A	$\frac{a^2 b^2}{3EI}$	$\frac{aL^3}{24EI} \left(1 - \frac{2a^2}{L^2} + \frac{a^3}{L^3} \right)$	$\frac{aL^3}{360EI} \left(7 - \frac{10a^2}{L^2} + \frac{3a^4}{L^4} \right)$	-

Kommentar. Hämtad från Diverse utdrag för kursen Bärande konstruktioner BMT015 2008. Institutionen för bygg- och miljöteknik. Avdelningen för konstruktionsteknik. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 2008.

```

function[w]=Funktion_8 ...
    (h, Gd_SLS, Gd_u_SLS, q_fdl_SLS, q_fdl_u_SLS, ~)
% Funktion 8: Kontroll av nedböjning, elementarfall
%-----
%   Syfte:
%   Kontroll av nedböjningen med hjälp av elementarfall
%
%   Senast ändrad: 2021-05-04 av:
%   Marcus Iversen, Noora Khoualani, Sofie Skorsdal,
%   William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----

% Referenser
% Ref. BK 1
% Författare = Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2013
% Titel = Bärande konstruktioner, Del 1
% Förlag = Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
%   konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg

% Ref. Krav Brobyggande,
% Författare = Trafikverket
% År = 2019
% Titel = Krav Brobyggande
% Nummer på dokument = TDOK 2016:0204
% Url = <https://www.trafikverket.se/
contentassets/5e3d8c0eb4e94efd9738cca74b912bf5/krav-brobyggande.pdf>
% -----
% Indata
L=26;           % [m] Brons spännvidd
b=2.52;        % [m] Brobanans bredd
l_u= 9.6;      % [m] Längden för utbredningen
E=13700e6;    % [Pa] E_mean (BK 1 s.T31)
I=b*h.^3/12;  % [m^4] Yttröghetsmoment
k_def=0.8;    % [-] Långtidsdeformations konstant,
              %   Klimatklass 2, limträ (s.T36, BK 1)

% Elementarfall: Nedböjning på en fritt upplagd balk
% Räknar om jämnt utbredda lasten för utbredningen som punktlast
P1_u=q_fdl_u_SLS*l_u;      % [N]
% Räknar om egentynghden för utbredningen som punktlast
P1=Gd_u_SLS*l_u;          % [N]

% Nedböjningstillskott från brons egentynghd
w1=Gd_SLS*5*L.^4/(384*E*I); % [m]
% Nedböjningstillskott från utbredningens egentynghd
w2=P1*L.^3/(48*E*I);       % [m]
% Nedböjningstillskott från jämnt utbreddlast
w3=q_fdl_SLS*5*L.^4/(384*E*I); % [m]
% Nedböjningstillskott från jämnt utbredd last på utbredningen
w4=P1_u*L.^3/(48*E*I);    % [m]

```

```
% Total nedböjning inklusive långtidseffekter
w=(w1+w2)*(1+k_def)+w3+w4; % [m]

% Kontrollerar kravet på nedböjning (Krav Brobyggande B.3.4.2.2)
    if (w3+w4 <= L/400)
        fprintf('  Kravet på nedböjningen av variabla laster (w <
1/400) uppfylls, OK!\n\n')
    elseif (w3+w4 > L/400)
        fprintf('  Kravet på nedböjningen av variabla laster (w <
1/400) uppfylls ej, INTE OK!\n\n')
    end

fprintf('  Initialnedböjning: %2.2f mm\n', (w1+w2)*1000)
fprintf('  Nedböjning pga långtidseffekter: %2.2f mm\n',
((w1+w2)*k_def)*1000)
fprintf('  Nedböjning pga variabla laster: %2.2f mm\n', (w3+w4)*1000)
fprintf('  Total nedböjning: %2.2f mm\n', w*1000)

end
```

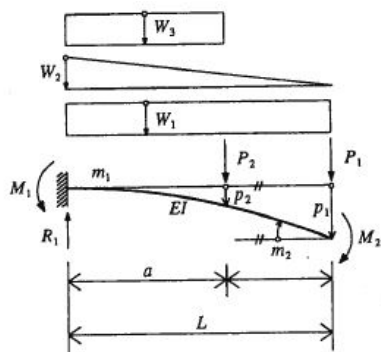
Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 21 - Funktion 9 Beräkning av laster från konsol

I följande MATLAB-kod beräknas lasterna från utbreddningen som en konsol med hjälp av elementarfall.

Figur 57:

B.2 Jämnstyv balk. Fast inspänd konsol.



	P_1	P_2	M_2	W_1	W_2	W_3
$R_1 =$	1	1	0	L	$\frac{L}{2}$	a
$M_1 =$	L	a	1	$\frac{L^2}{2}$	$\frac{L^2}{6}$	$\frac{a^2}{2}$
$p_1 =$	$\frac{L^3}{3EI}$	$\frac{a^2L}{2EI} \left(1 - \frac{a}{3L}\right)$	$\frac{L^2}{2EI}$	$\frac{L^4}{8EI}$	$\frac{L^4}{30EI}$	$\frac{a^3L}{24EI} \left(4 - \frac{a}{L}\right)$
$p_2 =$	$\frac{a^2L}{2EI} \left(1 - \frac{a}{3L}\right)$	$\frac{a^3}{3EI}$	$\frac{a^2}{2EI}$	$\frac{a^2L^2}{24EI} \left(6 - \frac{4a}{L} + \frac{a^2}{L^2}\right)$	$\frac{a^2L^2}{24EI} \left(10 - \frac{10a}{L} + \frac{5a^2}{L^2} - \frac{a^3}{L^3}\right)$	$\frac{a^4}{8EI}$
$m_2 =$	$\frac{L^2}{2EI}$	$\frac{a^2}{2EI}$	$\frac{L}{EI}$	$\frac{L^3}{6EI}$	$\frac{L^3}{24EI}$	$\frac{a^3}{6EI}$

