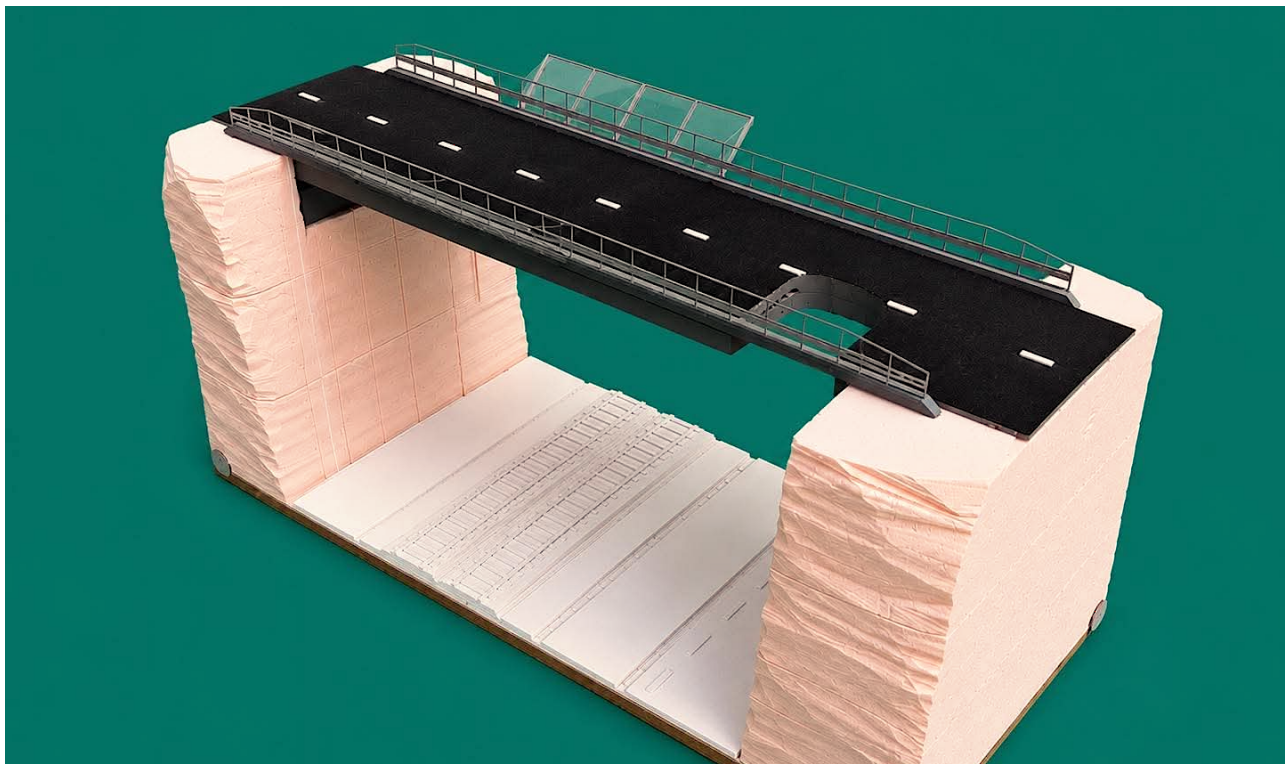




CHALMERS



Förstudie av bro över Ostlänken

Framtagning och dimensionering av plattbro

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

EMMA CARLSSON
INGRID EWINS
HANNA GRANSTRÖM
AVALON HANSSON
ALBIN JANSSON
SIXTEN SANDKVIST

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

KANDIDATARBETE

Förstudie av bro över Ostlänken

Framtagning och dimensionering av plattbro

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

EMMA CARLSSON
INGRID EWINS
HANNA GRANSTRÖM
AVALON HANSSON
ALBIN JANSSON
SIXTEN SANDKVIST

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2026

Förstudie av bro över Ostlänken

Framtagning och dimensionering av plattbro

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

EMMA CARLSSON

INGRID EWINS

HANNA GRANSTRÖM

AVALON HANSSON

ALBIN JANSSON

SIXTEN SANDKVIST

© FÖRFATTARNA, 2026

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola, 2026

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

Omslag:

Bild på bromodell av slutgiltigt brokoncept byggd av författarna i skala 1:50.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers Reproservice 2026

Förstudie av bro över Ostlänken

Framtagning och dimensionering av plattbro

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

EMMA CARLSSON

INGRID EWINS

HANNA GRANSTRÖM

AVALON HANSSON

ALBIN JANSSON

SIXTEN SANDKVIST

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Järnvägen Ostlänken planeras att byggas i Kolmården, ett område beläget nordost om Norrköping. Detta ledde till behovet av en bro så att bilar, cyklister och fotgängare skulle kunna korsa järnvägen. Syftet med denna rapport är att ta fram ett förslag på hur denna bro kan utformas och vilka dimensioner den bör ha. Arbetet görs i tre huvudetapper.

Först genomfördes en litteraturstudie för att senare fatta ett kvalitativt beslut om vilket material och vilken typ av bro som är mest lämplig för detta specifika fall. Studien inkluderade också en utvärdering av brons sociala, ekologiska och ekonomiska hållbarhet. Därefter genomfördes ett antal urvalsprocesser för att bestämma vilken sorts bro och vilket material som är bäst lämpat. Den första urvalsprocessen gick ut på att jämföra olika varianter av broar mot de mest rudimentära kraven. Slutligen i den sista urvalsprocessen jämfördes de två bästa kandidaterna mot varandra, vilket resulterade i att en slakarmerad betongplattbro blev det valda konceptet.

För att bestämma dimensioner för den valda bron gjordes beräkningar i MATLAB med hjälp av finita elementanalystillägget CALFEM. Olika lastfall beräknades enligt Eurokod så att lastfallen sedan kunde användas för att ge bron lämpliga dimensioner som kunde hantera dessa lastfall.

Slutsatsen blev att bron klarar av lastkapaciteterna men tyvärr inte nedböjningskraven i längsled. Detta diskuteras tillsammans med andra osäkerheter där diskussionen lyfter att en balkbro hade varit bättre lämpad.

Nyckelord: Bro, plattbro, MATLAB, dimensioner, lastfall, nedböjningskrav, balkbro

Förstudie av bro över Ostlänken

Framtagning och dimensionering av plattbro

Bachelor's thesis in Civil Engineering

EMMA CARLSSON

INGRID EWINS

HANNA GRANSTRÖM

AVALON HANSSON

ALBIN JANSSON

SIXTEN SANDKVIST

Department of Architecture and Civil Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

A railway, Ostlänken, will be built in Kolmården, an area located northeast of Norrköping. This led to the need for a bridge so that cars, cyclists and pedestrians could cross the railway. The aim of this report is to produce a suggestion of how this bridge can be designed and what dimensions it should have. The report is divided into three main stages.

First, a study of the literature was conducted to make a qualitative decision on what material and which type of bridge is the most suitable for this specific case. The study also included an evaluation of the bridge's social, environmental and economical sustainability. Thereupon a series of selection processes were conducted to decipher which type of bridge and what material would be most suitable. The first selection process involved comparing different variants of bridges to the most rudimentary requirements. Lastly in the final selection process the two best candidates were compared against each other resulting in a reinforced concrete slab bridge being the chosen concept.

To decide dimensions for the chosen bridge calculations were done in MATLAB using the finite element analysis add-on CALFEM. Load cases were calculated according to Eurocode so that they could then be used to give the bridge suitable dimensions that could manage these load cases.

The conclusion was that the bridge can handle the load capacities but unfortunately not the longitudinal deformation requirements. This is discussed together with other uncertainties where the discussion highlights that a beam bridge would have been better suited.

Key words: Bridge, slab bridge, MATLAB, dimensions, load cases, deformation requirements, beam bridge

Innehåll

SAMMANFATTNING	III
ABSTRACT	IV
INNEHÅLL	V
FÖRORD	VIII
BEGREPP	IX
NOMENKLATUR	X
1 INTRODUKTION	1
1.1 Syfte	1
1.2 Avgränsningar	1
1.3 Metod och genomförande	2
1.3.1 Implementering av AI	2
1.4 Samhälleliga och etiska aspekter	2
1.5 Förutsättningar och tekniska krav	3
1.5.1 Brospann	3
1.5.2 Tekniska krav	4
1.5.3 Geotekniska förutsättningar	5
2 LITTERATURSTUDIE	6
2.1 Konstruktionsmaterial för brobygge	6
2.1.1 Betong	6
2.1.2 Stål	7
2.1.3 Trä	7
2.2 Hållbarhetsaspekter	8
2.2.1 Ekonomisk hållbarhet	8
2.2.2 Ekologisk hållbarhet	8
2.2.3 Social hållbarhet	8
2.3 Olika typer av brokonstruktioner	9
2.3.1 Plattbro	9
2.3.2 Balkbro	9
2.3.3 Fackverksbro	10
2.3.4 Bågbro	10
2.3.5 Samverkansbro	11
2.3.6 Hängbro	11
3 FRAMTAGNING AV BROKONCEPT	13
3.1 Urvalsprocess 1	13
3.2 Urvalsprocess 2	13
3.2.1 Urvalskriterierna	13
3.2.2 Viktning av urvalskriterier	15

3.2.3	Utvärdering av broar	16
3.3	Urvalsprocess 3	16
3.3.1	Beställare - och konstruktionsaspekter	16
3.3.2	Produktionsaspekter	17
3.3.3	Förvaltningsaspekter	17
3.4	Resultat	18
3.4.1	Produktion	18
4	DIMENSIONERING	20
4.1	Grundläggning och landfäste	20
4.2	Lasteffekt	21
4.2.1	Lastkombinering	22
4.3	Beräkningsgång	22
4.3.1	Tvärled	23
4.3.2	Längsled	24
4.3.3	Temperaturlast	24
4.3.4	Broms- och accelerationslast	25
4.4	Resultat	25
4.4.1	Längsled	25
4.4.2	Tvärled	26
5	DISKUSSION	28
5.1	Dimensioneringen	28
5.2	Iterationsprocessen	28
5.3	Överskriden nedböjning	28
5.4	Slutsats	29
6	REFERENSER	30
	BILAGOR	34
	Bilaga A - Kompletterande information	34
	Bilaga B - Tvärled	36
	Bilaga C - Längsled	54
	Bilaga D – Dimensionering	66
	Dimensionering tvärled	66
	Dimensionering längsled	83
	Bilaga E – Underlag från COWI	102

Förord

Arbetet under denna tid som inneburit konstruktion av en vägbro har varit lärorikt och utvecklande och har gett oss en djupare förståelse för projektering, dimensionering och de utmaningar som kan uppstå vid denna typ av arbete. Alla i gruppen tar från detta kandidatarbete med sig många lärdomar inom konstruktionsarbete och dess beräkningar men också kring samarbete och problemlösning.

Vi vill rikta ett varmt tack till vår handledare Mozhddeh Amani och examinator Carlos Gil Berrocal för god vägledning under arbetets gång. Vi vill även tacka Marcus Davidsson och Staffan Lindén från COWI för att de generöst delat med sig av sin erfarenhet från branschen.

Göteborg 2026

EMMA CARLSSON

INGRID EWINS

HANNA GRANSTRÖM

AVALON HANSSON

ALBIN JANSSON

SIXTEN SANDKVIST

Begrepp

Boggilast – last från närliggande hjulaxlar på ett fordon som tillsammans belastar bron

Brukstid – den tid en konstruktion används för sitt avsedda ändamål

Byggskede – tiden då konstruktionen uppförs fram till färdigställande

CALFEM – MATLAB-verktyg för finita elementanalyser

Egentyngd – konstruktionens vikt som verkar som en permanent last

Elasticitetsmodul – mått på materialets styvhet

Elskydd – åtgärd på bro över järnväg som skyddar mot elektriska faror

Fri höjd – vertikalt avstånd mellan underkant av konstruktion och underliggande yta

Genomstansning – lokal brottmekanism

Kantbalk – balk längs kanten av en bro eller platta som ger styvhet och bärrighet

Korrosion – nedbrytning av material genom kemiska reaktioner, oftast metall

Krympning – volymminskning av betong över tid på grund av uttorkning

Krypning – tidsberoende deformation i ett material under konstant last

Landfäste – brodel som ansluter till marken och överför laster i grunden

LCA – livscykelanalys, metod för att bedöma en produkts miljöpåverkan under dess livslängd

LCC – livscykelkostnad, total kostnad för en konstruktion under dess livslängd

LM1 – lastmodell 1, standardiserad trafiklast enligt Eurokod vid dimensionering av broar

MATLAB – programvara för numeriska beräkningar och teknisk programmering

Ortotropt material – material med olika egenskaper beroende på riktning

Schaktning – borttagning av jord eller berg för att möjliggöra byggnation

SLS – bruksgränstillstånd, tillstånd där komfort och funktion beaktas

Slakarmerad betong – armerad betong utan förspänning

Skjuvförbindare – element som överför skjuvkrafter mellan två material

Spännarmerade konstruktioner – konstruktioner där armeringen förspänns för ökad bärförmåga

Studs – bult som används som skjuvförbindare för att skapa samverkan mellan betong och stål

Säkerhetsklass – klassificering av konstruktion baserat på konsekvens av brott

S-avstånd – det centrumavstånd som tvärrarmeringsbyglar har emellan sig

Teknisk livslängd – tidsperioden då en bro uppfyller sin funktion

ULS – brottgränstillstånd, tillstånd där konstruktionen riskerar kollaps

Underbyggnad – delar av en bro som överför laster till marken

Variabel last – last som varierar över tid

Överbyggnad – del av bro som bär trafiken

Nomenklatur

Grekiska bokstäver

α_{ef} Omvandlingsfaktor till ekvivalent betongtvärsnitt [–]

α_{Q1} Anpassningsfaktor [–]

α_{q1} Anpassningsfaktor [–]

α_{Q2} Anpassningsfaktor [–]

α_{q2} Anpassningsfaktor [–]

ε'_s Töjning tryckarmering

ε_s Töjning dragarmering

$\gamma_{d,c,s}$ Partialkoefficient för säkerhetsklass [–]

γ_G Partialkoefficient för permanenta laster [–]

γ_Q Partialkoefficient för variabel last [–]

ϕ Diameter armeringsstång [mm]

$\phi_{hål}$ Diameter hål [mm]

ψ_1 Faktor för kombinationsvärde för variabel last [–]

ψ_2 Faktor för frekvent värde för variabel last [–]

ψ_3 Faktor för kvasipermanent värde för variabel last [–]

σ_c Betongspänning [MPa]

σ_s Stålsänning [MPa]

$\sigma_{s,1}$ Stålsänning dragarmering [MPa]

$\varphi(\infty, t_0)$ Kryptal [–]

φ_{RH} Faktor relativ fuktighet [–]

ξ Reduktionsfaktor [–]

Versala latinska bokstäver

A_c Tvärsnittsarea [m^2]

$A_{s,max}$ Maximimängd dragarmering [mm^2]

$A_{s,min}$ Minimimängd dragarmering [mm^2]

A_s	Erforderlig mängd drag- armering [mm^2]
A_{btg}	Area betong [m^2]
E	E- modul [m^2]
$F_{\omega,x}$	Vindlastens resultant [kN]
G_k	Karakteristiskt värde för en permanent last [–]
I	Yttrehetsmoment [m^4]
M_{cr}	Sprickmoment [MNm]
M_{end}	Ändmoment orsakat från jordtryck i längsled [kNm]
M_{Rd}	Momentkapacitet [MNm]
M_{Ed_ULS}	Dimensionerande moment brottgränstillstånd [kNm]
M_{Ed_kvasi}	Kvasimoment [kNm]
M_{Ed_frek}	Frekvent moment [kNm]
M_{Ed_kar}	Karakteristiskt moment [kNm]
V_{Ed_ULS}	Dimensionerande tvärkraft brottgränstillstånd [kN]
V_{Ed_kvasi}	Kvasitvärkraft [kN]
V_{Ed_frek}	Frekvent tvärkraft [kN]
V_{Ed_kar}	Karakteristisk tvärkraft [kN]
$V_{Rd,liv}$	Livtrycksbrott [kN]
$V_{Rd,c}$	Tvärkraftskapacitet [kN]
$V_{Rd,s}$	Tvärkraftsarmering kapacitet [kN]
Q_1	Punktlast från axellast i tvärled [kN]
Q_2	Punktlast från axellast i tvärled [kN]
Q_k	Karakteristiskt värde för enstaka last [–]
Q_{trafik}	Punktlast för boggisystem i längsled [kN]

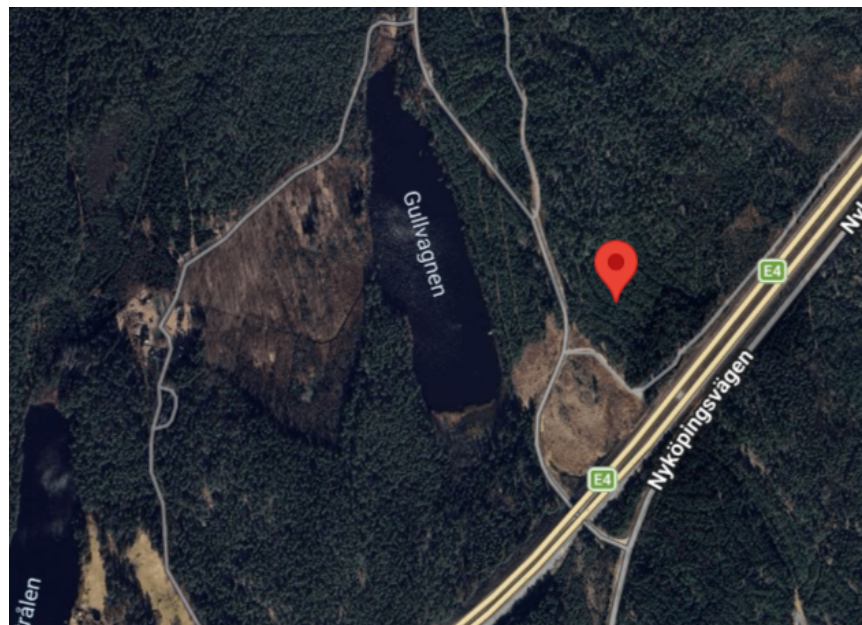
Romerska gemener

h	Höjd [mm]
b	Bredd [mm]
d	Avstånd dragarmering från överkant [mm]
d_1	Avstånd dragarmering lager 1 från överkant [mm]
d_2	Avstånd dragarmering lager 2 från överkant [mm]
d_3	Avstånd dragarmering lager 3 från överkant [mm]
d_g	Största stenstorlek i ballast [mm]
c_{min}	Minsta tillåtna täckskikt [mm]
c_{dev}	Nationell parameter [mm]
c_{nom}	Nominellt mått [mm]
K_1	Nationell parameter [–]
K_2	Nationell parameter [–]
s	Centrumavstånd mellan tvärkraftsarmering [mm]
$s_{1,max}$	Maximalt tillåtna centrum- avstånd mellan tvärkrafts- armering [mm]
u	Omkrets som utsätts för uttorkning [m]
h_0	Tvärsnittets ekvivalenta tjocklek [m]
k_h	Faktor med hänsyn till h_0 [–]
$s_{r,max}$	Parameter till beräkning sprickbredd [mm]
v	Maximal nedböjning [mm]
w_k	Sprickbredd [mm]

1 Introduktion

I följande projekt har en bro dimensionerats i ett område utanför Norrköping. Bron ska gå över en järnväg samt serviceväg som kommer vara parallell med väg E4. Innan projektet påbörjas genomförs markarbeten i form av sprängning då området där bron och järnvägen ska byggas är i berget. Byggandet genomförs med fokus på klimatsmarta val gällande material och utförande på ett sådant sätt att hållfastheten hos konstruktionen bibehåller god kvalitet.

Projektets uppkomst grundar sig i att det finns ett intresse av att bygga ett järnvägsspår som passerar området. Den nya bron möjliggör ett sätt för biltrafiken att transportera sig över spåret. Detta projekt berör delvis de människor som transporterar sig via tåget på järnvägen, samt de som korsar bron i syfte att ta sig till och från sitt jobb eller andra sociala aktiviteter. Figur 1.1 nedan visar det område där projektet äger rum.



Figur 1.1: Satellitbild över området där projektet byggdes (Google, u.å.).

1.1 Syfte

Syftet med projektet var att ta fram ett brokoncept i form av en vägbro över järnvägssträckan Ostlänken vid sjön Gullvagnen, för att möjliggöra överfart för bilar, cyklister och fotgängare över järnvägen. Detta koncept har dimensionerats med tekniskt underlag från Trafikverket och ingenjörskonsult-företaget COWI (se bilaga E) som ramverk tillsammans med egna beräkningar och analyser för att uppnå önskade kriterier.

1.2 Avgränsningar

Projektet avgränsades för att anpassas till rapportens omfattning och den tid som stod till förfogande. Ekonomiska och ekologiska aspekter beaktades när valet av brokonceptet gjordes. Dock analyserades inte bearbetade granskningar som till exempel

LCA-analyser då detta skulle ta för mycket tid. Vid framtagning av brokoncepten avgränsades även materialvalen till de tre klassiska materialen trä, stål och betong.

Arbetet tog i begränsad utsträckning hänsyn till geotekniska och hydrogeologiska aspekter och grundläggningen behandlades översiktligt utan att några beräkningar genomfördes. Dimensioneringen begränsades till överbyggnaden och baserades på lastmodell LM1 enligt SS-EN 1991–2. Vidare behandlades inte detaljerad utformning av räls-, signal- eller eltekniska anläggningar, tillfälliga konstruktioner, skyddsanordningar eller andra brodetaljer.

Vid framtagning av lastfall och lastkombinationer har flera laster exkluderats. Dessa innefattar bland annat vindlaster, snölaster, påkörningslaster samt eventuella centrifugalkrafter. Genom att dessa laster inte beaktats har de dimensionerande snittkrafterna blivit lägre än i ett verkligt dimensioneringsfall. En inkludering av dessa laster skulle leda till mer omfattande lastkombinationer enligt Eurokod och sannolikt resultera i större dimensioner på tvärsnittet samt ett ökat behov av armering.

1.3 Metod och genomförande

Arbetet delades in i tre moment: litteraturstudie, urvalsprocess och dimensionering. Projektarbetets första fokus handlade om att komma fram till lämpligast byggnadsmaterial och brokonstruktion utifrån de krav och förhållanden som finns. I detta skede gjordes en litteraturstudie och där utvärderades olika konstruktionsmaterial utifrån synvinkeln brobyggnad, och flera olika typer av brokonstruktioner granskades.

En kvalitativ urvalsprocess som delades in i tre etapper var det andra momentet i arbetet. Först genom utsällning av de broar som inte klarar av grundläggande krav. Andra processen var i form av en beslutsmatris med tillhörande beskrivning gjordes sedan utifrån ekonomiska, ekologiska och sociala hållbarhetsaspekter. Till sist genom en jämförelse mellan de två bäst lämpade broar.

Det sista momentet i projektarbetet handlade om att utföra beräkningar samt att dimensionera och modellera valt brokoncept, med fokus på utformningen av bron och materialval. Beräkningarna utfördes främst i MATLAB med finita elementtillägget CALFEM. En modell byggdes sedan i skalenlig miniatyr och är till för att redovisa brons estetiska aspekter.

1.3.1 Implementering av AI

I avsnittet där varianter av brodesigner presenteras, se avsnitt 2.3, har Open AI's verktyg ChatGPT 5.5 använts för att generera bilder över de olika brotyperna. Detta är för att skapa en enlighet mellan de olika modellerna för ökad förståelse över skillnaden mellan dem. Dessutom kan den omkringliggande miljön genereras som mer överensstämmande med verkligheten för detta arbete, vilket bidrar till en mer konkret visualisering.

1.4 Samhälleliga och etiska aspekter

Vid en förstudie av ett brobygge behövde både samhälleliga och etiska aspekter beaktas och i vissa delar analyseras vidare. Broar utgör en viktig del av samhällets infrastruktur

och syftar till att förbättra framkomlighet, minska restider och bidra till en långsiktig samhällsutveckling. I detta fall påverkades både trafikanter och närboende, vilket ställde krav på att bron utformades på ett säkert och tillförlitligt sätt för alla användare.

Ur ett etiskt perspektiv har konstruktörerna ett stort ansvar för människors säkerhet, vilket innebar att gällande säkerhetskrav och regelverk behövde följas för att minimera risken för olyckor under både byggskede och brukstid. Arbetsmiljön är också en central aspekt, då produktionen och det framtida underhållet av bron skulle kunna genomföras på ett säkert sätt för de som arbetade med anläggningen.

Materialval, dimensionering och konstruktionslösningar har påverkan på miljö, kostnader och framtida underhåll. Ur ett hållbarhetsperspektiv är dessa relevanta aspekter att ta hänsyn till. Samtidigt kan det generellt uppstå intressekonflikter mellan exempelvis kostnadseffektivitet, estetik, säkerhetsmarginaler och miljöhänsyn, vilka vägdes mot varandra i den fortsatta analysen av bron för detta specifika fall.

1.5 Förutsättningar och tekniska krav

Följande kapitel redogör för de byggnadstekniska samt geotekniska förutsättningar som behövde beaktas vid valet av brokoncept. Projektet anpassades dessutom efter relevanta tekniska krav med underlag i det material som COWI erbjöd. Nedan följer en fördjupning av dessa komponenter.

1.5.1 Brospann

Anledningen till att bron behöver byggas är anläggningen av en ny järnväg. Brolängden var inte given utan berodde på ett antal förutsättningar, bland annat geotekniska egenskaper, järnvägsbredd, det fria utrymmet längs banan och valt brokoncept.

1.5.1.1 Järnvägens fria utrymme

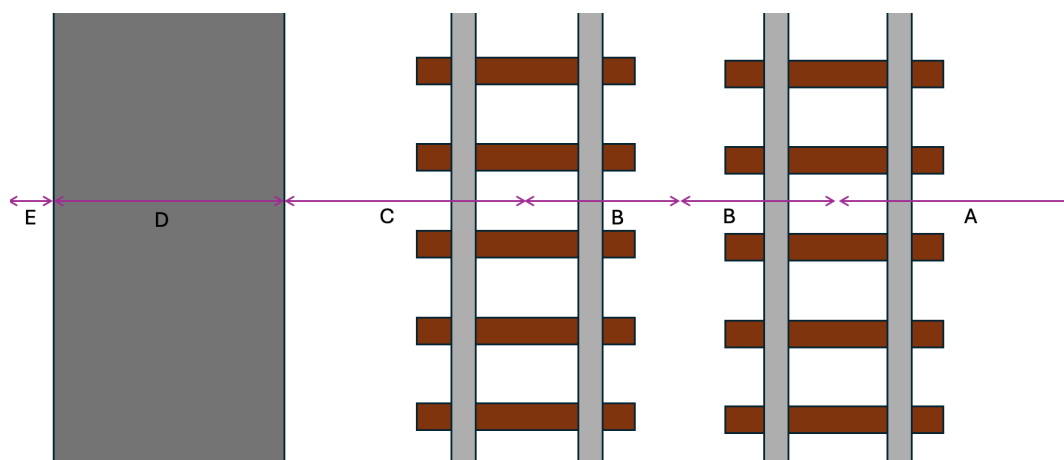
Enligt lag ska järnväg som anläggs omgärdas av ett fritt utrymme för att säkerställa säkerheten och möjlighet till underhåll. Detta omfattar både horisontellt och vertikalt område.

Järnvägen som anläggs är en dubbelspårig järnväg med tillhörande serviceväg parallellt med järnvägsbanan. Enligt den tekniska beskrivningen från Trafikverket skulle en fri höjd på minst 6,7 meter finnas. Detta framkommer även i TRVINFRA-00004 från Trafikverket (2020). Järnvägens fria utrymme kunde komma att variera beroende på valt brokoncept och hur landfästningen såg ut.

För järnväg under broar gäller att det horisontella avståndet från spårmitt till brokonstruktion ska vara minst 3 meter (Trafikverket, 2020), se A i figur 1.2. Då järnvägen i detta fall går rakt behöver ej tillägg för kurvutvidgning och rälsförhöjning. Om valt brokoncept innebär stöd fästa i berget, krävs en bredd på 2,6 meter från spårmitt till bergssluttnings för en normalsektion.

Det fria utrymmet mellan spåren är 2,6 meter för en normalsektion (Trafikverket, 2020), se B i figur 1.2. Alltså blev den totala bredden mellan de två spårens mitt 5,2 meter. Minimavstånd mellan järnvägens spårmitt och vägkanten skulle vara 10 meter då hastigheten på vägen antogs vara mellan 10–60 km/h (Trafikverket, 2023a), se C i figur

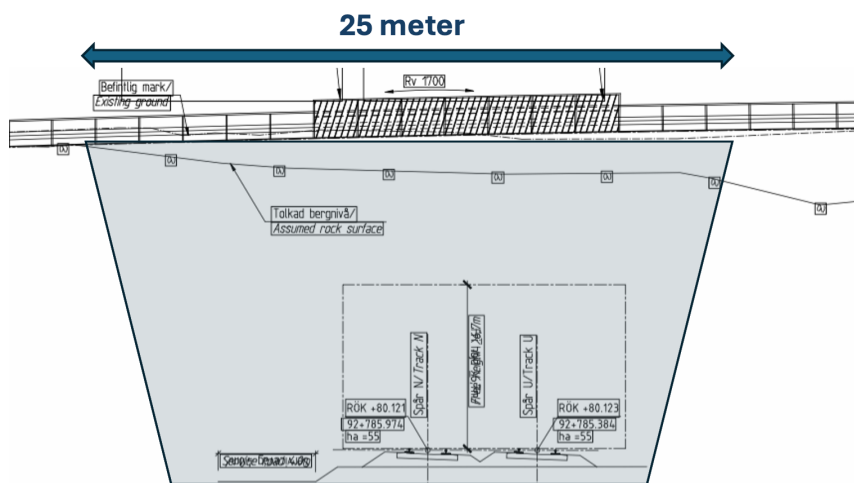
1.2. Servicevägen ska vara 4 meter bred och vara belägen lägre än järnvägen, se D i figur 1.2. En slänt behövde därav anläggas mellan servicevägen och järnvägen. Avståndet mellan vägkant och bergssluttning/brokonstruktion sattes till godtyckligt avstånd 1 meter, se E i figur 1.2.



Figur 1.2: Järnvägens fria utrymme. A är 3 meter. B är 2,6 meter. C är 10 meter, D (serviceväg) är 4 meter och E är 1 meter.

1.5.1.2 Lutning på bergssluttning

När berget sprängs bort för att göra plats åt järnvägen krävs viss lutning på slänten. Enligt Trafikverkets krav på vägkonstruktion (2004) skulle stabilitet hos bergkonstruktioner bedömas utifrån bergets geometri, struktur samt laster. Berget på denna plats bedömdes vara starkt, se avsnitt 1.5.3, och kunde därmed ha en lutning på 85 grader. Med detta i beaktning blev brospannet 25 meter. Skulle berget visat sig vara mindre hållfast kunde åtgärder såsom bultning eller skyddsnät vidtas.



Figur 1.3: Bergsschaktning. Den grå ytan visar vad som ska schaktas bort.

1.5.2 Tekniska krav

Broprojektet och den tillhörande byggnationen ska uppfylla de tekniska krav som Trafikverket har fastställt. Bron över järnvägen i Kolmården var tvunget att ha en teknisk livslängd på 120 år (bilaga E) och dimensionerades därefter. Byggnationen kommer äga rum parallellt med väg E4 men kräver inte någon avstängning av

motorvägen då ingen direkt kontakt med, eller korsning över väg E4 är aktuell. Projektet behöver inte anpassa sig till trafik då det finns alternativa vägar för personer att transportera sig i området. Då det inte heller finns bostäder i närheten av den tilltänkta bron behöver projektet inte ta hänsyn till denna aspekt med avseende på framkomlighet, buller eller visuell påverkan. Genom att bygga bron innan järnvägen behöver projektet inte stänga av järnvägsspåren vid byggnationen och därmed minska byggtiden och förseningar för tågtrafiken.

Broräcken bör ha kapacitetsklass H2 (bilaga E) och följa kraven enligt TRVINFRA-00227 (Trafikverket, 2023c). Enligt Trafikverket skulle bland annat ett suicideskydd av säkerhetsklass tre införas. Skyddet ska betraktas som en tät skärm och dimensionerades för snöplogningslast. Källorna beskriver dessutom att bron skulle förses med ett genomskinligt elskydd som placerades minst 3 meter från spårmit. Elskyddsanordningen har en teknisk livslängd på 40 år och utformades med hänsyn till snö och vatten enligt Trafikverkets krav. Då broprojektet innefattar en järnväg fanns det krav att broräcket uppnår en höjd på minst 1,10 meter från översidan av kantbalken samt att räcket skulle förses med skyddsnet. För räckets infästning i bron skulle tillhörande skruvar, muttrar och brickor bestå av rostfritt stål samt besitta en effektiv korrosionsbeständighet. Komponenternas kvalitet skulle uppfylla kraven enligt de föreskrifter som anges i SS-EN 10088-1 (Svenska Institutet för standarder, 2024) till och med SS-EN 10088-5 (Svenska institutet för standarder, 2009).

1.5.2.1 Laster

Bron dimensionerades för flera olika typer av laster: egentygnd och variabla laster. Egentygnden består av konstruktionen i sig samt tillhörande delar såsom räcke och andra detaljer, medan de variabla lasterna är i form av laster från trafik. Lasternas storlek påverkar konstruktionens livslängd eftersom ökad last ger upphov till större slitage och därmed kortare livslängd. Brokonstruktionen behövde dessutom dimensioneras med avseende på omkringliggande miljö och de förutsättningar den medförde. Då bron kommer vara belägen i ett skogstätt område kommer konstruktionen utsättas för temperaturskillnader och fukt som i sin tur leder till expanderat eller krympt material. I dimensioneringen behövde dessa effekter beaktas.

1.5.3 Geotekniska förutsättningar

Området kring Gullvagnen där bron ska byggas utgörs till större delen av fastmark av sandig morän, se bilaga A. Jorddjupet är cirka 0–5 meter, se bilaga A, vilket indikerar mycket tunt till icke-befintligt jordtäck. Bron skulle alltså kunna grundläggas direkt på berg vilket ur ett ekonomiskt perspektiv skulle kunna vara fördelaktigt, alternativt att jorden schaktades bort vid behov. Bergarten är granit, se bilaga A.

2 Litteraturstudie

För att kunna dimensionera, utforma och göra ett kvalitativt val av bro behövdes en informationsinsamling inom ett antal olika områden. Därav gjordes en litteraturstudie där information söktes i olika kravskrifter, till exempel Eurokod eller från Trafikverket och akademiska rapporter.

2.1 Konstruktionsmaterial för brobygge

Detta kapitel beskriver de tre vanligaste materialen inom brobyggnad: stål, betong och trä. Materialens olika fysikaliska egenskaper ger upphov till skilda verkningssätt, vilket ställer unika krav på både utformning och utförande av brokonstruktionen.

2.1.1 Betong

Betong är ett mångsidigt byggnadsmaterial med hög beständighet, lång livstid och som kan återanvändas till fullo (Svensk betong, u.å.). Armerad betong är det mest använda konstruktionsmaterialet, år 2019 byggdes två tredjedelar av alla byggnader globalt av armerad betong (Naturskyddsföreningen, 2021).

Betong som konstruktionsmaterial används tillsammans med armering eftersom betong är tio gånger så starkt i tryck som i drag (Al-Emrani et.al, 2013), därför kompenseras denna svaghet med armering i stål som är mycket starkt i drag. Betong består av en blandning av cement, vatten och berg i form av sand, grus eller sten (KTH, 2021), där kvoten mellan vatten och bindemedel påverkar hur lättbearbetad massan och hållfastheten är. Det innebär att en ökad mängd vatten ger en betong med lägre hållfasthet och stora krympningar vid härdning men en mer lättbearbetad massa. Minskar man däremot mängden vatten får man en trögare massa men en betong med högre hållfasthet och mindre krympningseffekter. En normal volymfördelning av materialen är 80 procent berg, 14 procent cement och 6 procent vatten (Betongföreningen, u.å.), men andra tillsatser kan användas för att uppnå önskade egenskaper i betongen. Till exempel kan slagg eller andra restprodukter från industrin tillsättas för att förstärka betongen (Betongföreningen, u.å.), vilket också är hållbart då restprodukter återanvänds på ett mer gynnsamt sätt till exempel genom att minska totala andelen koldioxidutsläpp.

Konstruktören behövde beakta fenomenet krympning vid sina beräkningar eftersom det inte går att undvika, oavsett belastning (Al-Emrani et.al, 2013). Beteendet uppstår genom kemiska reaktioner under betonghårdnandet och även under uttorkningen av vatten (Al-Emrani et.al, 2013). Omfattningen av krympningen påverkas av betongsammansättning och yttre miljö och leder till att betongvolymen minskar. Beteendet kan leda till påkänningar i både armering och betong, om dessa inte tas i beaktning kan det leda till sprickbildning (Al-Emrani et.al, 2013).

Betongkonstruktioner har dessutom krypbeteende som innebär tidsberoende deformation vid belastning (Al-Emrani et.al, 2013), som kan innebära problem i form av nedböjningar vid till exempel spännarmerade brokonstruktioner. Även detta är ett beteende att ta i beaktning vid dimensionering (Al-Emrani et.al, 2013).