Kommentar. Hämtad från Diverse utdrag för kursen Bärande konstruktioner BMT015 2008. Institutionen för bygg- och miljöteknik. Avdelningen för konstruktionsteknik. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 2008.

```

function[M_serv, R_serv, M_utbredd, R_utbredd, M_egen, R_egen]= ...
    Funktion_9(~, ~, ~, ~, Gd_u, ~, q_fdl_h_u, ~, ...
    ~, Qd_serv_h, ~, ~, ~, ~, ~)
% Funktion 9: Utbreddningen som en konsol, elementarfall
%-----
%   Syfte:
%   Beräkning av utbreddningens påverkan som en konsol,
%   elementarfall, analys för vippning
%
%   Senast ändrad: 2021-05-04 av:
%   Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
%   William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----

% Indata
b_u=0.72;           % [m] Utbreddningens bredd, konsolens längd
a=b_u-1;           % [m] Avståndet från brobaneplattan till
                    %   service fordonets tyngdpunkt
P2=Qd_serv_h;      % [N] Servicefordonslasten
Wle=Gd_u/2;         % [N] Egentyngd
Wlu=q_fdl_h_u/2;   % [N] Jämnt utbredd last
L=b_u;             % [m] Konsolbalkens längd

% Elementarfall: Stödmoment och stödreaktioner för en konsolbalk

% Stödmoment för fallet med servicefordon som huvudlast
M_serv=P2*a+Wle*L.^2/2; % [Nm]
% Stödreaktion för fallet med servicefordon som huvudlast
R_serv=P2+Wle*L;       % [N]

% Stödmoment för fallet med jämnt utbredd last som huvudlast
M_utbredd=Wle*L.^2/2+Wlu*L.^2/2; % [Nm]
% Stödreaktion för fallet med jämnt utbredd last som huvudlast
R_utbredd=Wle*L+Wlu*L; % [N]

% Stödmoment för fallet då enbart egentyngd verkar på konsolen
M_egen=Wle*L.^2/2; % [Nm]
% Stödreaktion för fallet då enbart egentyngd verkar på konsolen
R_egen=Wle*L; % [N]
end

```

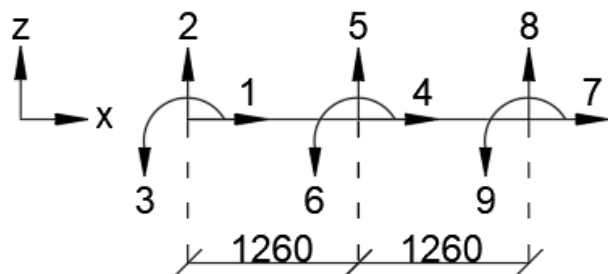
Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 22 - Funktion 10 Kontroll av vippning

I denna bilaga redovisas beräkningen av reaktionskrafter i xz -planet. För att kunna beräkna dessa krävs en beräkningsmodell som visas i figur 58.

Figur 58:

Beräkningsmodell för beräkning av vippning i xz -planet

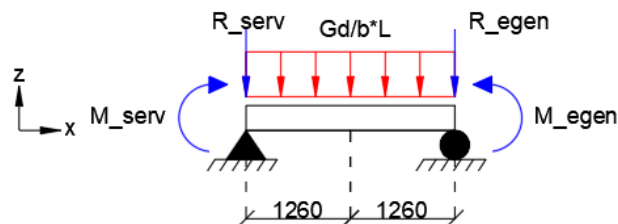


Kommentar. Författarnas egen bild.

Det första lastfallet som utretts är när servicefordonet placeras på ena sidan av bronns utbreddning och visas i figur 59.

Figur 59:

Lastfall 1, Servicefordon verkande på ena utbreddningen, egentygnd på andra sidan

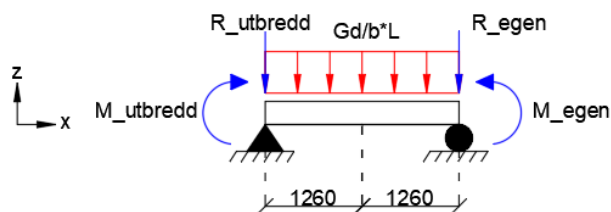


Kommentar. Författarnas egen bild.

Det andra lastfallet som utretts är när den jämnt utbredda lasten placeras på ena sidan av bronns utbreddning och visas i figur 60.

Figur 60:

Lastfall 2, jämnt utbredd last verkande på ena utbreddningen, egentygnd på andra sidan

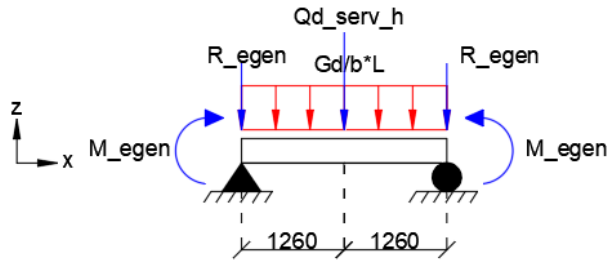


Kommentar. Författarnas egen bild.

Det tredje lastfallet som utretts är när servicefordonet placeras på mitten av bron och visas i figur 61.