2.1.2 Stål

Stål kännetecknas av hög hållfasthet i både tryck och drag (BE Group, 2016). Detta ger möjlighet till slanka brokonstruktioner och långa spännvidder. Materialet har hög hållfasthet vilket leder till att färdiga konstruktioner kan ha en låg totalvikt vilket minskar marktrycket och förenklar grundläggningen, samtidigt som frånvaron av långtidseffekter som krypning och krympning bidrar till en stabil geometri över tid (BE Group, 2016).

Stål är ofta lämpligt i brokonstruktioner då produktionsmetoden medför industriell och standardiserad tillverkning med hög dimensionsnoggrannhet och noggrann kvalitetskontroll (Al-Emrani et.al, 2013). Bärande ståldelar tillverkas vanligtvis i fabrik och transporteras därefter till byggplatsen för montering, vilket bidrar till en effektiv byggprocess och snabb montering. Al-Emrani med flera medger även att det oftast är svetsade balkar som väljs framför valsade profiler när kraven på bärförmåga och momentkapacitet är höga. Genom att utforma svetsade tvärsnitt kan balkens geometri anpassas efter de moment och krafter som bron ska uppta, vilket ger ett effektivt materialutnyttjande jämfört med standardiserade valsade profiler.

I Boken *Byggnadsmaterial* skriver Burström att materialets korrosionskänslighet och utmattningsrisk samtidigt ställer krav på återkommande underhåll och skyddande ytbehandlingar för att bibehålla bärförmågan. Beroende på vilken typ av stål samt vilket korrosionsskydd som används kan livslängden variera. De mest beständiga stålen kan uppnå en beräknad livslängd på 120 år (Burström, 2007).

En negativ aspekt med stål som material är den energikrävande produktionen som genererar relativt mycket växthusgaser. Ur ett livscykelperspektiv vägs ändå stålproduktionens höga energianvändning upp av materialets fullständiga cirkuläritet (BE Group, 2016). Stål har alltså en väldigt bra förmåga att återanvändas utan att kvaliteten äventyras.

2.1.3 Trä

Trä är ett vanligt byggmaterial som används på global nivå. Materialet är ortotrop vilket innebär att det har olika förmågor beroende på belastningsriktning (Träguiden, 2021). Det är starkare längs med fibrerna och svagare i vinkelrät riktning.

Trä är ett förnybart byggnadsmaterial (Träguiden, 2021) och har lägre klimatpåverkan än stål och betong. Detta kan förklaras av ett lägre energibehov vid produktionsfasen och att materialet lagrar koldioxid under hela sin livslängd och har dessutom goda möjligheter till återanvändning.

En ytterligare aspekt med trä är dess låga egenvikt, vilket medför flera fördelar (Mahnert & Hundhausen, 2018). Den låga vikten minskar krav på grundläggning och leder till kortare byggtid. Materialet blir då också enklare att transportera och hantera under byggprocessen. Egenvikten kan dock dessutom vara en nackdel eftersom det gör materialet vibrationskänsligt. Träets låga elasticitetsmodul innebär risk för knäckning och andra instabilitetsfenomen.

En nackdel med trä är att dess känslighet mot sin omgivning, särskilt i form av absorption av fukt vilket kan leda till röta (Fjellström & Pousette, 2004). Träbroar konstrueras i regel endast för en livstid på 80 år (Trafikverket, 2023b).

2.2 Hållbarhetsaspekter

Hållbarhetsaspekter beaktades i ett tidigt skede av projekteringen. Även om ingen fullständig livscykelanalys (LCA) eller livscykelkostnadsanalys (LCC) genomfördes inom ramen för detta arbete, kunde grundläggande hållbarhetsprinciper ändå användas som stöd vid val av brotyp och konstruktionslösning. Tidiga beslut kring brons utformning, materialval och produktionsmetod påverkade brons ekonomiska, ekologiska och sociala hållbarhet. Hållbarheten delades i detta arbete in i ekonomisk, ekologisk och social hållbarhet, vilka behandlades var för sig i följande avsnitt.

2.2.1 Ekonomisk hållbarhet

Den ekonomiska hållbarheten för den aktuella bron påverkas av både investeringskostnader och framtida drift- och underhållskostnader. I ett tidigt skede var det svårt att fastställa exakta kostnader då dessa beror på faktorer som materialval, spännvidd, grundläggningsförhållanden och produktionsmetod. För en mindre bro med låg trafikmängd, cirka 125 fordon per dygn (bilaga E), var det särskilt viktigt att undvika överdimensionerade lösningar som kunde leda till onödigt höga investeringskostnader. Samtidigt bör konstruktionslösningen ge tillräcklig beständighet för att begränsa framtida underhållsbehov. En bro med något högre initial kostnad kunde därmed vara mer ekonomiskt hållbar över tid om den medförde lägre kostnader för inspektion, reparation och underhåll.

2.2.2 Ekologisk hållbarhet

Ur ett ekologiskt perspektiv påverkas brons miljöpåverkan främst av materialåtgång, materialens klimatpåverkan samt bygg- och transportprocesser. Valet av brotyp och konstruktionslösning för den aktuella bron kan bidra till minskad miljöpåverkan genom effektiv materialanvändning och anpassning till platsens förutsättningar. Det är även viktigt att försöka minimera påverkan på omgivande mark och natur under byggskedet för att orsaka minimal störning i omgivande ekosystem. Material med lång livslängd och god beständighet kan minska behovet av framtida åtgärder och därmed reducera den totala klimatpåverkan över brons livscykel. Samtidigt var det viktigt att försöka anpassa konstruktionen till den befintliga miljön, i mån om att påverka det lokala ekosystemet så lite som möjligt. I ett tidigt skede kunde ekologisk hållbarhet därför främjas genom enkla och robusta konstruktionslösningar med begränsad materialåtgång (Milić & Bleiziffer, 2024).

2.2.3 Social hållbarhet

Den sociala hållbarheten för den planerade bron berör både trafikanter, närmiljö och de som arbetar med byggnation och framtida underhåll. Med den relativt låga trafikmängden var det rimligt att bron utformades för god trafiksäkerhet utan att skapa onödiga hinder eller otrygga miljöer. Säkerheten för trafiken på bron samt för tågtrafiken på Ostlänken under bron var en central aspekt. Under byggskedet skulle arbetsmiljön för arbetare prioriteras genom val av produktionsmetoder som minimerar

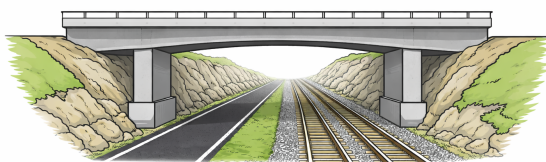
riskfyllda moment. Även upplevelsen av trygghet och tydlighet i anläggningen var viktig, exempelvis genom tillräcklig fri höjd, god sikt vid överfart och tydlig utformning, vilket bidrog till en långsiktigt socialt hållbar lösning.

2.3 Olika typer av brokonstruktioner

I detta kapitel presenteras ett urval av brotyper och deras grundläggande tekniska egenskaper. Beskrivningen fokuserar på broarnas konstruktiva utformning och hur de är uppbyggda för att hantera belastning.

2.3.1 Plattbro

Plattbroar kännetecknas av en överbyggnad bestående av en homogen betongplatta, vilket gör konstruktionstypen särskilt lämplig i projekt där den tillgängliga konstruktionshöjden är begränsad. Underbyggnaden utformas vanligtvis som pelare eller skivstöd. Vid dimensionering av platta konstruktioner som utsätts för koncentrerade laster måste risken för genomstansning beaktas, vilket kan kräva användning av lastfördelande förstärkningsplattor. En fritt upplagd, kontinuerlig plattbro har normalt en spännvidd med en övre gräns på cirka 25 meter om den är slakarmerad. Spännarmerade konstruktioner nå upp till 35 meter, vilket gör att valet av armeringsteknik är avgörande för brons räckvidd. För att minska risken för stor kraft uppåt i lagren vid ändstöden bör ytterspannens längd anpassas i förhållande till innerspännvidden enligt rekommendationer i Trafikverkets broregelverk (Trafikverket, 2018). Den enkla geometrin innebär att teknisk funktion och ett effektivt utnyttjande av utrymme prioriteras framför estetiska uttryck. Brotypens främsta styrka ligger därför i dess enkla utformning, vilket möjliggör en resurseffektiv materialanvändning i miljöer där tillgängligt utrymme är begränsat.



Figur 2.1: Exempel på plattbro. (Skapad med OpenAI).

2.3.2 Balkbro

Typen balkbro har mycket likheter med plattbron i sin utformning. Båda har ett plattelement som ofta utgörs av körbanan. Skillnaden är att balkbrons huvudbärverk består av underliggande balkar. Detta leder till att balkbron endast bär last i längsriktningen, medan plattbrons plattelement ofta är tjockare och tar upp last även i tvärriktning. Balkarna dimensioneras efter de moment och tvärkrafter som trafik och egenvikt orsakar. Denna brotyp är dessutom inte bunden till något speciellt material utan kan konstrueras och användas i både betong, stål och trä (Skogskunskap, 2024).

Det som är negativt med balkbron jämfört med plattbron är att det ofta kräver en högre konstruktionshöjd, men är mer kompatibla för längre spännvidder än plattbron. En till

fördel med balkbron är att det ofta kan byggas snabbt då balkarna skjuts ut från sidan eller lyfts på plats, vilket möjliggör minimal trafikstörning (Janhunnen, 2023).



Figur 2.2: Exempel på balkbro. (Skapad med OpenAI).

2.3.3 Fackverksbro

En fackverksbro består oftast av stål och kännetecknas av att en serie sammankopplade vertikala och diagonala stänger om vartannat, som kan belastas både i tryck och drag (Britannica, 2024). Fördelen med denna brotyp är dess låga vikt i förhållande till vad den kan bära (Britannica, 2024), där kombinationen av låg egenvikt tillsammans med hög styvhet gör att designen lämpar sig för långa spannvidder. Underhåll av stålkonstruktioner handlar till stor del att förhindra korrosion, genom till exempel ytbehandling eller rengöring.



Figur 2.3: Exempel på fackverksbro. (Skapad med OpenAI).

2.3.4 Bågbro

En bågbro är en konstruktion vars bågar utnyttjas för att hantera de vertikala laster som bron utsätts för. Brons egentynghet samt andra yttre laster såsom trafiklast och vindlast fördelas om till horisontella laster som förs vidare till landfästena och vidare ner i marken (F. Schanack, O.R. Ramos, 2016). Bågbroar har byggts i flera tusen år och förekommer i olika material. De första bågbroarna byggdes i sten då tillgången på materialet var stor medan modernare bågbroar vanligtvis byggs i betong och bärverksstål. Bågbroar kan även byggas i trä där bågarna utgörs av limträ och förbinds i tvärriktningen med hjälp av förband eller skivor (Träguiden, 2015).

Schanack och Ramos beskriver att bågen kan placeras på tre sätt; ovanför brobanan, under brobanan samt att en del av bågen är under respektive över brobanan. Vidare beskriver författarna att om bågarna är fast inspända i landfästena uppstår ingen rotation i grundläggningen och konstruktionen blir styvare och därmed minskar risken för

nedböjning. Denna lösning är fördelaktig när marken är stabil då krafterna i grundläggningen ökar. Vid val av bågbro behöver utmaningar såsom underlag beaktas. Då brons egentyngd är hög och landfästena är av största vikt, ökar kravet på en stabil grund. Bågbrons komplexa konstruktion blir dessutom mer kostsam än flera andra brotyper med enklare form. Trots dessa nackdelar ger bågbrons estetiskt tilltalande design ett eftertraktat brokoncept.



Figur 2.4: Exempel på bågbro. (Skapad med OpenAI).

2.3.5 Samverkansbro

En samverkansbro är en konstruktion som kombinerar två olika material för att optimera och utnyttja deras respektive egenskaper. Konstruktionen består ofta av stålbalkar med en pågjuten betongbrobana ovanpå, se figur 2.5. Vid belastning innebär detta att betongen huvudsakligen belastas i tryck medan stålet belastas i drag, vilket motsvarar materialens starkaste egenskaper (Hällmark, 2018).

För att betongen och stålet ska samverka används skjuvförbindare i form av studs, som svetsas på den övre stålflänsen och därefter gjuts in i betongen. Dessa förhindrar glidning mellan materialen och gör att konstruktionen fungerar som ett gemensamt bärande tvärsnitt (Hällmark, 2018).

Stålbalkarna kan alternativt utformas som lådbalkar, vilket är en bra lösning vid större spännvidder, medan I-balkar kan vara mer optimalt vid kortare spännvidder som inte kräver en lådbalkslösning.



Figur 2.5: Exempel på samverkansbro. (Skapad med OpenAI).

2.3.6 Hängbro

Hängbroar konstrueras av styva, kontinuerliga balkar som spänns upp av kablar i drag. Den primära kabeln är uppspänd mellan två pelare och förankrad i marken. Pelarna bär

lasterna vertikalt i tryck ner mot marken där de är fast förankrade. Balken hängs vertikalt till primära kabeln med sekundära kablar eller linor (Britannica, 2025).

Hängbroar används oftast då bron behöver gå över mycket stora spännvidder, därför är hängbroar inte särskilt vanliga i Sverige (Janhunen, 2023). En variant på hängbroar är snedkabelbroar där brobanan i stället bärs upp av sneda kablar som är infästa i höga pyloner. Ett exempel på en snedkabelbro i Sverige är huvudspannet på Öresundsbron. Enligt WSDOT (u.å.) har hängbroar en spännvidd på ca. 600–2100 meter.



Figur 2.6: Exempel på hängbro. (Skapad med OpenAI).

3 Framtagning av brokoncept

I detta kapitel viktas broar mot varandra i syfte att slutligen nå fram till det lämpligaste konceptet för detta fall. Detta gjordes i tre olika etapper, så kallade urvalsprocesser, där de successivt blir mer specificerade och ingående.

3.1 Urvalsprocess 1

I den första urvalsprocessen skulle endast de broar som inte uppfyllde de grundläggande kraven sällas bort. Det är de broar som inte uppfyllde spännvidden 25 meter, livslängden 120 år och den fria höjden 6,7 meter.

Tabell 3.1: Urvalsprocess 1

Brotyp	Material	Normal spännvidd [m]	Uppfyller vår spännvidd	Uppfyller livslängden 120 år	Uppfyller krav på fri höjd	Vidare till nästa urvalsprocess?
Plattbro	Slakarmerad betong	≤ 25	Ja	Ja	Ja	Ja
Plattbro	Spännarmerad betong	≤ 35	Ja	Ja	Ja	Ja
Fackverksbro	Stål	$30 \leq$	Nej	Ja	Ja	Nej
Bågbro	Betong och stål	10–60	Ja	Ja	Ja	Ja
Samverkansbro (I-balk)	Betong och stål	20–60	Ja	Ja	Ja	Ja
Samverkansbro (Lådbalk)	Betong och stål	40–120	Nej	Ja	Ja	Nej
Hängbro	Trä	20–100	Ja	Nej	Ja	Nej
Hängbro	Betong och stål	$610 \leq$	Nej	Ja	Ja	Nej
Balkbro	Slakarmerad betong	≤ 25	Ja	Ja	Ja	Ja
Balkbro	Spännarmerad betong	≤ 200	Ja	Ja	Ja	Ja
Balkbro	Trä	≤ 30	Ja	Nej	Nej	Nej

3.2 Urvalsprocess 2

I urvalsprocess två utvärderades de olika brotyperna utifrån andra mer specifika kriterier i syfte att identifiera den mest lämpliga brotypen.

3.2.1 Urvalskriterierna

Kriterierna bedömdes ha olika stor betydelse och viktades därför mot varandra för att tydliggöra vilka aspekter som var viktigast att beakta vid detta brobygge. Detta sammanställdes i en kriteriemall. De olika kriterierna som valdes var estetik och innovation, trygghet, miljöpåverkan, ekonomi, produktionsmetod, produktionstid, inspektion, beständighet och arbetsmiljö.

3.2.1.1 Estetik och innovation

Kriteriet avser förutsättningarna för att skapa en tilltalande brokonstruktion med avseende på estetik och innovation.

3.2.1.2 Trygghet

Kriteriet beskriver till vilken grad brokonceptet uppnår trygghet för trafikanter som färdas över bron samt för järnvägen under. Tryggheten innefattar bland annat god sikt i trafiken samt hur mycket ljus som erbjuds för att minska risken för olyckor.

3.2.1.3 Miljöpåverkan

Kriteriet handlar om hur stor miljöpåverkan bron orsakar utifrån materialåtgång, underhåll, produktion och transporter. Bedömningen inom kriteriet görs utifrån rimliga antaganden, inte ur noggranna kontroller.

3.2.1.4 Ekonomi

Ekonomi är en viktig aspekt vid brobyggnation då projektet normalt styrs av en fastställd budget från beställaren. Kostnader uppstår inte enbart under projektering och produktion, utan även under brons hela livslängd genom drift, underhåll och eventuella reparationer. Att bedöma den totala kostnaden är komplext eftersom den påverkas av val av brotyp, material, personalinsatser och framtida förvaltningsbehov. En fullständig livscykelkostnadsanalys ger den mest rättvisande bilden, men en sådan analys ingår inte i detta arbete, därför behandlas den ekonomiska aspekten översiktligt med fokus på konstruktions- och materialkostnader kopplade till respektive brokoncept.

3.2.1.5 Produktionsmetod

Produktionsmetoden styr hur konstruktionen i praktiken kan uppföras och är direkt kopplat till anpassning av platsens och konstruktionens förutsättningar. Olika brotyper innebär olika byggmetoder och påverkar vilka personal-, maskin- och materialresurser man har behov av.

Omständigheter som avgör vilken produktionsmetod som kan anses lämplig kan vara närhet till trafik eller geotekniska förhållanden. Detta kan påverka konstruktionens totala kostnad om metoden innefattar omfattande temporära konstruktioner eller avancerad utrustning. Metoden är även avgörande för arbetsmiljön och säkerheten under själva byggskedet. Höga höjder, tunga lyft eller närhet till trafikerad miljö innebär högre risknivå.

3.2.1.6 Produktionstid

Produktionstiden av bron har en direkt koppling till projektets kostnad och samhällspåverkan, till exempel i form av hur länge trafiken behöver ledas om temporärt. Eftersom bron byggs där det inte ännu finns vare sig järnväg eller trafikerad väg, kommer inte någon trafik behöva omdirigeras eller körsträckor stängas av. Tidsaspekten under konstruktionstiden är relevant snarare på grund av personalkostnader och tiden där maskiner nyttjas. Dessutom ökar långa byggprojekt exponeringen för väderpåverkan och ökar risken för exempelvis korrosion. Produktionsmetoden, bland annat huruvida brodelar är platsgjutna eller prefabricerade har en direkt koppling till produktionstiden.

3.2.1.7 Inspektion

En stor del av att en bro ska vara samhällsekonomisk bygger på möjligheten att kunna genomföra regelbundna inspektioner och underhållsarbeten. Det gäller att väga in framtida förvaltning av bron då livslängden ofta sträcker sig över 100 år. Speciella

materialkombinationer och komplexa utformningar kan resultera i en effektiv materialsnål lösning, samtidigt som möjligheten till inspektion försvåras. Exempel på åtgärder för att förlänga en broslivslängd kan vara byte av kantbalkar, räck och tätskikt (Trafikverket, 2025).

3.2.1.8 Beständighet

Detta kriterium avser brons förmåga att motstå nedbrytande påverkan under sin tekniska livslängd. I detta fall gäller det en livslängd på 120 år vilket resulterade i att denna parameter prioriterades relativt högt i urvalsprocessen. En bro med god beständighet kräver mindre omfattande underhåll över tid och bidrar därmed till lägre livscykelkostnader samt högre driftsäkerhet. Bedömningen inom kriteriet baseras på respektive brotyps känslighet för nedbrytning och dess långsiktiga hållbarhet. Det som framför allt avgör konstruktionens beständighet är materialval, typ av tätskikt och detaljutformningar. Beständigheten är även starkt kopplat till inspektions- och underhållsmöjligheterna vilket är ett annat kriterium som har beaktats vid framtagning av brokoncept.

3.2.1.9 Arbetsmiljö

Arbetsmiljö avser de förhållanden som råder på byggarbetsplatsen under produktionen av bron. Faktorer som säkerhet, ergonomi, materialhantering och val av produktionsmetod påverkar arbetsmiljön i stor utsträckning. Olika brotyper, materialval och konstruktionslösningar medför skilda risker och arbetsmoment, vilket ställer olika krav på säkerhetsåtgärder. En god arbetsmiljö är central för att minska risken för olyckor och ohälsa samt för att skapa trygga arbetsförhållanden under projektets genomförande.

3.2.2 Viktning av urvalskriterier

I kriteriemallen jämfördes kriterierna parvis med ett 1-2-3-system. Detta fungerade på så vis att en etta betyder att det aktuella kriteriet bedömdes mindre viktigt än det jämförda kriteriet, en tvåa innebär att de ansågs lika viktiga och en trea betyder att det aktuella kriteriet bedömdes vara viktigare än det andra. Poängen för respektive kriterium summerades därefter och omvandlades till en procentsats som visar kriteriets relativa betydelse. Ju högre procentsats, desto större vikt har kriteriet i den samlade bedömningen.

Tabell 3.2: Urvalsprocess 2. Viktning av urvalskriterier.

Urvalskriterier	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Summa	Viktning
1. Estetik och innovation		1	1	1	2	2	1	1	1	10	6,94%
2. Trygghet	3		3	3	3	3	3	2	2	22	15,28%
3. Miljöpåverkan	3	1		3	3	3	1	1	1	16	11,11%
4. Ekonomi	3	1	1		2	3	1	1	1	13	9,03%
5. Produktionsmetod	2	1	1	2		2	2	1	1	12	8,33%
6. Produktionstid	2	1	1	1	2		1	1	1	10	6,94%
7. Inspektion / Underhåll	3	1	3	3	2	3		2	2	19	13,19%
8. Beständighet	3	2	3	3	3	3	2		2	21	14,58%
9. Arbetsmiljö	3	2	3	3	3	3	2	2		21	14,58%
										144	100,00%

Resultatet i tabell 3.2 visar alltså att trygghet bedömdes vara det mest betydelsefulla kriteriet att ta hänsyn till, medan estetik och innovation tillmättes lägre prioritet i detta projekt.

3.2.3 Utvärdering av broar

Broarna som gick vidare från urvalsprocess två utvärderades nu ytterligare för att få fram den optimala brotypen för detta projekt. De två plattbroarna, samverkansbron, bågbron och balkbroarna betygsattes på en skala 1–5, hur väl de uppfyller de olika kriterierna från kriteriemallen. Detta multiplicerades sedan med procentsatsen från kriteriemallen för att få ett viktat resultat. Den brotypen med högst poäng valdes sedan att gå vidare med för att utveckla.

Tabell 3.3: Urvalsprocess 2. Utvärdering av broar.

Urvalskriterier	Plattbro slakarmerad		Plattbro spännarmerad		Bågbro		Samverkansbro		Balkbro slakarmerad		Balkbro spännarmerad	
	Betyg	Viktning	Betyg	Viktning	Betyg	Viktning	Betyg	Viktning	Betyg	Viktning	Betyg	Viktning
1. Estetik och innovation	3	0,07	3	0,07	5	0,07	2	0,069	2	0,069	2	0,069
2. Trygghet	5	0,15	5	0,15	4	0,15	5	0,153	5	0,153	5	0,153
3. Miljöpåverkan	4	0,11	5	0,11	2	0,11	5	0,111	4	0,111	5	0,111
4. Ekonomi	4	0,09	4	0,09	1	0,09	2	0,090	3	0,090	3	0,090
5. Produktionsmetod	5	0,08	4	0,08	2	0,08	4	0,083	5	0,083	4	0,083
6. Produktionstid	4	0,07	2	0,07	1	0,07	5	0,069	4	0,069	2	0,069
7. Inspektion	4	0,13	3	0,13	1	0,13	1	0,132	4	0,132	3	0,132
8. Beständighet	4	0,15	5	0,15	5	0,15	3	0,146	4	0,146	5	0,146
9. Arbetsmiljö	4	0,15	3	0,15	2	0,15	4	0,146	4	0,146	3	0,146
Summa:		4,17		3,92		2,66		3,472		4,007		3,764

3.3 Urvalsprocess 3

För att gå vidare i urvalsprocessen gjordes en bedömning som tog hänsyn till krav och önskemål utifrån aspekterna beställare och konstruktion, produktion samt förvaltning. Nedan jämförs de två broar som enligt tabell 3.3 fick högst poäng: slakarmerad plattbro och slakarmerad balkbro.

3.3.1 Beställare - och konstruktionsaspekter

För att ta hänsyn till beställare- och konstruktionsaspekter bearbetades perspektiv som innefattar genomförbarhet, ekonomiska aspekter, miljöpåverkan och beräkningsbarhet.

För en slakarmerad plattbro ligger spännvidden på 25 meter i det övre spannet för vad som är genomförbart utan mittstöd. Därför kan det komma att krävas stor betongvolym och hög konstruktionshöjd för att klara moment- och nedböjningskrav (Janhunen, 2023). Samtidigt fördelas lasten på en större yta jämfört med hos en balkbro, vilket medför att man kan få till lägre konstruktionshöjd.

En slakarmerad balkbro är anpassad för något större spännvidder jämfört med plattbron (Janhunen, 2023). För effektiv momentupptagning koncentreras materialet till balkarna, vilket innebär lägre egenvikt och mer resurseffektiv materialanvändning, men också högre konstruktionshöjd. Trots den höga konstruktionshöjden hos plattbron är den slankare än balkbron vilket kan göra att plattbron ger ett bättre visuellt intryck.

3.3.2 Produktionsaspekter

Vid val av brokoncept behövde aspekter relaterade till produktion beaktas vidare. Dessa innefattar produktionstid, produktionsmetod samt arbetsmiljö. Plattbron och balkbron har många likheter när det gäller dessa aspekter. Trafikverket ställer krav på arbetsmiljön och förutsatt att dessa uppfylls anses byggplatsen vara säker (Trafikverket, 2023c). Arbetsmiljön vid byggnation av båda broarna ansågs god då de bygger på enkla konstruktioner med få komponenter vilket minskar risken för olyckor.

Fördelen med båda brokoncepten är att de kan både prefabriceras och platsgjutas. Detta möjliggör en frihet att påverka produktionstiden och arbetsmiljön. Det som skiljer de två broarna åt är att plattbron har en något enklare geometri och kan därför effektivisera produktionen och därmed reducera produktionstiden.

3.3.3 Förvaltningsaspekter

Broar dimensioneras för en lång teknisk livslängd, vilket ställer krav på regelbunden inspektion och underhåll för att säkerställa att konstruktionen fortsätter uppfylla krav på bärförmåga, trafiksäkerhet och beständighet (Trafikverket, 2025). I Sverige ansvarar Trafikverket för ett systematiskt broförvaltningsprogram där broar inspekteras återkommande genom olika typer av inspektioner. Vanligtvis genomförs allmän inspektion med några års mellanrum och mer omfattande huvudinspektioner ungefär vart sjätte år. Vad som huvudskakningen kontrolleras ses i tabell 3.4 nedan (Trafikverket, 2021).

Tabell 3.4: Kontrollpunkter ur ett förvaltningsperspektiv.

Kontrollpunkt	Krav
Ytskador betong	Ej funktionsnedsättande skador
Kloridhalt (ospänd armering)	< 0,30 % av cementvikt
Kloridhalt (spännarmering)	< 0,10 % av cementvikt
Tryckhållfasthet	Enl. SS-EN 13791
Spräckhållfasthet	≥ 7 % av uppmätt f_{ck} (min 6 % nominell)
Mikrosprickor	Får ej förekomma
Karbonatisering	Får ej nå armering
Täckskikt	$\geq$ stångdiameter
Frostbeständighet	Enl. SS 13 72 44, metod A
Korrosion armering	Får ej pågå
Areaförlust bärande armering	> 10 % → ersätts
Areaförlust övrig armering	> 20 % → ersätts

När olika brotyper jämförs kan inspektionsbehovet påverkas av konstruktionens utformning och tillgänglighet. En betongplattbro har en enkel och kompakt konstruktion utan underliggande balkar, vilket innebär färre konstruktionsdelar att kontrollera och generellt god åtkomst till undersidan av bron. En betongbalkbro består i stället av flera balkar som bär upp brobanan, vilket innebär fler ytor och detaljer som behöver inspekteras. Utrymmet mellan balkarna kan dessutom försvåra åtkomsten vid inspektion och underhållsarbeten. Därför kan en balkbro i vissa fall innebära ett något mer omfattande inspektionsarbete jämfört med en plattbro, även om båda

konstruktionstyperna i grunden följer samma krav på kontroll från Trafikverket som beskrivs ovan.

Utifrån ett förvaltningsperspektiv kan man konstatera att de båda brokoncepten har relativt likvärdiga förutsättningar. Det som gör att plattbron är lite bättre är dess simpla uppbyggnad med få konstruktionsdelar.

3.4 Resultat

Det slutgiltiga brokoncept som valdes var av typen plattbro då den bedömdes vara bäst lämpad utifrån de tre perspektiven beställare och konstruktion, produktion samt förvaltning. I detta kapitel presenteras och motiveras det valda brokonceptet för den aktuella passagen med avseende på produktion och anpassning till platsens förutsättningar.

3.4.1 Produktion

En plattbro kan utföras antingen som prefabricerad eller platsgjuten konstruktion. Prefabricering innebär att delar av byggprocessen flyttas till en fabrik, där betongelement tillverkas under kontrollerade former och därefter transporteras till byggarbetsplatsen för montering (Henegård & Andersson, 2020). Denna metod möjliggör hög precision och kvalitet, eftersom produktioner sker oberoende av yttre faktorer såsom väder och vind. Dessutom kan byggtiden på arbetsplatsen reduceras avsevärt, där elementen redan är färdigställda vid leverans och endast behöver läggas på plats.

Platsgjutning innebär däremot att hela tillverkningsprocessen sker direkt på byggarbetsplatsen (Henegård & Andersson, 2020). En fördel med platsgjutning är möjligheten att skapa helgjutna konstruktioner med stor geometrisk frihet, exempelvis anpassade tvärsnitt. Metoden medför även att behovet av transporter och tunga lyft av prefabricerade element elimineras, vilket kan förenkla logistiken på byggarbetsplatsen.

Med hänsyn till att projektet inte är tidskritiskt, då störning av trafik eller liknande inte görs, har platsgjutning valts som utförandemetod. Detta val möjliggör en flexibel utformning och en sammanhängande konstruktion utan att tidsvinster från prefabricering behöver prioriteras.

3.4.1.1 Tillverkningsprocess

Produktionen består av flera steg som säkerställer en stabil och funktionell konstruktion. Det första som görs är bergschaktning genom sprängning för att skapa utrymme för den planerade järnvägen med tillhörande serviceväg. Efter schaktningen genomförs påbörjas grundläggningsarbetet. Syftet med grundläggningen är att överföra laster från bron till berget på ett säkert sätt. Val av grundläggningsmetod baseras på geotekniska undersökningar som ger information om markens egenskaper och bärförmåga (Henegård & Andersson, 2020).

När grundläggningen är färdigställd uppförs en ställning som både fungerar som stöd för formen och som arbetsplattform under byggprocessen (Henegård & Andersson, 2020). Därefter byggs formen, i trä, men syfte att ge betongen dess avsedda geometri och dimensioner. Formen dimensioneras för att klara de laster som uppstår under

gjutningen. I formkonstruktionen placeras även rör för att skapa hål i betongen efter gjutningen för att reducera betongvolymen. Innan gjutning installeras också armering i formen. Armeringen har till uppgift att stärka konstruktionen i drag. När armeringsarbetet är slutfört och rören på plats påbörjas gjutningen av betongen (Henegård & Andersson, 2020). Betongen vibreras för att säkerställa god packning och minimera luftporer. Efter gjutningen måste betongen härda för att uppnå tillräcklig hållfasthet. När betongen uppnått tillräcklig hållfasthet rivs formen. Därefter fortsätter färdigställandet av bron, såsom montering av räcken, beläggning med asfalt och utförande av vägmarkeringar.

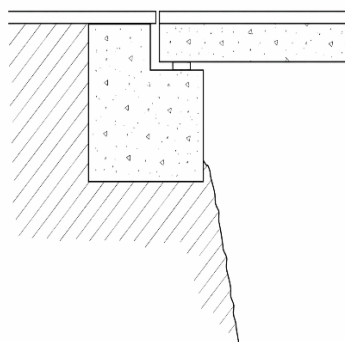
4 Dimensionering

I detta kapitel beskrivs processen av dimensioneringen av bron utifrån dess olika dimensioneringsområden. Det är de olika komponenterna lastfall, grundläggningsförutsättningar och maximala moment- och tvärkapaciteter som resulterat i en föreslagen tjocklek, armeringsmängd och utformning av bron.

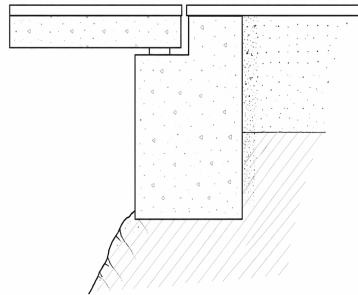
4.1 Grundläggning och landfäste

Valet av grundläggningsmetod styrdes i första hand av de geotekniska förhållandena på platsen. Då aktuellt område hade goda förutsättningar i form av fast berg bedömdes en enkel och kostnadseffektiv lösning vara möjlig. Metoder såsom pålning och markförstärkning valdes därför bort, då dessa främst är aktuella vid svagare jordförhållanden.

Den valda lösningen är i stället direkt grundläggning på berg, vilket innebär att betongfundament utförs direkt på avjämnat och nedsprängt berg (Brosamverkan, 2022). Metoden ger hög bärförmåga och medför mycket små sättningar, vilket är fördelaktigt för den aktuella brotypen, slakarmerad plattbro. De geotekniska förutsättningarna skiljer sig dock något mellan brons två ändar. Vid ena landfästet ligger berget vid markytan, medan det vid det andra landfästet överlagras av ett cirka 2–3 meter tjockt jordlager. På denna sida krävs därför schaktning av jordmassor ner till bergnivå innan grundläggning kan utföras. Fundamentet utförs därefter på berg, vilket innebär att grundläggningsprincipen blir densamma för båda landfästena. Se figur 4.1 och 4.2 för principiell skiss på grundläggning. För att säkerställa tillräcklig stabilitet i berget kring fundamenten bör bergförstärkning i form av bergbultar installerats. Bergbultar används för att stabilisera bergblock och fungerar som en armering av berget genom att öka bergmassans sammanhållning (Svenska Geotekniska Föreningen, 2021).

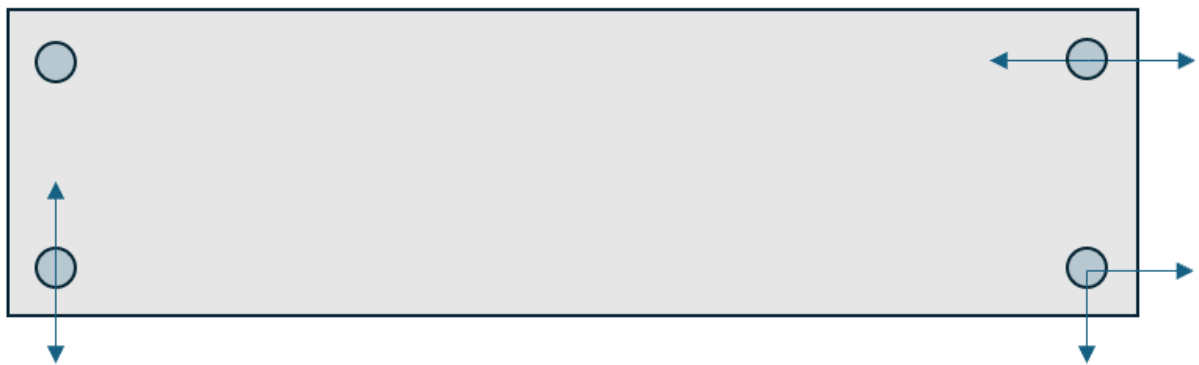


Figur 4.1: Skiss av direkt grundläggning på berg (egen skiss)



Figur 4.2: Skiss av direkt grundläggning på berg (egen skiss)

Det som möjliggör att bron kan förflytta sig i olika led kallas för lager (Brosamverkan, 2022). Dessa kopplar ihop överbyggnaden med underbyggnaden. Med andra ord är lagerna kopplingen mellan huvudbärverket och grundläggningen. De rörelser som kan uppkomma kallas för translationsrörelser och rotationsrörelser. Translationsrörelser uppstår till följd av exempelvis krypning, krympning och temperaturvariationer, och kan ske både horisontellt och vertikalt. Rotationsrörelser uppkommer främst som en följd av trafikbelastning, sättningar samt konstruktionens deformationsegenskaper. För att bron ska kunna genomföra dessa små rörelser utan att inre spänningar uppstår har en utformning av lager enligt figur 4.3 valts.



Figur 4.3: Val av lager och dess placering.