Figur 61:

Lastfall 3 servicefordon verkande på mitten av på bron, egentygnd på båda utbreddningarna



Kommentar. Författarnas egen bild.

Reaktionskrafterna för följande lastfall beräknas detaljerad i följande MATLAB-kod där vippningsrisken kontrolleras.

```

function [reaktion]=Funktion_10(h, Gd, Qd_serv_h, ...
    M_serv, R_serv, M_utbredd, R_utbredd, M_egen, R_egen)
% Funktion 10: Kontroll av vippning
%-----
%   Syfte
%   Beräkning av reaktionskrafter och kontroll av vippning
%
%   Senast ändrad: 2021-05-04 av:
%   Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
%   William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----

% Referenser
% Ref. BK 1
% Författare = Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2013
% Titel = Bärande konstruktioner, Del 1
% Förlag = Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
%   konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg
%-----
% Indata Limträ GL32k
% Tvärsnittsegenskaper
b=2.52;      % [m]   Balkbredd
E=11100e6;  % [Pa]   (tabell T2.5, BK 1) ...
            % elasticitetsmodul limträ, bärförmågeberäkningar
A=h*b;      % [m^2]  Area limträbalk
I=b*h^3/12; % [m^4]  Yttröghetsmoment
L=26;      % [m]   Spännvidd

% Topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
      2 4 5 6 7 8 9];

% Upplagsvillkor, fritt upplagd balk
bc=[1 0; 2 0; 8 0];

% Koordinatvektorer för elementen
ex=[0 b/2; % Element 1
    b/2 b]; % Element 2
ey=zeros(2,2);

% Vektor med elementens materialegenskaper
ep=[E A I];

% Definierar en matris för reaktionskrafter och maxvärden
reaktion=zeros(3,4);

% Lastfall
% Loopar de 3 olika lastfallen
for i=1:3
% Definierar en styvhetsmatris K och en lastvektor f

```

```

K=zeros(9);
f=zeros(9,1);
  if i==1
    % Lastfall 1, Servicefordon huvudlast placerad på konsol, ...
    % egentygnd övrig last, gynnsam vindlast uppåt
    eq=[0 -Gd/b*L; 0 -Gd/b*L ];
    f(2)=-R_serv; % Vertikal punktlast från konsol vänster sida
    f(3)=M_serv; % Moment från konsol vänster sida
    f(8)=-R_egen; % Vertikal punktlast från konsol höger sida
    f(9)=-M_egen; % Moment av punktlast från konsol höger sida
  elseif i==2
    % Lastfall 2, utbredd last huvudlast placerad på konsol, ...
    % egentygnd övrig last, gynnsam vindlast uppåt
    eq=[0 -Gd/b*L; 0 -Gd/b*L ];
    f(2)=-R_utbredd; % Vertikal punktlast från konsol vänster sida
    f(3)=M_utbredd; % Moment från konsol vänster sida
    f(8)=-R_egen; % Vertikal punktlast från konsol höger sida
    f(9)=-M_egen; % Moment av punktlast från konsol höger sida
  elseif i==3
    % Lastfall 3, Servicefordon huvudlast placerad på mitten, ...
    % egentygnd övrig last, gynnsam vindlast uppåt
    eq=[0 -Gd/b*L; 0 -Gd/b*L ];
    f(2)=-R_egen; % Vertikal punktlast från konsol vänster sida
    f(3)=M_egen; % Moment från konsol vänster sida
    f(5)=-Qd_serv_h; % Vertikal punktlast från servicefordon
    f(8)=-R_egen; % Vertikal punktlast från konsol höger sida
    f(9)=-M_egen; % Moment av punktlast från konsol höger sida
  end

% Beräkning av styvhetsmatriser och lastvektorer
% Loopar för varje balkelement
  for n=1:2
    % Tar fram styvhetsmatris och lastvektor för varje balkelement
    [Ke,fe]=beam2e(ex(n,:),ey(n,:),ep,eq(n,:));
    % Assemblering till global styvhetsmatris och global lastvektor
    [K,f]=assem(Edof(n,:),K,Ke,f,fe);
  end

% Löser ekvationssystemet och beräknar upplagskrafterna r[N]
[~,r]=solveq(K,f,bc);
% Samlar alla reaktionskrafter i en matris
reaktion(i,:)=[i*10^6 r(1) r(2) r(8)];
end

% Plockar ut det värdet på reaktionskraften vid stöd 2 ...
% för alla lastfall
R_1=(reaktion(1,4)); % Lastfall 1
R_2=(reaktion(2,4)); % Lastfall 2
R_3=(reaktion(3,4)); % Lastfall 3

% Kontrollerar vippning för alla lastfall
  if (R_1 > 0)
    fprintf(' Reaktionskraften vid stöd två för lastfall 1 är
riktad uppåt, OK!\n')
    fprintf(' R_1 = %2.1f [kN]\n', R_1/1000)
  end

```

```
elseif (R_1 < 0)
    fprintf(' Reaktionskraften vid stöd två för lastfall 1 är
riktad nedåt, INTE OK! R_1 = %2.1f [kN]\n', R_1/1000)
end
if (R_2 > 0)
    fprintf(' Reaktionskraften vid stöd två för lastfall 2 är
riktad uppåt, OK!\n')
    fprintf(' R_2 = %2.1f [kN]\n', R_2/1000)

elseif (R_2 < 0)
    fprintf(' Reaktionskraften vid stöd två för lastfall 2 är
riktad nedåt, INTE OK! R_2 = %2.1f [kN]\n', R_2/1000)
end
if (R_3 > 0)
    fprintf(' Reaktionskraften vid stöd två för lastfall 3 är
riktad uppåt, OK!\n')
    fprintf(' R_3 = %2.1f [kN]\n', R_3/1000)
elseif (R_3 < 0)
    fprintf(' Reaktionskraften vid stöd två för lastfall 3 är
riktad nedåt, INTE OK! R_3 = %2.1f [kN]\n', R_3/1000)
end
end
```

Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 23 - Funktion 11 Kontroll av vibrationer

I följande MATLAB-kod kontrolleras de dynamiska effekterna som bron utsätts för.

```

function [f_l_x, f_l_y] = Funktion_11(h, G_l, G_l_u)
% Funktion 11: Kontroll av vibrationer
%-----
% Syfte
%   Kontroll av dynamiska effekter från gångtrafik
%
% Senast ändrad: 2021-05-04 av:
%   Marcus Iversen, Noora Khoualani, Sofie Skorsdal,
%   William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----

% Referenser
% Ref. SS-EN 1995-1-1
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2004
% Titel = Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner, ...
%   Del 1-1: Allmänt- Gemensamma regler och regler för byggnader
% Nummer på standard = SS-EN 1995-1-1
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/69557>

% Ref. SS-EN 1995-2
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2004
% Titel = Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner- Del 2 Broar
% Nummer på standard = SS-EN 1995-2
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/70900>

% Ref. SS-EN 1990
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2002
% Titel = Eurokod: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk
% Nummer på standard = SS-EN 1990
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/32603>

% Ref. BK 1
% Författare = Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2013
% Titel = Bärandekonstruktioner, Del 1
% Förlag = Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
%   konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg
%-----
% Komfortkriterier gångtrafikanter (SS-EN 1990)

% (1) Största rekommenderade värde för en godtycklig del av ...
% byggnaden.
% 0.7 [m/s^2] vertikala svängningar
% 0.2 [m/s^2] horisontella svängningar vid normal användning
% 0.4 [m/s^2] vid exceptionell trängsel

% (2) Komfortkriterierna bör verifieras om överbyggnadens egenfrekvens
% är mindre än.

```

```

% 5 [Hz] Vertikala svängningar
% 2.5 [Hz] Horisontella svängningar och torsionssvängningar
%-----
%Indata
L=26; % [m] Bjälklagets spännvidd
l_u=9.6; % [m] Längd utbreddning bro
b=2.52; % [m] Bredd bro
b_u=0.72; % [m] Bredd utbreddning bro
A=(L*b+2*l_u*b_u); % [m^2] Area bro;
g=9.82; % [m/s^2] Tyngdaccelerationen
I_x=b*h^3/12; % [m^4] Yttröghetsmoment x-led
I_y=h*b^3/12; % [m^4] Yttröghetsmoment y-led

% Elastisitetsmodul parallellt fibrerna (tabell T2.5, BK 1)
E_mean=13700e6; % [Pa]
% Bjälklagetsekvivalenta plattböjstyvheter vid böjning kring x-led ...
% vinkelrätt mot bjälkarnas riktning
EI_l_x=I_x*E_mean; % [Nm^2/m]
% Bjälklagetsekvivalenta plattböjstyvheter vid böjning kring y-led ...
% vinkelrätt mot bjälkarnas riktning
EI_l_y=I_y*E_mean; % [Nm^2/m]

m=(G_l/b)/g; % [kg/m^2] Bjälklagets massa per ytenhet
M=(G_l*L)/g+(2*G_l_u*l_u)/g; % [kg] Brons totala massa

% Vertikal egenfrekvens (ekv 7.5, SS-EN 1995-1-1)
f_1_x=(pi/(2*L^2))*sqrt(EI_l_x/m); % [Hz]
% Horisontell egenfrekvens (ekv 7.5, SS-EN 1995-1-1)
f_1_y=(pi/(2*L^2))*sqrt(EI_l_y/m); % [Hz]
% Dämpningsfaktorn för bärverk med mekaniska förband ...
% (ekv 7.3, SS-EN 1995-2)
zeta=0.015; % [-]

% Kontroll vibrationer vertikalled
if (5 <= f_1_x) % [Hz] Komfortkriterie för egenfrekvens ...
    % (A2.4.3.2(2), SS-EN 1990)
    fprintf(' Vertikal kontroll OK! (krav: > 5 Hz) egenfrekvens i
vertikalled: f_1_vertikal= %2.1f [Hz]\n', f_1_x)
else
    fprintf(' Vertikal kontroll INTE OK! (krav: > 5 Hz)\n')
    fprintf(' Egenfrekvens i vertikalled: f_1_vertikal= %2.1f
[Hz]\n', f_1_x)
    fprintf(' Fortsatta kontroller följer:\n')
    if(2.5>f_1_x) % Om egenfrekvenskravet ej uppfylls ...
        % kontrolleras komfortkriterierna för accelerationerna
        a_vert_1=200/(M*zeta); % "Om en person passerar bron" ...
        % (B.2a(1), SS-EN 1995-2)
        if a_vert_1<=0.7 % Komfortkriterie av acceleration för ...
            % vertikala svängningar ...
            % (A2.4.3.2(1), SS-EN 1990)
            fprintf('\t Kontroll 1 OK! (krav: < 0.7 m/s^2) en
passerande person:\n')
            fprintf('\t a_vert_1= %2.1f [m/s^2]\n', a_vert_1)
        else