4.2 Lasteffekt

För dimensionering av bron krävdes beräkning av dimensionerande moment och tvärkrafter. Dessa bestämdes genom att identifiera och analysera de laster som kommer att verka på konstruktionen, i enlighet med SS-EN 1990, SS-EN 1991–2 samt Trafikverkets författningssamling TRVFS 2011:12. I den preliminära dimensioneringen användes beräkningsmodeller som baserades på LM1. Med hjälp av materialparametrar och tvärsnittsegenskaper togs de mest ogynnsamma lastfallen fram med CALFEM-funktioner i MATLAB både i tvärled och längsled där både horisontella och vertikala laster studerades. Beräkningarna utfördes på en meterstrimla i båda led och hela snittet analyserades utifrån dessa. Bron dimensionerades för en teknisk livslängd på 120 år. Samtliga beräkningar gällande lasteffekt redovisas i bilagor B-D.

4.2.1 Lastkombinering

Att fånga brons verkliga belastning som den kommer att utsättas för gjordes genom en idealiserad lastmodell uppbyggd av dimensionerande lastkombinationer, med givna dimensionerade värden på utbredd- och boggilast, se tabell 4.1. Kombinationerna togs fram i enlighet med SS-EN 1990. Dessa användes genomgående i dimensioneringsarbetet och bestämdes med hjälp av ekvationerna nedan. För värden på samtliga koefficienter se bilaga B.

Lastkombinationer i brottgränstillstånd bestäms utifrån det mest ogynnsamma utfallet av följande två ekvationer:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{SS-EN 1990, 6.10a})$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{SS-EN 1990, 6.10b})$$

Den karakteristiska lastkombinationen bestäms enligt:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{SS-EN 1990, 6.14b})$$

Den frekventa lastkombinationen bestäms enligt:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{SS-EN 1990, 6.15b})$$

Den kvasipermanenta lastkombinationen bestäms enligt:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{SS-EN 1990, 6.16b})$$

Tabell 4.1: dimensionerade värden på utbredd- och boggilast enligt SS-EN 1991–2

Läge	Boggisystem	Utbredd last
	Axellast Q_{ik} (kN)	q_{ik} (eller q_{rk}) (kN/m ²)
Lastfält nummer 1	300	9
Lastfält nummer 2	200	2,5

4.3 Beräkningsgång

I samråd med Markus Davidson från COWI har vi valt att studera huvudbärverket i meterstrimlor i både längs- och tvärled utifrån LM1 i enlighet med Eurokod SS-EN 1991–2. De laster som kommer från LM1 har även korrigerats efter nationella parametrar i form av anpassningsfaktorer som kommer ifrån TRVFS 2011:12, se tabell 2. Gällande boggilast har det använts två punktlaster i beräkningsmodellen med 2 meters avstånd i tvärled samt 1,2 meters avstånd i längsled. Lastspridning mellan de olika strimlorna har försummats i beräkningarna vilket gör att resultaten ligger på den säkra sidan med hänsyn till dess kapacitet. Beräkningsmodellerna för både längs- och tvärled har antagits som fritt upplagda balkar. Egentyngd på plattan och kantbalkar har

tagits fram med preliminära dimensioner och given tunghet på 25 kN/m³ för armerad betong. Större delen av bron består av ett ihåligt tvärsnitt i form av runda hål, men i brons ändar mellan lagerna har plattan antagits vara solid. För beläggningen används ett rimligt antagande på tungheten 23 kN/m³ och den beräknas med en godtycklig tjocklek 95 millimeter.

4.3.1 Tvärled

Brons bredd är 7,15 meter vilket medför att två lastfält på 3 meter vardera får plats. Utöver det finns 1,15 meter som kan ses som resterande lastfält i form utav en utbredd last. Benämningar och storlekar för samtliga laster erhålls i bilaga B. Den del av bron som blev kritisk gällande moment och tvärkraft var den del som ligger mellan lagerna. På grund av försummandet av lastspridning mellan meterstrimlorna har vi kommit fram till att inte räkna med det resterande lastfältet utöver lastfält 1 och 2.

4.3.1.1 Ogynnsam lastplacering i tvärled

För att bestämma den mest ogynnsamma lastplaceringen användes MATLAB. Inledningsvis studerades enbart lastfält 1 där den utbredda lasten placerades längst ut vid stödet i samband med de två boggipunktlaster som därefter förflyttades tvärs över balkens bredd i steg om 0,01 meter. För varje position beräknades motsvarande snittkrafter för att identifiera när moment och tvärkrafter blev som störst. Därefter kombinerades lastfält 1 och 2, och samma metodik tillämpades för att fastställa den mest kritiska lastplaceringen även för det kombinerade fallet. Dessa två jämfördes sedan med varandra för att urskilja den mest ogynnsamma lastplaceringen.

4.3.1.2 Resultat i tvärled

Avsnittet redovisar resultaten från de tvärgående beräkningarna. Det omfattar dimensionerande moment och tvärkrafter. För fullständig beräkningsgång i form av MATLAB-kod hänvisas till bilaga B.

Tabell 4.2: Dimensionerande moment och tvärkraft i tvärled.

Lasttyp	Maxmoment [kNm]	Max tvärkraft [kN]
Brottgräns	729	559
Karaktäristiskt	518	395
Frekvent	415	315
Kvasipermanent	135	96

4.3.1.3 Förenklingar

Brobanaplattan dimensioneras som en fritt upplagd balk på två stöd, vilket innebär att centrumavståndet motsvarar avståndet mellan lagren. I detta fall är lagrens centrum placerade 0,575 meter från respektive kant, vilket ger en spännvidd mellan lagren på 6 meter. Här blir det vissa förenklingar då lagerna har en viss bredd som inte tas i beaktning utan enbart ses som fria stöd. Förenklingen med fritt upplag innebär att de beräknade snittkrafterna i vissa avseenden kan avvika från de verkliga vilket i sin tur kan leda till en viss överdimensionering i den valda modellen. Beräkningarna genomförs som en iterativ process där tvärsnittets dimensioner successivt justeras under arbetets gång tills den färdiga modellen är fastställd.

4.3.2 Längsled

Till skillnad från beräkningarna i tvärlädd har endast lastfält 1 tagits med i beräkningarna för längsled, med laststorlekar enligt tabell 8 och korrigeringsfaktorer enligt tabell 9 i bilaga C.

4.3.2.1 Ogynnsam lastplacering i längsled

Den jämnt utbredda lasten ligger över hela spännvidden medan boggilasten med hjälp av MATLAB stegvis kör över hela spännvidden för att hitta den mest ogynnsamma placeringen, både vad gäller maxmoment och -tvärkraft. För fullständiga beräkningar hänvisas till bilaga C.

4.3.2.2 Resultat i längsled

För samtliga lastplaceringar och lastfall blev de maximala moment- och tvärkrafterna inom de olika lasttyperna enligt tabell 4.3. Beräkningar och resultat gjorda i MATLAB med CALFEM-tillägget redovisas i bilaga C.

Tabell 4.3: Dimensionerande moment och tvärkraft i längsled.

Lasttyp	Maxmoment [kNm]	Max tvärkraft [kN]
Brottgräns	4839	781
Karaktäristiskt	3828	617
Frekvent	3363	541
Kvasipermanent	2560	410

4.3.2.3 Förenklingar

Bron är utrustad med ett elskydd över järnvägen, vilket inte beaktats i beräkningen. Detta hade påverkat egentvängden på bron.

4.3.3 Temperaturlast

Vid temperaturskiftningar ändras volymen i bron vilket leder till dimensions ökning eller -minskningar och den behövde därför designas för att kunna hantera dessa rörelser för att undvika skador. För denna bro har temperaturlasten beräknats i enlighet med SS-EN 1991-1-5 där brotypen kategoriseras som betongbro.

För att fastställa de temperaturer som bron vid extremfall kan utsättas för hämtades maximal respektive minimal temperatur från SMHI:s mätstation i Norrköping (Vackertväder.se, 2013). Dessa lufttemperaturer konverterades till genomsnittliga temperaturer för betongen enligt föreskrifter från Eurokoden. Utetemperaturen på dagen bron härdades och låstes fast i stöden antogs i denna dimensionering vara 10°C, vilket gav differensvärden mellan de genomsnittliga betongtemperaturerna och inlåsningstemperaturen. Utöver den jämna temperaturförändringen beaktades även en vertikal temperaturgradient. Det kunde till exempel vara att brons ovansida värms upp av solen medan undersidan är i skugga eller vice versa. Enligt tabellvärden i Eurokod har en linjär temperaturskillnad för uppvärmning och avkylning antagits. Eftersom sannolikheten är låg att maximal lufttemperatur inträffar samtidigt som den maximala temperaturgradienten kombinerades lasterna med samtidighetsfaktorer där fyra kombinationer utvärderades för att identifiera det mest ogynnsamma scenariot för bron.

Då bron är rak och fritt upplagd resulterar temperaturförändringen i horisontella rörelser. Den teoretiska längdförändringen som beräknats ligger till grund för dimensionering av landfästen. Beräkningssteg och den MATLAB-kod som använts för att generera resultatet hittas i bilaga C.

4.3.4 Broms- och accelerationslast

Horisontella krafter i brons längsriktning uppstår vid inbromsning eller acceleration av fordonstrafik. Dessa har beräknats i enlighet med SS-EN 1991–2, kapitel 4.4.1.

Bromslasten antogs verka i nivå med vägbanan och fördelades längs relevant körfält. Den beräknades som en andel av de vertikala lasterna i LM1. Enligt Eurokod utgörs den totala bromslasten av summan av 60 % av total punktlast från boggin och 10 % av den totala utbredda lasten i körfältet. Den totala broms- och accelerationslasten för ett körfält ska ligga inom ett intervall på 180–900 kN enligt Eurocodes krav. Den beräknade lasten för den aktuella bron har kontrollerats mot dessa gränser för att verifiera att den ligger inom tillåtet intervall.

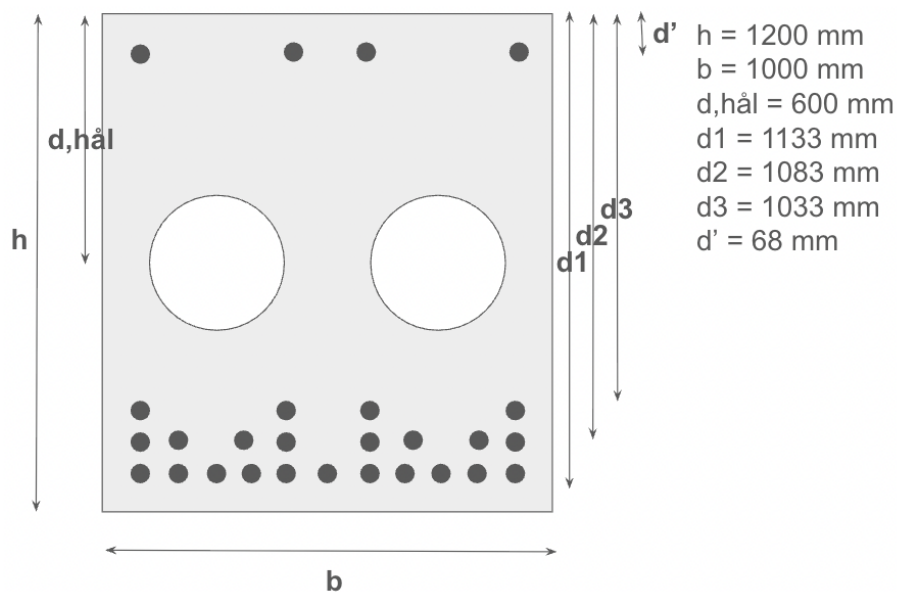
I beräkningssammanhang omnämns lasten som 'bromskraft', men värdet i resultatet omfattar både broms- och accelerationskrafter eftersom de har samma storlek men olika riktning. Fullständig beräkningsgång och den MATLAB-kod som använts för beräkning hittas i bilaga C.

4.4 Resultat

Betongklass valdes till C40/50 för att kunna klara de laster bron kommer utsättas för. Tillhörande materialegenskaper återfinns i bilaga D. Resultaten nedan är framtagna med MATLAB och samtliga beräkningar finns också i bilaga D.

4.4.1 Längsled

Tvårsnittet som valts i längsled visas nedan i figur 4.4. Brobanan har en höjd på 1,2 meter med håltvårsnitt för att minska materialanvändningen och egentyngden. Två hål, med diameter 30 centimeter, placerades per meter med 20 centimeters mellanrum. De placerades i mitten av tvårsnittet i vertikalled men avslutas 1 meter innan stöd på vardera sida. Tvårsnittet armerades med tre lager armering i underkant och ett lager i ovankant med en stångdiameter på 25 millimeter. I ovankant placerades fyra stänger armering och i underkant 23. De två övre lagren i underkant placerades med längre avstånd mellan varandra för att betongen ska kunna vibreras ner mellan armeringen.



Figur 4.4: Tvärsnitt i längsled.

Tvärkraftsarmering tillsattes också. Tvärkraftsarmeringsbyglarna har en diameter på 12 millimeter, lutning på 30 grader och placerades två mellan varje hål i tvärled. I längsled placerades de vid stöd med ett s-avstånd, dvs. centrumavståndet mellan tvärarmeringsbyglarna, på 400 millimeter. I fält är tvärkraften betydligt mindre vilket innebär att mindre tvärarmering kommer behövas, s-avståndet får då vara 1200 millimeter.

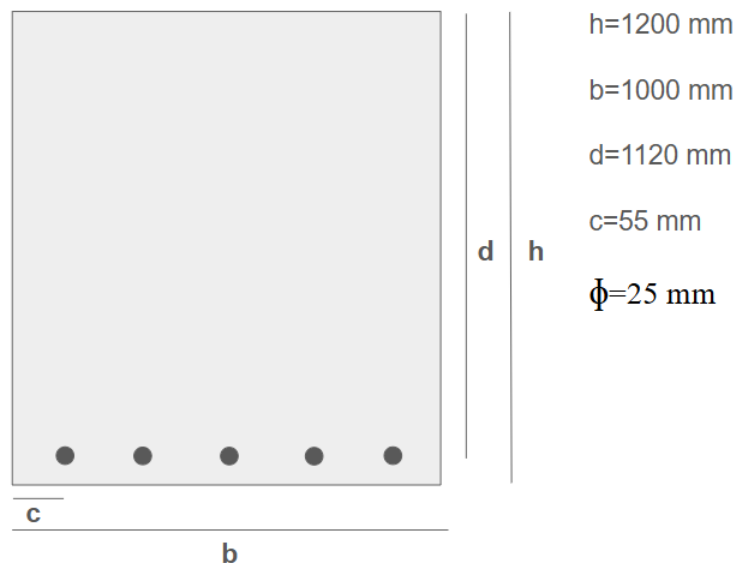
4.4.1.1 Kapacitet längsled

Tvärsnittet har en momentkapacitet på 5,07 MN vilket klarar brottlasten på 4,84 MN. Livtryckskapaciteten är 2,94 MN vilket klarar brottlasten på 0,78 MN. Skjuvglidbrottet klaras däremot inte utan tvärkraftsarmering, därav att det lades in.

Tvärsnittet spricker och har ett sprickmoment på 837 kN. Betongens tryckspänning i ovankant är 12,4 MPa och dragspänningen i det understa lagret armering är 385 MPa. Sprickbredden är 0,3 millimeter vilket klarar Eurokod kravet på 0,4 millimeter. Nedböjningen blir däremot 14,5 centimeter vilket inte uppfyller Eurokods krav på $L/200$ som innebär 12,5 centimeter för denna bro.

4.4.2 Tvärled

Tvärsnittet som valts i tvärled visas nedan i figur 4.5. Brobanan har en höjd på 1,2 meter och kommer armerades med ett lager armering i underkant. Lagret består av 5 armeringsstänger vars diameter är 25 millimeter. Avståndet mellan armeringsstängerna bestämdes vara 55 millimeter. Beräkningarna är gjorda längst ut på sidorna vid stöden, dit hålrummen i betongplattan inte når fram.



Figur 4.5: Tvärsnitt i tvärled.

Tvärkraftsarmering i stöd med ett s-avstånd på 224 millimeter infördes, där byglarnas diameter var 12 millimeter och har en lutning på 30 grader. I fält beräknades det maximala tillåtna s-avståndet till 600 millimeter.

4.4.2.1 Kapacitet tvärled

Livtryckskapaciteten är 7,5 MPa vilket klarar brottlasten som är 0,6 MPa. Skjuvglidbrottet klarades däremot inte och därför infördes ovannämnd tvärkraftsarmering.

Tvärsnittet har en momentkapacitet på 1,17 MPa vilket klarar brottlasten på 0,73 MPa och därmed spricker inte tvärsnittet i tvärled. Då inga sprickor uppstår, finns det heller ingen sprickbredd. Nedböjningen beräknades till 3,75 millimeter och är därmed okej då maximalt tillåten nedböjning enligt Eurokod är $L/200$, alltså 30 millimeter.

5 Diskussion

Under arbetets gång har flera utmaningar och oklarheter uppenbarat sig. Detta kapitel lyfter dessa saker och diskuterar lösningar, resonemang bakom dem och lärdomar som vunnits.

5.1 Dimensioneringen

Dimensioneringen av underbyggnaden är i detta arbete översiktlig. Landfästena har endast behandlats med avseende på grundläggningsprincip och överföring av vertikala laster. I en fullständig dimensionering behöver samtliga delar, såsom frontmur, vingmurar och bottenplatta, dimensioneras för både vertikala laster från överbyggnaden och horisontella jordtryck från anslutande vägbank. Bottenplattan ska dessutom verifieras för att kunna överföra normalkrafter till underliggande berg utan att otillåtna deformationer uppstår.

5.2 Iterationsprocessen

Eftersom brons slutliga utformning initialt var okänd behövde flera dimensioner antas för att kunna beräkna lasteffekterna. Utifrån de resulterande lasteffekterna kunde konstruktionens kapacitet och geometri därefter dimensioneras med större noggrannhet och justeras. När utformningen ändrades, exempelvis brohöjd och håldimensioner, blev de ursprungliga lasteffektberäkningarna inte längre helt korrekta. Lasteffekterna behövde därför beräknas med de nya dimensionerna, vilket i sin tur påverkade konstruktionens utformning ytterligare.

Dimensionering av broar sker därmed genom en iterativ process där lasteffekter och geometri successivt anpassas efter varandra. På grund av tidsbegränsningar behövde arbetet dock avslutas efter ett antal iterationer. Detta innebär att lasteffekterna inte är helt exakta, men eftersom de slutliga beräkningarna baseras på dimensioner som ligger nära den slutliga utformningen bedöms ändå resultaten vara representativa för konstruktionens verkliga lasteffekter.

Mer noggranna beräkningar hade kunnat göras genom att automatisera iterationsprocessen i exempelvis MATLAB. Ett sammanhängande script hade förenklat uppdatering och korrigering av parametrar mellan iterationerna. Då arbetet behövde delas upp mellan flera skribenter för att hinna färdigställas inom given tid var detta dock inte praktiskt genomförbart inom ramen för rapporten.

5.3 Överskriden nedböjning

Den beräknade nedböjningen i brons längsled överskrider Eurokod kraven att nedböjningen inte får överstiga $L/200$ vilket tyder på att konstruktionens böjstyvhet är otillräcklig i förhållande till den aktuella belastningen. Nedböjning i betongkonstruktionen påverkas i stor utsträckning av långtidseffekter, vilket innebär att deformationerna successivt kommer öka med tiden. Även om kraven inte överskrids

initialt finns en tydlig risk att nedböjningen utvecklas till ett mer omfattande problem under konstruktionens livslängd.

En bidragande orsak till den stora nedböjningen är sannolikt valet av brotyp. Plattbroar har generellt låg konstruktionshöjd i förhållande till sin egentygnd, vilket medför låg böjstyvhet samtidigt som den egna lasten är relativt hög. För det aktuella spannet hade en balkbro eller lådbalkbro, med större konstruktionshöjd och därmed högre styvhet, troligtvis varit ett mer lämpligt val. I dimensioneringsskedet eftersträvades en reducering av egentygnden genom användning av håltvärnsnitt. Med facit i hand hade en ytterligare optimering av tvärsnittet, med ytterligare reducering av betongvolymen, kunnat minska lasten och därmed nedböjningen.

Ett alternativ hade även varit att använda förspänd armering i stället för slakarmering, vilket hade kunnat ge en motverkande uppåtriktad deformation som minskar långtidsnedböjningen. Att enbart öka armeringsmängden bedöms ha begränsad effekt, eftersom böjstyvheten i huvudsak styrs av betongens tryckzon och tvärsnittets geometri. Däremot kan en högre betongklass bidra till en viss ökning av elasticitetsmodulen och därmed styvheten. Även denna ändring är relativt begränsad i jämförelse med geometriska förändringar.

För att minska långtidseffekterna kan betong med lägre krypning, optimerad härdning samt minskade spänningsnivåer i betongen övervägas. Även en anpassning av byggskedet, exempelvis genom att undvika tidig pålastning, är viktig eftersom tidigt applicerade laster leder till större krypdeformationer över tid. För befintliga konstruktioner kan förstärkningsåtgärder såsom extern förspänning eller påbyggnad av tvärsnittet vara aktuella för att reducera nedböjningen och säkerställa att kraven uppfylls även på lång sikt.

Samtidigt som nedböjningen är relativt stor, uppfyller konstruktionen övriga dimensioneringskrav såsom bärförmåga i brottgränstillstånd, vilket innebär att problemet är begränsat till brukgränstillståndet. Med hänsyn till brons placering, där endast tågtrafik passerar under och där den visuella påverkan är begränsad, kan det argumenteras för att något större nedböjningar än generella riktvärden kan accepteras utifrån ett estetiskt perspektiv. Dimensioneringen i brukgränstillstånd har fokus på funktion där bedömningen inte enbart baseras på ett enskilt gränsvärde utan på en samlad utvärdering av konstruktionens beteende.

5.4 Slutsats

Brokonceptet som framtagits är i det övre spektret på tillåten spännvidd för vald brotyp. Kraven på nedböjning i längsled är ej uppfyllda. Balkbron har både större spännvidd och styvhet och hade förmodligen haft en effektivare materialåtgång. Hade vi kunnat göra om detta arbete hade vi därför valt en slakarmerad balkbro i betong istället för den slakarmerade plattbron med hål i betongen som nu är valt brokoncept.

6 Referenser

- Al-Emrani, M. Engström, B. Johansson, M. Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner – Del 1* (Rapport 2013:1). Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för konstruktionsteknik, Institutionen för Bygg och miljöteknik.
- BE Group Sverige AB. (2016). *Byggstålshandboken* (Utg. Oktober 2016). https://www.begroup.se/storage/9A19F538948B1D3F406053FC922BAB55CF88E97F3F1BE804B4A5A757C1D4B29E/df96bb95a69848b28898ff128687ae3b/pdf/media/ede80f10d305418f9b4e8b537afb6917/BE_Byggstalshandboken_okt_2016.pdf
- Betongföreningen. (u.å.). *Materialbetong*. <https://betongforeningen.se/materialbetong/>
- Bleiziffer, J. Milić, I. (2024). *Life cycle assessment of the sustainability of bridges: methodology, literature review and knowledge gaps*. *Frontiers in Built Environment*, 10:1410798. <https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2024.1410798/full>
- Britannica Editors. (2024). *Truss bridge*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/truss-bridge>
- Britannica Editors (2025). *suspension bridge*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/suspension-bridge>
- Brosamverkan. (2022). *Broprojekteringshandbok* (Utg. 1).
- Burström, P. (2007). *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper* (2:13 uppl.). Studentlitteratur AB.
- Fjellström, P-A. Pousette, A. (2004b). *Broinspektion – träbroar* (Rapport 2004:41). Trafikverket, Bygg och Mekanik, Sveriges Provning- och forskningsinstitut. https://bransch.trafikverket.se/contentassets/ae26c562046a410c8611b1bce0f15631/inspektionshandbok_for_trabroar_statens_provningsanstalts_rapport_2004_41.pdf
- Google. (u.å.). *Google maps*. [Satellitbild]. Hämtad 23 februari 2026 från <https://www.google.com/maps>
- Henegård, J. Andersson, J. (2020). *En jämförelse mellan prefabricerade och platsgjutna betongbroar – Med hänsyn till arbetsmiljö och arbetsutförande*. Linköpings Universitet, Department of Science and Technology, Institutionen för teknik och naturvetenskap. <https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1458253/FULLTEXT01.pdf>

- Hällmark, R. (2018). *Composite Bridges – Innovative ways of achieving composite action*. Luleå University of Technology, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Division of Structural and Fire Engineering. <https://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1249244/FULLTEXT01.pdf>
- Janhunen, T. (2023). *Vilka är de tre vanligaste brotyperna?* Ramboll. <https://www.ramboll.com/sv-se/insikter/stadsutveckling-kopplad-till-resiliens-och-hallbarhet/vilka-ar-de-tre-vanligaste-brotyperna>
- Kungliga tekniska högskolan (KTH). (3 maj 2021). *Byggande i betong*. <https://www.byv.kth.se/avd/betong/byggande-i-betong-1.25040>
- Mahnert, K-C. Hundhausen, U. (2018). *A review on the protection of timber bridges*. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17480272.2017.1403955>
- Naturskyddsföreningen. (2021). *Betong (2031)*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/skola/bortom-fossilsamhallet-betong/>
- Schanack, F. Ramos, O.R. (2016). Arch Bridges. Alesso Pipinato (Red.). *Innovative Bridge Design Handbook Bridges* (s.335–357). Butterworth-Heinemann. <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/pii/B978012800058800013X>
- Skogskunskap. (2024). *Balkbro och plattbro*. <https://www.skogskunskap.se/vagar-i-skogen/broar/olika-brokonstruktioner/balkbro-eller-plattbro/>
- Svenska Geotekniska Föreningen. (2021). *Introduktion i bergbyggnad för geotekniker* (SGF Rapport 1:2021). Svenska Geotekniska Föreningen. https://svenskageotekniskaforeningen.se/wp-content/uploads/Publikationer/SGF_Rapporter/2021_1_Introduktion_bergbyggnad_geotekniker.pdf
- Svenska Institutet för Standarder. (2003a). *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1–5: Allmänna laster – Temperaturpåverkan*. (SS-EN 1991–1–5).
- Svenska Institutet för Standarder. (2003b). *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar*. (SS-EN 1991–2).
- Svenska Institutet för Standarder. (2009). *Rostfria stål Del 5: Tekniska leveransbestämmelser för stång, valstråd, tråd, profiler och blanka produkter för byggprodukter av korrosionshårdiga stål*. (SS-EN 10088–5).
- Svenska Institutet för Standarder. (2014). *Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. (SS-EN 1990).
- Svenska Institutet för Standarder. (2024). *Rostfria stål – Del 1: Förteckning över rostfria stål*. (SS-EN 10088–1).

- Svensk betong. (u.å.). *Fakta & Egenskaper*. <https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper>
- Svenskt trä. (u.å.). *Bygg klimatsmart*. <https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/varfor-tra/bygg-klimatsmart/>
- Sveriges Geologiska undersökning.
(2023a). *Kartvisaren Berggrund* [Karttjänst]. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-bergartskemi.html>
- Sveriges Geologiska undersökning.
(2023b). *Kartvisaren Jorddjup* [Karttjänst]. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jorddjup.html>
- Sveriges Geologiska undersökning. (2026). *Kartvisaren Fastmark* [Karttjänst]. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-fastmark.html>
- Trafikverket. (2004). *Kapitel C – Dimensionering*. (ATB VÄG 2004:111). https://bransch.trafikverket.se/contentassets/2915be64b14848a6b97e24c5a7a8a71b/kapitel_c_dimensionering.pdf
- Trafikverket. (2011). *Trafikverkets föreskrifter om bärförmåga, stadga och beständighet hos brokonstruktioner*. (TRVFS 2011:12). <https://webapp.trafikverket.se/trvfs/pdf/2011nr012.pdf>
- Trafikverket. (2018). *Krav brobyggande*. (TDOK 2016:0204). <https://bransch.trafikverket.se/contentassets/5e3d8c0eb4e94efd9738cca74b912bf5/krav-brobyggande.pdf>
- Trafikverket. (2020). *Ban- och stationsutformning, Infrastrukturprofiler*. (TRVINFRA-00004). <https://puben.trafikverket.se/dpub/visa-dokument/11de121b-7ee5-4644-bb88-ec68a9854145>
- Trafikverket. (2021). *Krav: Bro och broliknande konstruktion, Brounderhåll*. (TRVINFRA-00228). <https://puben.trafikverket.se/dpub/visa-dokument/8159512c-5ed0-4d32-82fc-ac6d635ff4f2>
- Trafikverket. (2023a). *Ban- och stationsutformning, Banutformning*. (TRVINFRA-00398). <https://puben.trafikverket.se/dpub/visa-dokument/7f9480ab-5243-40b4-8989-3b162a27a9fe>
- Trafikverket. (2023b) *Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav*. (TRVINFRA-00226). <https://puben.trafikverket.se/dpub/visa-dokument/f4fd1784-b831-4543-a4e6-8dfc97e16430>
- Trafikverket. (2023c). *Bro och broliknande konstruktion, Byggande*. (TRVINFRA-00227). <https://puben.trafikverket.se/dpub/visa-dokument/efb0d3b8-1ac4-4f0a-8e19-eb59b3c2c79e>

Trafikverket. (2025). *Så sköter vi broar och tunnlar*. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall/sa-skoter-vi-broar-och-tunnlar/>

Träguiden. (2021). *Virkets styrkor och svagheter*.
<https://www.traguiden.se/konstruktion/takstolshandboken/tra-och-miljo/2.1-tra-och-virkeskvaliteter/2.1.3-virkets-styrka-och-svagheter/>

Vackertväder.se. (2013). Väderstation: SMHI Norrköping.
<https://www.vackertvader.se/v%C3%A4derstation/smhi-norr%C3%B6ping>

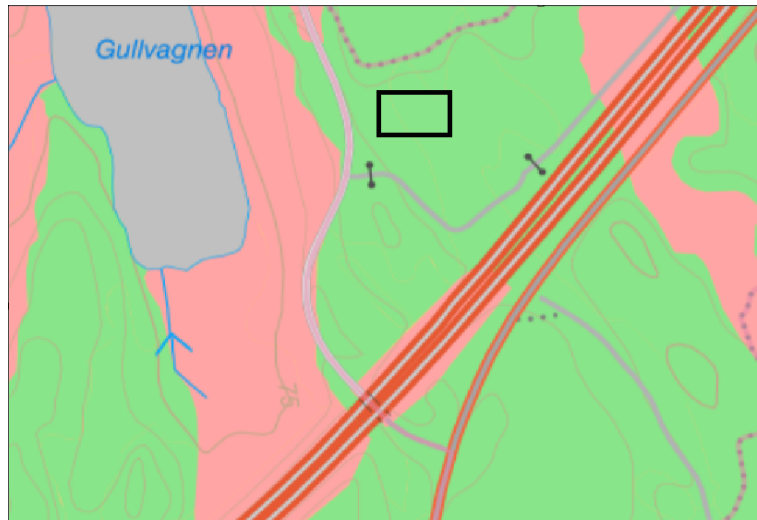
WSDOT. (u.å.). *Tacoma Narrows Bridge history - Bridge - Suspension bridge basics*.
Tacoma Narrows Bridge history.
<https://wsdot.wa.gov/tnbhistory/suspension-bridges.htm>

Bilagor

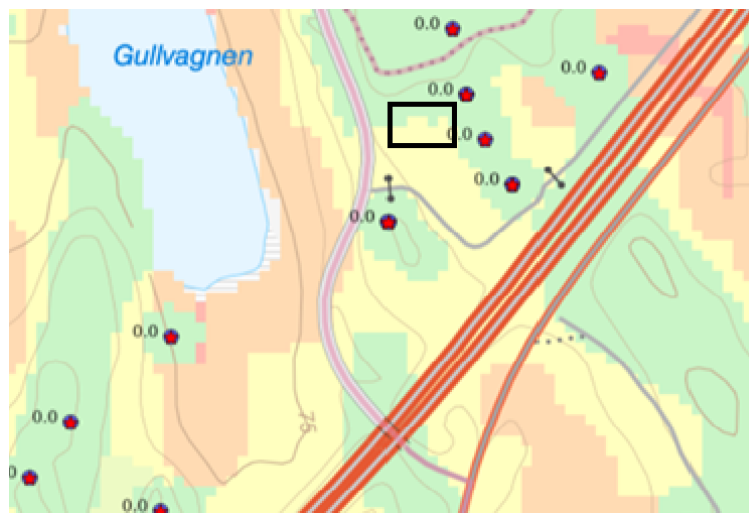
Bilagor för beräkningar i MATLAB och CALFEM, samt figurer för kompletterande information.

Bilaga A - Kompletterande information

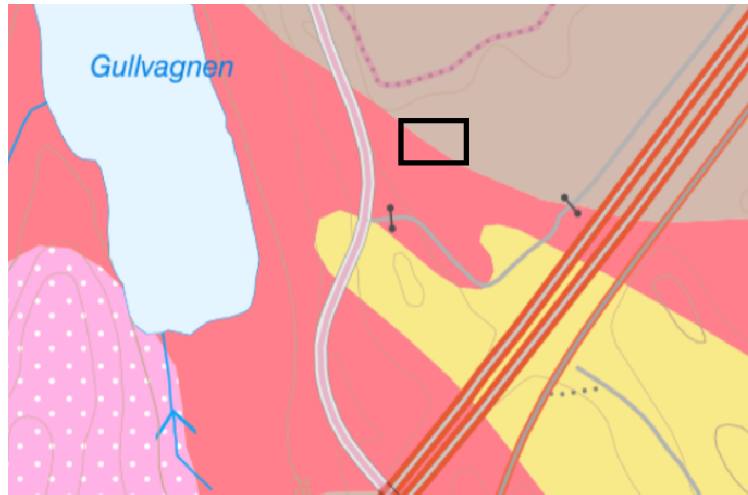
Kompletterande information i form av kartor, samt teknisk beskrivning från COWI och Trafikverket.



Figur 1: Jordartskarta över området kring sjön Gullvagnen. Bildkälla: Sveriges geologiska undersökning (2026), egen bearbetning. Svart ruta markerar området för bron. Gröna områden visar var jordarten sandig morän förekommer, rosa områden visar var jordarten kärrtorv förekommer.



Figur 2: Jorddjupskarta över området kring sjön Gullvagnen. Bildkälla: Sveriges geologiska undersökning (2023b), egen bearbetning. Svart ruta markerar området för bron. Gröna områden visar var jorddjupet är cirka 0m, gula områden visar var jorddjupet är 3-5m, röda områden visar var jorddjupet är 5-10m.



Figur 3: Bergartskarta över området kring sjön Gullvagnen. Bildkälla: Sveriges geologiska undersökning (2023a), egen bearbetning. Svart ruta markerar området för bron. Gult område visar område med berggrund dacit-ryolit, brunt område visar område med berggrund granodiorit-granit, rosa område visar område med berggrund granit.

Bilaga B - Tvärled

MATLAB samt indata och tillvägagångssätt för framtagning av dimensionerande lastfall i tvärled.

Tabell 1, Lastkoefficienter för SS-EN 1990

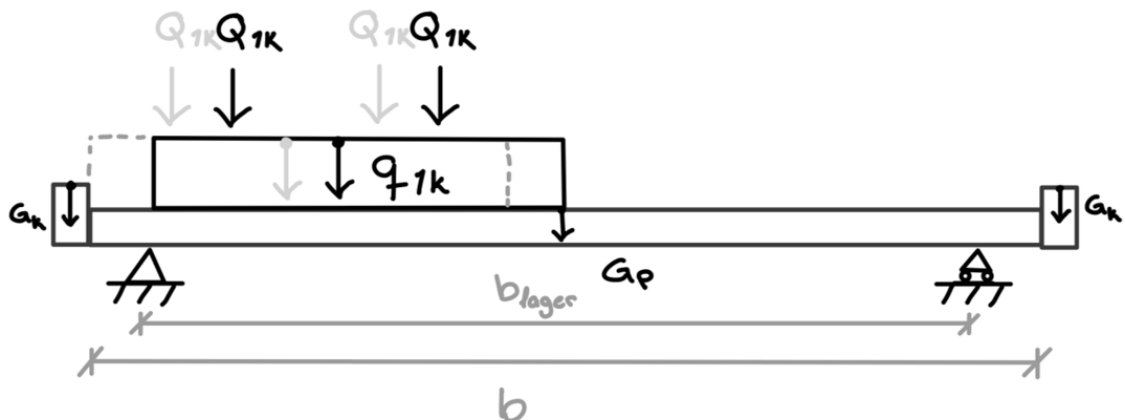
Boggi-system	Jämn utbredd last	Lastkoefficienter
ψ_1 0,75	ψ_1 0,4	γ_G 1,35
ψ_2 0,75	ψ_2 0,4	γ_Q 1,5
ψ_3 0	ψ_3 0	ξ 0,85

Tabell 2, Laststorlekar för respektive last i beräkningsmodellerna för tvärledsanalys, värdena är tagna från EN 1991-2.