```

```

        fprintf('\t Kontroll 1 INTE OK! (krav: < 0.7 m/s^2)
en passerande person: a_vert_1= %2.1f [m/s^2]\n', a_vert_1)
    end
else
    a_vert_1=100/(M*zeta); % "Om en person passerar bron"
        % (B.2b(1), SS-EN 1995-2)
    if a_vert_1<=0.7 % Komfortkriterie av accerlation för ...
        % vertikala svängningar ...
        % (A2.4.3.2(1), SS-EN 1990)
        fprintf('\t Kontroll 1 OK! (krav: < 0.7 m/s^2) en
passerande person:\n')
        fprintf('\t a_vert_1= %2.1f [m/s^2]\n', a_vert_1)
    else
        fprintf('\t Kontroll 1 INTE OK! (krav: < 0.7 m/s^2) en
passerande person: a_vert_1= %2.1f [m/s^2]\n', a_vert_1)
    end
end
end

k_vert=0.18; % Förhållandet mellan vertikal lägsta egenfrekvens ...
        % f_vert och koefficienten k_vert (figur B.1, SS-EN 1995-2)
n_1=13; % En distingt grupp fotgängare
n_2=0.6*A; % För en kontinuerlig ström fotgängare (A)=area bro

% Acceleration, "en distingt grupp fotgängare" ...
% (B.2a(2), SS-EN 1995-2)
a_vert_n_1=0.23*a_vert_1*n_1*k_vert;
% Acceleration, "en kontinuerlig ström av fotgängare" ...
% (B.2b(2), SS-EN 1995-2)
a_vert_n_2=0.23*a_vert_1*n_2*k_vert;
    if (a_vert_n_1<0.7) % Komfortkriterie av accerlation för ...
        % vertikala svängningar (A2.4.3.2(1), SS-EN 1990)
        fprintf('\t Kontroll 2a OK! (krav: < 0.7 m/s^2) en distingt
grupp fotgängare:\n')
        fprintf('\t a_vert_n_1= %2.1f [m/s^2]\n', a_vert_n_1)
    else
        fprintf('\tKontroll 2a INTE OK! (krav: < 0.7 m/s^2) en
distingt grupp fotgängare: a_vert_n_1= %2.1f [m/s^2]\n', a_vert_n_1)
    end

    if (a_vert_n_2<0.7) % Komfortkriterie av accerlation för ...
        % vertikala svängningar (A2.4.3.2(1), SS-EN 1990)
        fprintf('\t Kontroll 2b OK! (krav: < 0.7 m/s^2) en
kontinuerlig ström fotgängare:\n')
        fprintf('\t a_vert_n_2= %2.1f [m/s^2]\n', a_vert_n_2)

    else
        fprintf('\t Kontroll 2b INTE OK! (krav: < 0.7 m/s^2)
en kontinuerlig ström fotgängare: a_vert_n_2= %2.1f [m/s^2]\n',
a_vert_n_2)
    end

    if (2.5 < f_1_x && f_1_x<= 3.5) % Kritiskt frekvensintervall ...
        % (B.2(3), SS-EN 1995-2)

```

```

a_vert_1=600/(M*zeta); % "En springande person passerar bron"
                    % (B.2(3), SS-EN 1995-2)
if (a_vert_1<0.7) % Komfortkriterie av accerlation för ...
                    % vertikala svängningar (A2.4.3.2(1), SS-EN 1990)
    fprintf('\t Kontroll 3 OK! (krav: < 0.7 m/s^2) springande
person: a_vert_1= %2.1f [m/s^2]\n\n', a_vert_1')
else
    fprintf('\tkontroll 3 INTE OK! (krav: < 0.7 m/s^2) springande
person: a_vert_1= %2.1f [m/s^2]\n\n', a_vert_1')
end
else
    fprintf('\t Kontroll 3 OK! (krav: < 0.7 m/s^2) springande person,
frekvens \n')
    fprintf('\t utanför kritiskt intervall: f_1_x= %2.1f [m/s^2]\n
\n', f_1_x)
end

% Kontroll vibrationer Horisontalled
if (2.5 <= f_1_y) % [Hz] Komfortkriterie för egenfrekvens ...
                    % (A2.4.3.2(2), SS-EN 1990)
    fprintf(' Horisontell kontroll OK! (krav: > 2.5 Hz) \n')
    fprintf(' Inga fler kontroller krävs! \n')
    fprintf(' Egenfrekvens i horisontalled: f_1_horisontell=
%2.1f [Hz]\n\n', f_1_y)
else
    fprintf(' Horisontell kontroll INTE OK! (krav: > 2.5 Hz)
egenfrekvens i horisontalled: f_1_horisontell= %2.1f [Hz]\n\n',
f_1_y)
end
end

```

Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 24 - Funktion 12 Kontroll av spännanordning

I följande MATLAB-kod kontrolleras spännanordningens kapacitet och dimensioner.

```

function[sigma_stag, sigmac_90_d]=Funktion_12(h, V_max_serv)
% Funktion 12: Spännanordning
%-----
% Syfte:
% Kontroll av spännsanordningens kapacitet, både stålstag och
% mellanläggsplatta
%
% Senast ändrad: 2021-05-04 av:
% Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
% William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----

% Referenser
% Ref. BK 1
% Författare = Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2013
% Titel = Bärandekonstruktioner, Del 1
% Förlag = Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
% konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg

% Ref. SS-EN-1995-1-1
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2004
% Titel = Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner, ...
% Del 1-1: Allmänt-Gemensamma regler och regler för byggnader
% Nummer på standard = SS-EN-1995-1-1
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/69557>

% Ref. SS-EN-1995-2
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2004
% Titel = Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner, Del 2: Broar
% Nummer på standard = SS-EN-1995-2
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/70900>

% Ref. Timber Bridges
% Författare = Ritter. M. A.
% År = 1990
% Titel = Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, ...
% and Maintenance
% Förlag = United States Department of Agriculture Forest Service
% Ort = Washington, DC
% -----

% Hämtar den dimensionerande tvärkraften
V_max=V_max_serv;

% Beräkning av tryckkraft mellan balkar

% Minsta värde på kvarstående tryckspänning från förspänning, ...
% SS-EN 1995-2:2004 6.1.2(5)