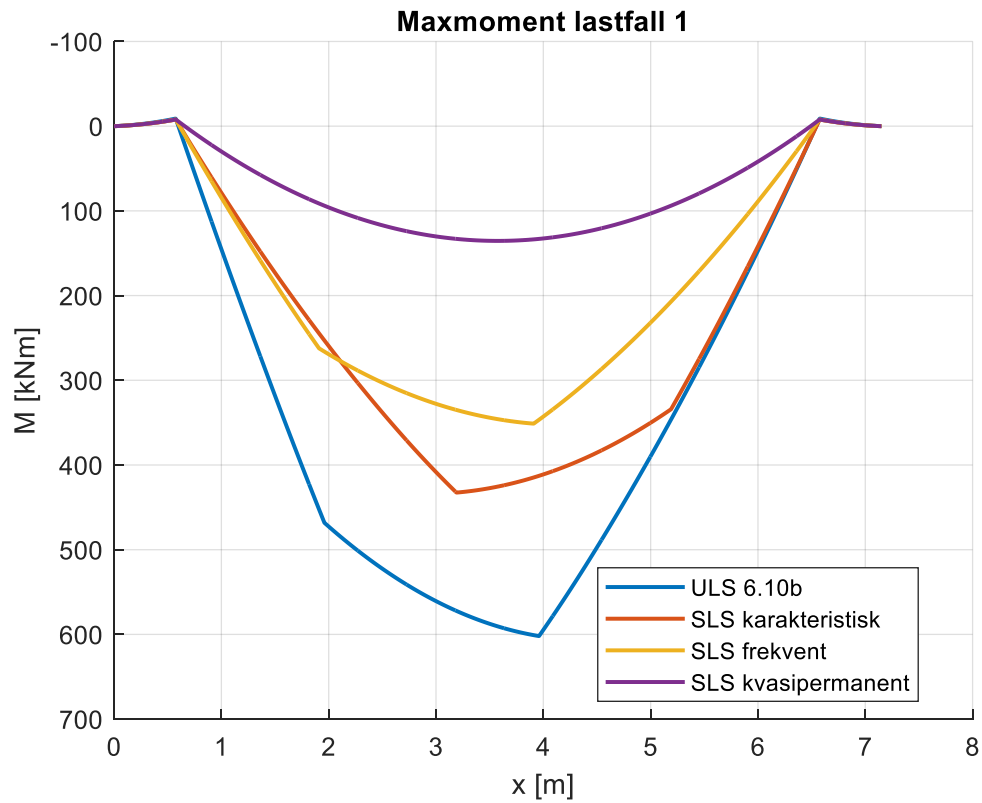
Lastnamn	Lasttyp	Benämning	Storlek på last
Egentyngd platta + beläggning (huvudbärverk)	Utbredd last	G_p	31,8 kN/m
Egentyngd kantbalkar + räcke	Punktlast	G_k	4,5 kN
Lastfält 1	Utbredd last	q_{1k}	9 kN/m
Lastfält 1, Boggilast	Punktlast	Q_{1k}	150 kN
Lastfält 2	Utbredd last	q_{2k}	2,5 kN/m
Lastfält 2, Boggilast	Punktlast	Q_{2k}	100 kN

Tabell 3, Korrigerade laststorlekar med Trafikverkets anpassningsfaktorer i tabell 7.1 i TRVFS 2011:12 tvärledsanalys.

Benämning	α -faktor	Storlek α -faktor	Resultande storlek på last
q_{1k}	α_{q1}	0,7	6,3 kN/m
Q_{1k}	α_{Q1}	0,9	135kN
q_{2k}	α_{q2}	1	2,5 kN/m
Q_{2k}	α_{Q2}	0,9	90kN
q_{3k}	α_{q3}	1	2,5 kN/m



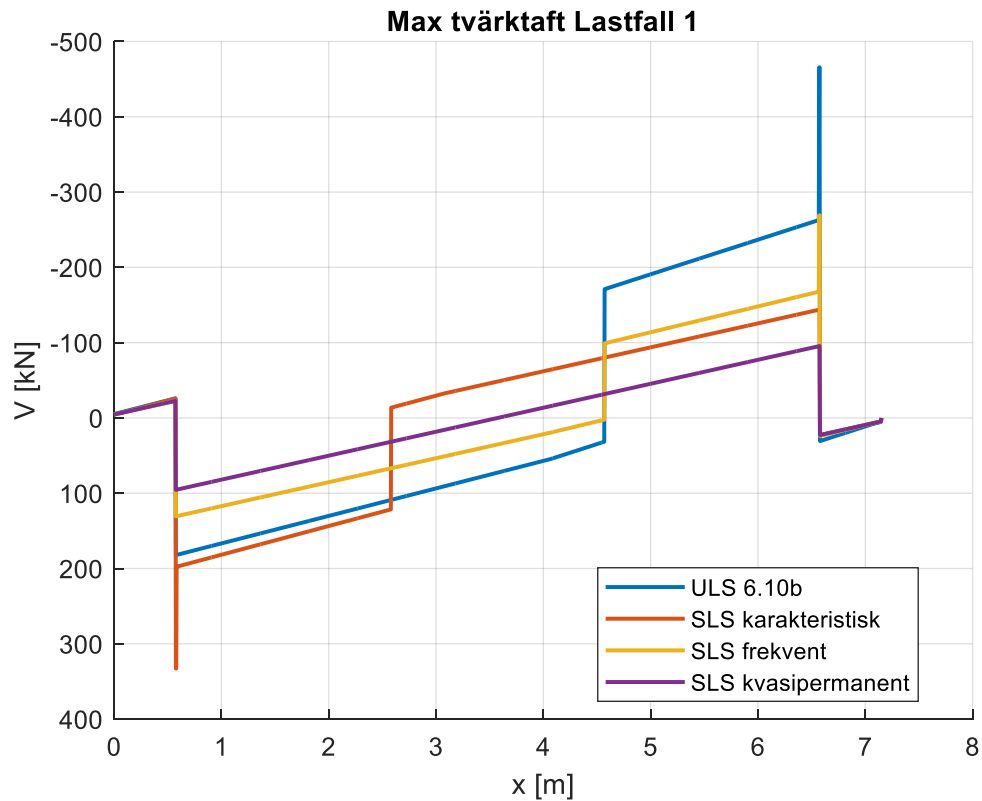
Figur 4, Beräkningsmodell för lastfall 1 i tvärled



Figur 5, Maxmoment för lastfall 1 där endast lastfält 1 används

Tabell 4: Maxmoment för lastfall 1 och dess koordinater

Lasttyp	x-koordinat [m]	Maxmoment [kNm]
Brottgräns (6.10b)	3,96	602
Karakteristisk	3,19	433
Frekvent	3,91	351
Kvasipermanent	3,575 (vid mitten)	135



Figur 6, Max tvärkraft för lastfall 1 där endast lastfält 1 används

Tabell 5: Resultattabell för dimensionerande krafter i tvärled

Lasttyp	x-koordinat [m]	Max tvärkraft [kN]
Brottgräns (6.10b)	0,575 (Vid lager)	466
Karakteristisk	0,575 (Vid lager)	333
Frekvent	0,575 (Vid lager)	269
Kvasipermanent	0,575 (Vid lager)	95,5

MATLAB-script för tvärledsberäkningar gällande lastfall 1

```

clc

clear

close all

% GEOMETRI-tvärled
L = 7.15; % Total balklängd [m]

% Lagerplacering
xA = 0.575; % Vänster stöd [m]
xB = 6.575; % Höger stöd [m]

% KARAKTERISTISKA TRAFIKLASTER från LM1 - endast lastfält 1
qk_1 = 6.3e3; % [N/m] utbredd trafiklast
Lq = 3.0; % [m] lastfältets längd

Qk_1 = 135e3; % [N] punktlast 1

```

```

Qk_2 = 135e3; % [N] punktlast 2

% TVÄRSNITTSDATA / EGENTYNGD
h_platta = 1.2; % [m] Höjd platta
h_asfalt = 0.08; % [m] beläggningstjocklek
h_kantbalk = 0.4; % Höjd kantbalk
b_kantbalk = 0.4; % Bredd kantbalk
gamma_bet = 25e3; % [N/m^3] tunghet betong
gamma_asf = 23e3; % [N/m^3] tunghet asfalt
q_racke = 0.5e3; % [N/m] ----> N pga en-metersstrimor
q_kantbalk = h_kantbalk*b_kantbalk*gamma_bet; % [N/m] ----> N pga en-
meterstrimor

% Endast platta + asfalt som utbredd last
Gk = h_platta*gamma_bet + h_asfalt*gamma_asf; % [N/m]

% Räcke + kantbalk som punktlaster i ändarna
P_edge = q_racke + q_kantbalk; % [N]

% LASTKOMBINATIONSFAKTORER
psi0_boggi = 0.75;
psi1_boggi = 0.75;
psi2_boggi = 0.0;

psi0_utbredd = 0.4;
psi1_utbredd = 0.4;
psi2_utbredd = 0.0;

gamma_G = 1.35;
gamma_Q = 1.5;
xi = 0.85;

% DISKRETISERING FÖR DIAGRAM
x = linspace(0, L, 2000);

% LASTLÄGEN SOM TESTAS
dx = 0.01; % 1 cm steg
xq1_all = 0:dx:(L - Lq); % startpositioner för lastfältet

% RESULTATLAGRING PER LASTKOMBINATION
komb_namn_all = cell(4,1);

best_M_value = -inf(4,1);
best_M_xfield = zeros(4,1);
best_M_xsnitt = zeros(4,1);
best_M_curve = cell(4,1);

best_V_value = -inf(4,1);
best_V_xfield = zeros(4,1);
best_V_xsnitt = zeros(4,1);
best_V_curve = cell(4,1);

RA_best = zeros(4,1);
RB_best = zeros(4,1);

% LOOP ÖVER LASTKOMBINATIONER
for j = 1:4

    if j == 1
        % Brottgränstillstånd, ULS
        Ed_a = gamma_G*(Gk*L + 2*P_edge) + gamma_Q*psi0_utbredd*(qk_1*Lq)
        ...
            + gamma_Q*psi0_boggi*(Qk_1 + Qk_2);

        Ed_b = xi*gamma_G*(Gk*L + 2*P_edge) + gamma_Q*(qk_1*Lq + Qk_1 +
Qk_2);

        if abs(Ed_a) > abs(Ed_b)

```

```

        g = gamma_G*Gk;
        Pedge = gamma_G*P_edge;
        q = gamma_Q*psi0_utbredd*qk_1;
        P1 = gamma_Q*psi0_boggi*Qk_1;
        P2 = gamma_Q*psi0_boggi*Qk_2;
        komb_namn = 'ULS 6.10a';
    else
        g = xi*gamma_G*Gk;
        Pedge = xi*gamma_G*P_edge;
        q = gamma_Q*qk_1;
        P1 = gamma_Q*Qk_1;
        P2 = gamma_Q*Qk_2;
        komb_namn = 'ULS 6.10b';
    end

elseif j == 2
    % Karakteristisk lastkombination
    g = Gk;
    Pedge = P_edge;
    q = qk_1;
    P1 = Qk_1;
    P2 = Qk_2;
    komb_namn = 'SLS karakteristisk';

elseif j == 3
    % Frekvent lastkombination
    g = Gk;
    Pedge = P_edge;
    q = psi1_utbredd*qk_1;
    P1 = psi1_boggi*Qk_1;
    P2 = psi1_boggi*Qk_2;
    komb_namn = 'SLS frekvent';

elseif j == 4
    % Kvasipermanent lastkombination
    g = Gk;
    Pedge = P_edge;
    q = psi2_utbredd*qk_1;
    P1 = psi2_boggi*Qk_1;
    P2 = psi2_boggi*Qk_2;
    komb_namn = 'SLS kvasipermanent';
end

komb_namn_all{j} = komb_namn;

% LOOP ÖVER ALLA LASTLÄGEN
for k = 1:length(xq1_all)

    % Lastfältets placering
    xq1 = xq1_all(k);
    xq2 = xq1 + Lq;
    xq = (xq1 + xq2)/2;

    % Punktlaster centrerade i lastfältet, 2 m mellanrum
    xP1 = xq - 1.0;
    xP2 = xq + 1.0;

    % RESULTANTER
    Q = q * Lq;
    G = g * L;
    xG = L/2;

    % UPPLAGSREAKTIONER
    RB = (G*(xG-xA) + Pedge*(0-xA) + Pedge*(L-xA) + Q*(xq-xA) + P1*(xP1-
xA) + P2*(xP2-xA)) / (xB-xA);
    RA = G + 2*Pedge + Q + P1 + P2 - RB;

    % INITIERA TVÄRKRAFT OCH MOMENT

```

```

V = zeros(size(x));
M = zeros(size(x));

% BERÄKNA TVÄRKRAFT OCH MOMENT
for i = 1:length(x)
    xi_pos = x(i);

    % Tvärkraft
    if xi_pos >= xA
        V(i) = V(i) + RA;
    end
    if xi_pos >= xB
        V(i) = V(i) + RB;
    end
    if xi_pos >= 0
        V(i) = V(i) - Pedge;
    end
    if xi_pos >= L
        V(i) = V(i) - Pedge;
    end
    if xi_pos >= xP1
        V(i) = V(i) - P1;
    end
    if xi_pos >= xP2
        V(i) = V(i) - P2;
    end

    % Permanent utbredd last över hela balken
    V(i) = V(i) - g*xi_pos;

    % Utbredd trafiklast över lastfältet
    if xi_pos >= xq1
        if xi_pos <= xq2
            V(i) = V(i) - q*(xi_pos-xq1);
        else
            V(i) = V(i) - Q;
        end
    end

    % Moment
    if xi_pos >= xA
        M(i) = M(i) + RA*(xi_pos-xA);
    end
    if xi_pos >= xB
        M(i) = M(i) + RB*(xi_pos-xB);
    end
    if xi_pos >= 0
        M(i) = M(i) - Pedge*(xi_pos-0);
    end
    if xi_pos >= L
        M(i) = M(i) - Pedge*(xi_pos-L);
    end
    if xi_pos >= xP1
        M(i) = M(i) - P1*(xi_pos-xP1);
    end
    if xi_pos >= xP2
        M(i) = M(i) - P2*(xi_pos-xP2);
    end

    % Permanent utbredd last
    M(i) = M(i) - g*xi_pos^2/2;

    % Utbredd trafiklast över lastfältet
    if xi_pos >= xq1
        if xi_pos <= xq2
            M(i) = M(i) - q*(xi_pos-xq1)^2/2;
        else
            M(i) = M(i) - Q*(xi_pos-xq);
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end

% HÄMTA MAXVÄRDEN FÖR DETTA LASTLÄGE
[Mabs, iM] = max(abs(M));
[Vabs, iV] = max(abs(V));

% Spara värsta moment
if Mabs > best_M_value(j)
    best_M_value(j) = Mabs;
    best_M_xfield(j) = xq1;
    best_M_xsnitt(j) = x(iM);
    best_M_curve{j} = M;
    RA_best(j) = RA;
    RB_best(j) = RB;
end

% Spara värsta tvärkraft
if Vabs > best_V_value(j)
    best_V_value(j) = Vabs;
    best_V_xfield(j) = xq1;
    best_V_xsnitt(j) = x(iV);
    best_V_curve{j} = V;
end

end

end

% PLOTTAR - VÄRSTA MOMENTFALL
figure(1)
hold on
grid on
xlabel('x [m]')
ylabel('M [kNm]')
title('Maxmoment lastfall 1')
set(gca, 'YDir', 'reverse')

for j = 1:4
    plot(x, best_M_curve{j}/1000, 'LineWidth', 1.5, ...
        'DisplayName', komb_namn_all{j})
end
legend('Location', 'best')

% PLOTTAR - VÄRSTA TVÄRKRAFTSFALL
figure(2)
hold on
grid on
xlabel('x [m]')
ylabel('V [kN]')
title('Max tvärkraft Lastfall 1')
set(gca, 'YDir', 'reverse')

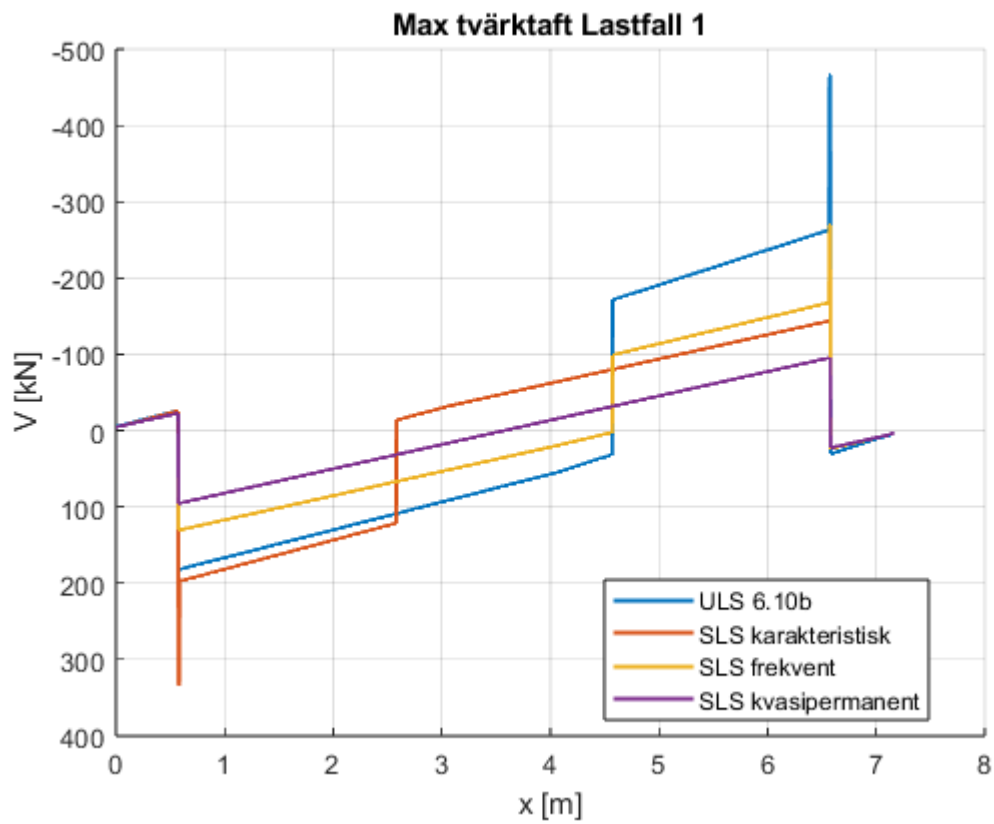
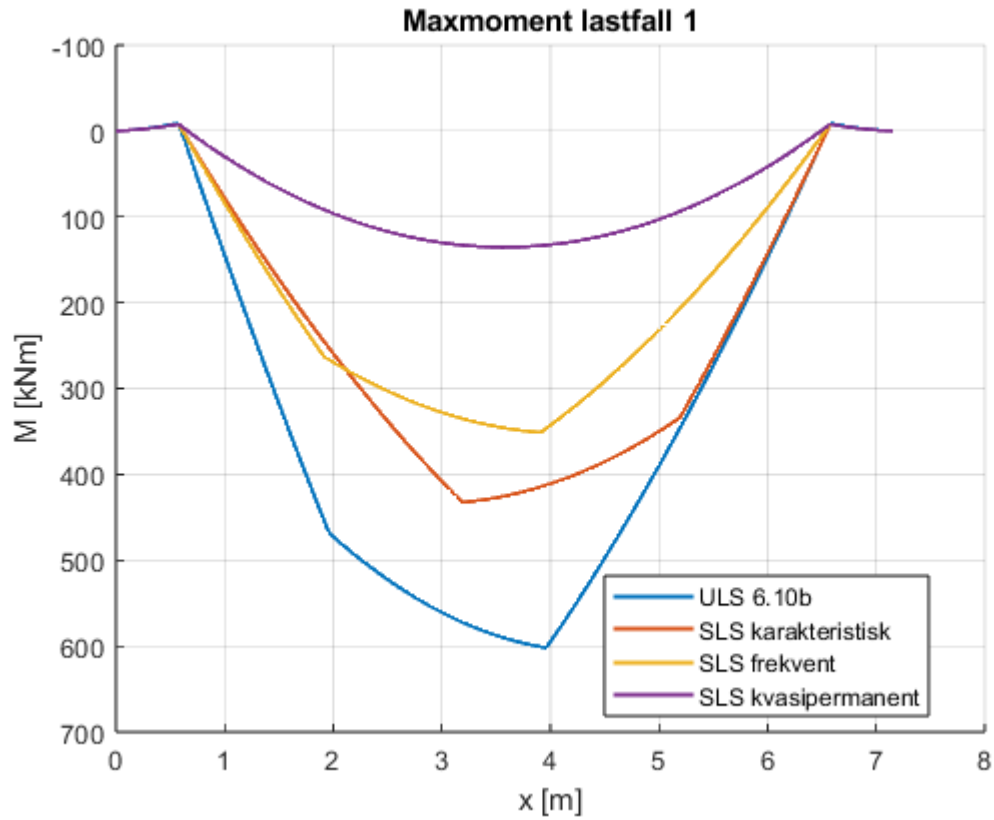
for j = 1:4
    plot(x, best_V_curve{j}/1000, 'LineWidth', 1.5, ...
        'DisplayName', komb_namn_all{j})
end
legend('Location', 'best')

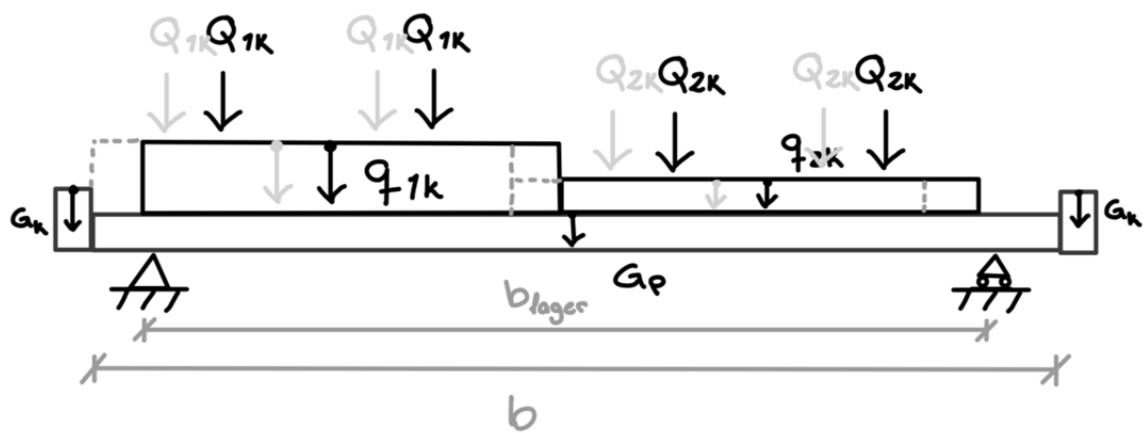
% RESULTATTABELL
Resultat = table( ...
    komb_namn_all, ...
    round(best_M_xfield,2), ...
    round(best_M_value/1000,2), ...
    round(best_M_xsnitt,3), ...
    round(best_V_xfield,2), ...
    round(best_V_value/1000,2), ...
    round(best_V_xsnitt,3), ...