```

```

sigma_p_min=0.35e6; % [N/m2]
% Dimensioneringsvärde på friktionskoefficienten ...
% (Fuktkvot >16%, klimatklass 2, hyvlat mot hyvlat)
my_d=0.4; % [-]
my_d*sigma_p_min*h;

    if (sigma_p_min*my_d*h >= V_max)
        fprintf(' Kontroll av skjuvkraft OK!\n')
        fprintf(' Dimensionerande skjuvkraft: %2.0f kN\n',V_max/1000)
        fprintf(' Kapacitet hos balkarna: %2.0f kN\n\n',
(my_d*sigma_p_min*h)/1000)
    elseif (sigma_p_min*my_d*h < V_max)
        fprintf('Kontroll av skjuvkraft INTE OK!\n')
        fprintf('\tDimensionerande skjuvkraft: %2.0f kN\n',V_max/1000)
        fprintf('\tKapacitet hos balkarna: %2.0f kN\n\n',
(my_d*sigma_p_min*h)/1000)
    end

% Avstånd mellan stag (Antagande och kontroll)
cc_stag=600e-3; % [m] Avstånd mellan stag

% Stålspänning
% N_stag<2.5*N_stag_min => ...
% sigma_p=2.5*sigma_p_min (Timber Bridges s.9-34)
sigma_p=2.5*sigma_p_min;

N_stag_tot=cc_stag*h*sigma_p; % [N] Kraften i tre parallella stålstag
N_stag=N_stag_tot/3; % [N] Kraften i ett stålstag, ty tre lager

% Väljer stag: Dywidag stång 20 mm diameter
d_stag=20e-3; % [m] Stålstagens diameter
fu=1100e6; % [Mpa] Stålstagens brottgräns
A_stag=pi*d_stag.^2/4; % [m^2] Tvärsnittsarea, stålstag
sigma_stag=N_stag/A_stag; % [Pa] Erfoderlig spänning i varje stag

% sigma_stag=557 MPa < 0.7fu=770 MPa (Timber Bridges s.9-34)
    if (sigma_stag < 0.7*fu)
        fprintf(' Kontroll av stagspänning OK! => Spännstagens cc-
mått OK!\n')
        fprintf(' Dimensionerande stagspänning: %2.0f MPa
\n',sigma_stag/1000000)
        fprintf(' Krav: < %2.0f MPa\n',(0.7*fu)/1000000)
        fprintf(' Spännstagens cc-mått: %2.0f mm\n\n',cc_stag*1000)
    elseif (sigma_stag > 0.7*fu)
        fprintf('Kontroll av stagspänning INTE OK! => Spännstagens cc-
mått INTE OK!\n')
        fprintf('\tDimensionerande stagspänning: %2.0f MPa
\n',sigma_stag)
        fprintf('\tKrav: < %2.0f MPa\n',0.7*fu)
        fprintf('\tSpännstagens cc-mått: %2.0f mm\n\n',cc_stag*1000)
    end

% Dimensionering av mellanläggsplatta

```

```

% sigmac_90_d < kc_90*fc_90_d (SS-EN 1995-1-1 6.1.5(1))

b_mellanlaggsplatta=280e-3;           % [m] Mellanlaggsplattans bredd
h_mellanlaggsplatta=250e-3;           % [m] Mellanlaggsplattans höjd
fc_90_k_gl=3.3e6;                     % [Pa] (s.T31 BK 1)
gammaM=1.25;                           % [-] (s.T32 BK 1)

% Effektiv bredd
b_ef=b_mellanlaggsplatta+min([30e-3, b_mellanlaggsplatta]); % [m]
% Effektiv höjd
h_ef=h_mellanlaggsplatta+min([30e-3, h_mellanlaggsplatta]); % [m]
% Effektiv kontaktarea
A_ef=h_ef*b_ef; % [m^2]

sigmac_90_d=N_stag/A_ef;               % [Pa] Tryckspänning i limträbalken
kc_90_d=1.3;                           % [-] SS-EN 1995-2:2004 6.1.2(9)
kmod_stag=0.6;                         % [-] BK1 (s.T35)

fc_90_d_stag=kmod_stag*fc_90_k_gl/gammaM;
kc_90_d*fc_90_d_stag;

    if (sigmac_90_d < kc_90_d*fc_90_d_stag)% (SS-EN 1995-1-1 6.1.5(1))
        fprintf('  Kontroll av krossning i brobanan OK!\n')
        fprintf('  Dimensionerande tryckspänning: %2.2f MPa
\n',sigmac_90_d/1000000)
        fprintf('  Dimensionerande tryckhållfasthet: %2.2f MPa\n\n',
(kc_90_d*fc_90_d_stag)/1000000)
    elseif (sigmac_90_d > kc_90_d*fc_90_d_stag)
        fprintf('Kontroll av krossning i brobanan INTE OK!\n')
        fprintf('\tDimensionerande tryckspänning: %2.2f MPa
\n',sigmac_90_d/1000000)
        fprintf('\tDimensionerande tryckhållfasthet: %2.2f MPa\n\n',
(kc_90_d*fc_90_d_stag)/1000000)
    end
end

```

Published with MATLAB® R2020b

Bilaga 25 - Funktion 13 Kontroll av tvärsnittskapacitet

I följande MATLAB-kod kontrolleras bronns tvärsnittskapacitet.

```

function[M_kap, V_kap]=Funktion_13(h, M_max, V_max, N_max,M_max_z)
% Funktion 13: Kapacitets kontroll: moment, tvärkraft och ...
% kombinerad böjning med axiell kraft
%-----
%   Syfte:
%   Kontroll av kapacitet för: moment, tvärkraft och böjning med
%   axiellkraft.
%
%   Senast ändrad: 2021-05-04 av:
%   Marcus Iversen, Noora Khouhani, Sofie Skorsdal,
%   William Thulin, Daniel Tärbo, Anton Årmann
%-----

% Referenser
% Ref. BK 1
% Författare = Al-Ermani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2013
% Titel = Bärandekonstruktioner, Del 1
% Förlag = Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
%         konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg

% Ref. BK 2
% Författare = Al-Emrani.M, Engström.B, Johansson.M, Johansson.P
% År = 2011
% Titel = Bärandekonstruktioner, Del 2
% Förlag= Institutionen för Bygg och miljöteknik, Avdelningen för ...
%         konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola
% Ort = Göteborg

% Ref. SS-EN-1995-1-1
% Författare = Svenska institutet för standarder
% År = 2004
% Titel = Eurokode 5: Dimensionering av träkonstruktioner,
%         Del 1-1: Allmänt-Gemensamma regler och regler för byggnader
% Nummer på standard = SS-EN-1995-1-1
% Url = <https://www.sis.se/api/document/get/69557>
%-----

%Indata
b=2.52;           % Bredd bro
A=b*h;           % Tvärsnittsarea bro

% Kontroll: moment kapacitet yz-planet

% Villkor M_ed<=M_rd           % (ekv.T3.13, BK 1)

% Karakteristiskt hållfasthetsvärde limträ GL32k, böjning ...
% parallellt fibrerna (tabell T2.5, BK 1)
f_mk=32e6; % [Pa]
% Klimatklass 2(Tabell T2.7) Förutsättning att bronaneplattan har ...
% ett tätskikt och konstruktionsdelar skyddade av intäckning ...
% enligt "krav brobyggande(Trafikverket)", ...

```

```

% Limträ, Lastvaraktighet:Permanent.
k_mod=0.6;          % [-] (tabell T2.8 BK 1)
gamma_M=1.25;      % [-] Partialkoefficient, limträ (s.T32, BK 1)
% Dimensionerande hållfasthet (ekv.T2-12, BK 1)
f_md=k_mod*f_mk/gamma_M; % [Pa]

% Böjmotstånd runt x-axeln rektangulärt tvärsnitt (ekv.T3-18, BK 1)
W_x=b*h^2/6;      % [m^3]
% Böjmotstånd runt z-axeln rektangulärt tvärsnitt (ekv.T3-18, BK 1)
W_z=h*b^2/6;      % [m^3]

Mx_rd=W_x*f_md;    % [Nm] (ekv.T3-14, BK 1)
% Nyttjandegrad, M_max hämtad från funktion 4
M_kap=M_max/Mx_rd*100; % [%]

fprintf(' Kapacitetskontroll yz-planet\n\n')
    if (M_max <= Mx_rd)
        fprintf(' Momentkapacitet yz-planet OK!: M_kap= %2.1f [%
%]\n', M_kap)
    else
        fprintf(' Momentkapacitet yz-planet INTE OK!: M_kap= %2.1f [%
%]\n', M_kap)
    end

% Kontroll: tvärkraft kapacitet yz-planet

% Villkor V_ed<=V_rd          % [-]
% Reduktionsfaktor som tar hänsyn till sprickbildning i balken ...
% (ekv.T4-8, BK 1)
k_cr=0.67;          % [m] Faktor för sågat virke och limträ (s.T56, BK 1)
% Effektivbredd pga. sprickbildning i balk (ekv.T4-9, BK 1)
b_ef=k_cr*b;       % [Pa]

% Karakteristiskt hållfasthetsvärde limträ GL32k, Skjuvning ...
% (tabell T2.5, BK 1)
f_vk=3.8e6;        % [Pa]
% Dimensionerande hållfasthetsvärde, Skjuvning (T2-12, BK 1)
f_vd=k_mod*f_vk/gamma_M; % [Pa]

V_rd=2/3*b_ef*h*f_vd; % [N] (ekv.T4-4, BK 1)
% Nyttjandegrad, V_max hämtad från funktion 4
V_kap=V_max/V_rd*100; % [%]

    if (V_max <= V_rd)
        fprintf(' Tvärkraftskapacitet yz-planet OK! : V_kap= %2.1f [%
%]\n\n', V_kap)
    else
        fprintf(' Tvärkraftskapacitet yz-planet INTE OK! : V_kap=
%2.1f [%%]\n\n', V_kap)
    end

% Kontroll: samtidig böjning och axiell dragning ...
% samt böjning och axiellt tryck

```

```

% Villkor vid skev böjning ...
%  $[(\sigma_{m\_yd}/f_{m\_yd})+(\sigma_{t\_0d}/f_{t\_0d})] \leq 1$  (T5-7, BK 2)

% Dimensionerande dragspänning längs fiberriktningen
sigma_t_0d=N_max/A; % [N/m^2]
% Dimensionerande böjspänning kring x-axeln(huvudaxel)
sigma_m_xd=M_max/W_x; % [N/m^2]
% Dimensionerande böjspänning kring z-axeln(huvudaxel)
sigma_m_zd=M_max_z/W_z; % [N/m^2]

% Karaktäristisk hållfasthet, Dragning parallellt fibrerna, GL32k ...
% (tabell T2.5, BK 1)
f_tk=22.5e6; % [Pa]
% Dimensionerande draghållfasthet längs fiberriktningen ...
% (ekv.T2-12, BK 1)
f_t_0d=k_mod*f_tk/gamma_M; % [Pa]

% Dimensionerande hållfasthet kring x-axeln(huvudaxel), ...
% böjning parallellt fibrerna
f_m_xd=f_md; % [Pa]
% Dimensionerande hållfasthet kring z-axeln(huvudaxel), ...
% böjning parallellt fibrerna
f_m_zd=f_md; % [Pa]
% Rektangulärt tvärsnitt av limträ, Faktor som tar hänsyn till en ...
% ökad kapacitet pga. placticeringen och det biaxiella ...
% spänningstillståndet
k_m=0.7; % [-]

% Skev böjning tillsammans med en axiell dragkraft ...
% (6.17, SS-EN-1995-1-1)
ekv_1=(sigma_t_0d/f_t_0d)+(sigma_m_xd/f_m_xd)+ ...
k_m*(sigma_m_zd/f_m_zd); % [-]
% Skev böjning tillsammans med en axiell dragkraft ...
% (6.18, SS-EN-1995-1-1)
ekv_2=(sigma_t_0d/f_t_0d)+k_m*(sigma_m_xd/f_m_xd)+ ...
(sigma_m_zd/f_m_zd); % [-]

if (ekv_1 <= 1)
    fprintf(' Kombinerad böjning med axiell dragning kapacitet
(ekv_1 < 1) OK!:\n')
    fprintf(' ekv_1= %2.1f [-]\n', ekv_1)
else
    fprintf(' Kombinerad böjning med axiell dragning kapacitet
(ekv_1 > 1) INTE OK!: ekv_1= %2.1f [-]\n', ekv_1)
end
if (ekv_2 < 1)
    fprintf(' Kombinerad böjning med axiell dragning kapacitet
(ekv_2 < 1) OK!:\n')
    fprintf(' ekv_2= %2.1f [-]\n', ekv_2)
else
    fprintf(' Kombinerad böjning med axiell dragning kapacitet
(ekv_2 > 1) INTE OK!: ekv_2= %2.1f [-]\n', ekv_2)
end

```

```

Nc_z=-N_max; % [N] Normalkraft (axiell tryck)
% Karakteristiskt hållfasthetsvärde limträ GL32k, tryck ...
% parallellt fibrerna (tabell T2.5, BK 1)
f_ck=29e6; % [Pa]
% Dimensionerande tryckspänning längs fiberriktningen
sigma_c_0d=Nc_z/A; % [N/m^2]
% Dimensionerande tryckhållfasthet längs fiberriktningen ...
% (ekv.T2-12, BK 1)
f_c_0d=k_mod*f_ck/gamma_M; % [Pa]

% Skev böjning tillsammans med en axiell tryckkraft ...
% (6.19, SS-EN-1995-1-1)
ekv_3=(sigma_c_0d/f_c_0d)^2+(sigma_m_xd/f_m_xd)+ ...
k_m*(sigma_m_zd/f_m_zd); % [-]
% Skev böjning tillsammans med en axiell tryckkraft ...
% (6.20, SS-EN-1995-1-1)
ekv_4=(sigma_c_0d/f_c_0d)^2+k_m*(sigma_m_xd/f_m_xd)+ ...
(sigma_m_zd/f_m_zd); % [-]

if (ekv_3 < 1)
    fprintf(' Kombinerad böjning med axiellt tryck kapacitet
(ekv_3 < 1) OK!:\n')
    fprintf(' ekv_3= %2.1f [-]\n', ekv_3)
else
    fprintf(' Kombinerad böjning med axiellt tryck kapacitet
(ekv_3 > 1) INTE OK!: ekv_3= %2.1f [-]\n', ekv_3)
end

if (ekv_4 < 1)
    fprintf(' Kombinerad böjning med axiellt tryck kapacitet
(ekv_4 < 1) OK!:\n')
    fprintf(' ekv_4= %2.1f [-]\n\n', ekv_4)
else
    fprintf(' Kombinerad böjning med axiellt tryck kapacitet
(ekv_4 > 1) INTE OK!: ekv_4= %2.1f [-]\n\n', ekv_4)
end

% Kontroll: moment kapacitet yx-planet

Mz_rd=W_z*f_md; % [Nm] (T3-14, BK 1), Momentkapacitet
% Nyttjandegrad , M_max hämtad från funktion 5
M_kap_z=M_max_z/Mz_rd*100; % [%]

fprintf(' Kapacitetskontroll yx-planet\n\n')
if (M_max_z <= Mz_rd)
    fprintf(' Momentkapacitet i sidled OK!: M_kap_z= %2.1f [%
%]\n', M_kap_z)
else
    fprintf(' Momentkapacitet i sidled INTE OK!: M_kap_z= %2.1f
[%%]\n', M_kap_z)
end
end

```


INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se



CHALMERS