```

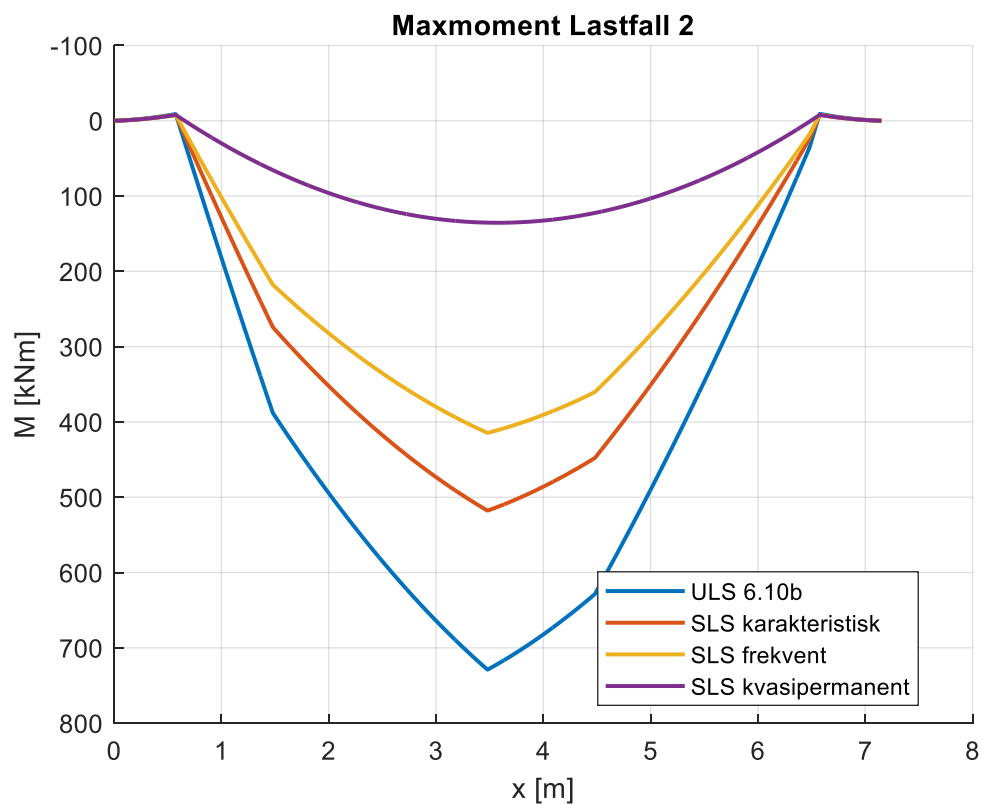
```
disp (Resultat)
```

3.96	{'ULS 6.10b'}	1.46	601.96
	4.07	465.66	6.574
3.19	{'SLS karakteristisk'}	2.69	432.58
	0.08	332.88	0.576
3.909	{'SLS frekvent'}	1.41	351.18
	4.07	269.12	6.574
3.577	{'SLS kvasipermanent'}	0	135.43
	0	95.49	6.574





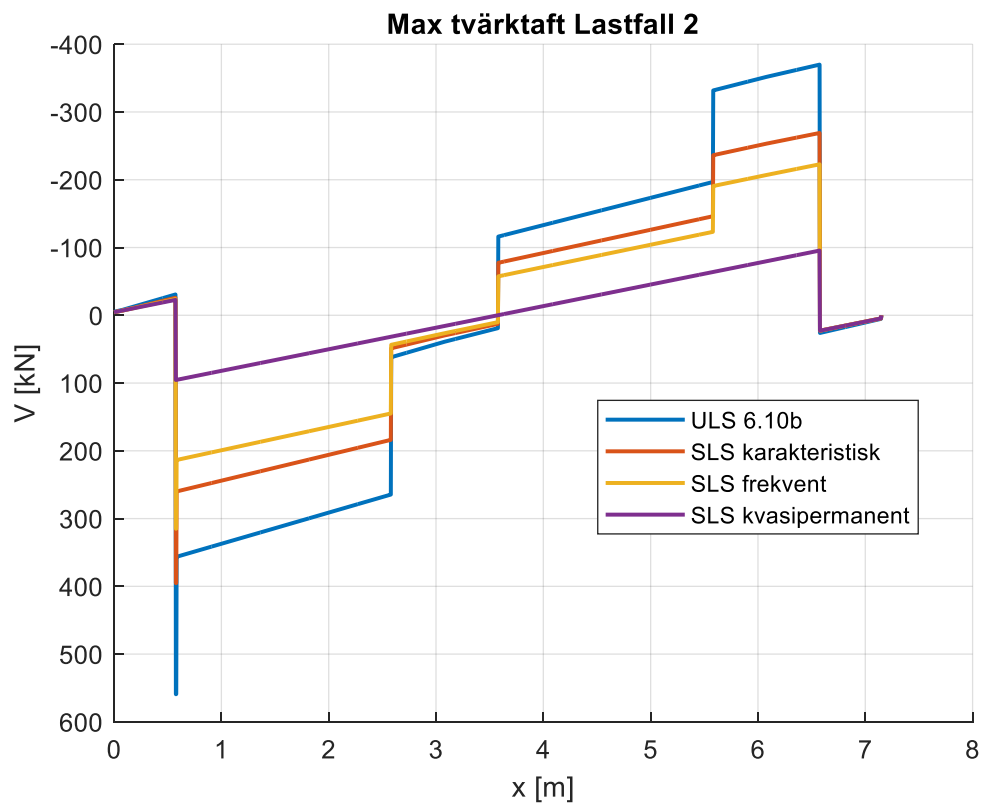
Figur 7. Beräkningsmodell för lastfall 2 i tvärläng.



Figur 8. Maxmoment för lastfall 2 där lastfält 1 och 2 används

Tabell 6: Koordinater med maximalt moment samt momentet i punkten.

Lasttyp	x-koordinat [m]	Maxmoment [kNm]
Brottgräns (6.10b)	3,48	729
Karakteristisk	3,48	518
Frekvent	3,48	415
Kvasipermanent	3,575	135



Figur 9. Max tvärkraft för lastfall 2 där lastfält 1 och 2 används

Tabell 7: Koordinater för lagerna samt tvärkrafterna i dessa punkter.

Lasttyp	x-koordinat [m]	Max tvärkraft [kN]
Brottgräns (6.10b)	0,575 (Vid lager)	559
Karakteristisk	0,575 (Vid lager)	395
Frekvent	0,575 (Vid lager)	315
Kvasipermanent	0,575 (Vid lager)	95,5

MATLAB-script för tvärledsberäkningar gällande lastfall 2

```

clc

clear

close all

% GEOMETRI-tvärled
L = 7.15;           % Total balklängd [m]

% Lagerplacering

```

```

xA = 0.575;           % Vänster stöd [m]
xB = 6.575;           % Höger stöd [m]

% KARAKTERISTISKA TRAFIKLASTER från LM1 - lastfält 1 + lastfält 2
qk_1 = 6.3e3;          % [N/m] utbredd trafiklast lastfält 1
qk_2 = 2.5e3;          % [N/m] utbredd trafiklast lastfält 2
Lq   = 3.0;            % [m] längd per lastfält

Qk1_1 = 135e3;         % [N] punktlast 1 i lastfält 1
Qk1_2 = 135e3;         % [N] punktlast 2 i lastfält 1

Qk2_1 = 90e3;          % [N] punktlast 1 i lastfält 2
Qk2_2 = 90e3;          % [N] punktlast 2 i lastfält 2

% TVÄRSNITTSDATA / EGENTYNGD

h_platta = 1.2;        % [m] plattjocklek
h_asfalt = 0.08;       % [m] belägningstjocklek
h_kantbalk = 0.4;
b_kantbalk = 0.4;
gamma_bet = 25e3;       % [N/m^3] tunghet betong
gamma_asf = 23e3;       % [N/m^3] tunghet asfalt
q_racke   = 0.5e3;      % [N/m] ----> N pga en-metersstrimor
q_kantbalk = h_kantbalk*b_kantbalk*gamma_bet; % [N/m] ----> N pga en-
meterstrimor

% Endast platta + asfalt som utbredd last
Gk = h_platta*gamma_bet + h_asfalt*gamma_asf; % [N/m]

% Räcke + kantbalk som punktlaster i ändarna
P_edge = q_racke + q_kantbalk; % [N]

% LASTKOMBINATIONSFAKTORER
psi0_boggi = 0.75;
psi1_boggi = 0.75;
psi2_boggi = 0.0;

psi0_utbredd = 0.4;
psi1_utbredd = 0.4;
psi2_utbredd = 0.0;

gamma_G = 1.35;
gamma_Q = 1.5;
xi       = 0.85;

% DISKRETISERING FÖR DIAGRAM
x = linspace(0, L, 2000);

% LASTLÄGEN SOM TESTAS
% LF1 och LF2 flyttas tillsammans:
% start: LF1 = [0,3], LF2 = [3,6]
% slut:  LF1 = [1.15,4.15], LF2 = [4.15,7.15]
dx = 0.01; % 1 cm steg
xq1_all = 0:dx:(L - 2*Lq); % startpositioner för LF1

% RESULTATLAGRING PER LASTKOMBINATION
komb_namn_all = cell(4,1);

best_M_value = -inf(4,1);
best_M_xfield = zeros(4,1); % start för LF1
best_M_xsnitt = zeros(4,1);
best_M_curve = cell(4,1);

best_V_value = -inf(4,1);
best_V_xfield = zeros(4,1); % start för LF1
best_V_xsnitt = zeros(4,1);

```

```

best_V_curve = cell(4,1);

RA_best = zeros(4,1);
RB_best = zeros(4,1);

% LOOP ÖVER LASTKOMBINATIONER
for j = 1:4

    if j == 1
        % Brottgränstillstånd, ULS
        Ed_a = gamma_G*(Gk*L + 2*P_edge) ...
            + gamma_Q*psi0_utbredd*(qk_1*Lq + qk_2*Lq) ...
            + gamma_Q*psi0_boggi*(Qk1_1 + Qk1_2 + Qk2_1 + Qk2_2);

        Ed_b = xi*gamma_G*(Gk*L + 2*P_edge) ...
            + gamma_Q*(qk_1*Lq + qk_2*Lq + Qk1_1 + Qk1_2 + Qk2_1 + Qk2_2);

        if abs(Ed_a) > abs(Ed_b)
            g = gamma_G*Gk;
            Pedge = gamma_G*P_edge;

            q1 = gamma_Q*psi0_utbredd*qk_1;
            q2 = gamma_Q*psi0_utbredd*qk_2;

            P1_1 = gamma_Q*psi0_boggi*Qk1_1;
            P1_2 = gamma_Q*psi0_boggi*Qk1_2;
            P2_1 = gamma_Q*psi0_boggi*Qk2_1;
            P2_2 = gamma_Q*psi0_boggi*Qk2_2;

            komb_namn = 'ULS 6.10a';
        else
            g = xi*gamma_G*Gk;
            Pedge = xi*gamma_G*P_edge;

            q1 = gamma_Q*qk_1;
            q2 = gamma_Q*qk_2;

            P1_1 = gamma_Q*Qk1_1;
            P1_2 = gamma_Q*Qk1_2;
            P2_1 = gamma_Q*Qk2_1;
            P2_2 = gamma_Q*Qk2_2;

            komb_namn = 'ULS 6.10b';
        end

    elseif j == 2
        % Karakteristisk lastkombination
        g = Gk;
        Pedge = P_edge;

        q1 = qk_1;
        q2 = qk_2;

        P1_1 = Qk1_1;
        P1_2 = Qk1_2;
        P2_1 = Qk2_1;
        P2_2 = Qk2_2;

        komb_namn = 'SLS karakteristisk';

    elseif j == 3
        % Frekvent lastkombination
        g = Gk;
        Pedge = P_edge;

        q1 = psi1_utbredd*qk_1;
        q2 = psi1_utbredd*qk_2;

```

```

P1_1 = psi1_boggi*Qk1_1;
P1_2 = psi1_boggi*Qk1_2;
P2_1 = psi1_boggi*Qk2_1;
P2_2 = psi1_boggi*Qk2_2;

komb_namn = 'SLS frekvent';

elseif j == 4
    % Kvasipermanent lastkombination
    g = Gk;
    Pedge = P_edge;

    q1 = psi2_utbredd*qk_1;
    q2 = psi2_utbredd*qk_2;

    P1_1 = psi2_boggi*Qk1_1;
    P1_2 = psi2_boggi*Qk1_2;
    P2_1 = psi2_boggi*Qk2_1;
    P2_2 = psi2_boggi*Qk2_2;

    komb_namn = 'SLS kvasipermanent';
end

komb_namn_all{j} = komb_namn;

% LOOP ÖVER ALLA LASTLÄGEN
for k = 1:length(xq1_all)

    % LF1
    xq1_1 = xq1_all(k);
    xq1_2 = xq1_1 + Lq;
    xq1 = (xq1_1 + xq1_2)/2;

    % LF2 direkt till höger om LF1
    xq2_1 = xq1_2;
    xq2_2 = xq2_1 + Lq;
    xq2 = (xq2_1 + xq2_2)/2;

    % Punktlaster centrerade i respektive lastfält, 2 m mellanrum
    xP1_1 = xq1 - 1.0;
    xP1_2 = xq1 + 1.0;

    xP2_1 = xq2 - 1.0;
    xP2_2 = xq2 + 1.0;

    % RESULTANTER
    Q1 = q1 * Lq;
    Q2 = q2 * Lq;
    G = g * L;
    xG = L/2;

    % UPPLAGSREAKTIONER
    RB = ( ...
        G*(xG-xA) + ...
        Pedge*(0-xA) + ...
        Pedge*(L-xA) + ...
        Q1*(xq1-xA) + ...
        Q2*(xq2-xA) + ...
        P1_1*(xP1_1-xA) + ...
        P1_2*(xP1_2-xA) + ...
        P2_1*(xP2_1-xA) + ...
        P2_2*(xP2_2-xA) ) / (xB-xA);

    RA = G + 2*Pedge + Q1 + Q2 + P1_1 + P1_2 + P2_1 + P2_2 - RB;

    % INITIERA TVÄRKRAFT OCH MOMENT
    V = zeros(size(x));
    M = zeros(size(x));

```

```

% BERÄKNA TVÄRKRAFT OCH MOMENT
for i = 1:length(x)
    xi_pos = x(i);

    % Tvärkraft
    if xi_pos >= xA
        V(i) = V(i) + RA;
    end
    if xi_pos >= xB
        V(i) = V(i) + RB;
    end
    if xi_pos >= 0
        V(i) = V(i) - Pedge;
    end
    if xi_pos >= L
        V(i) = V(i) - Pedge;
    end
    if xi_pos >= xP1_1
        V(i) = V(i) - P1_1;
    end
    if xi_pos >= xP1_2
        V(i) = V(i) - P1_2;
    end
    if xi_pos >= xP2_1
        V(i) = V(i) - P2_1;
    end
    if xi_pos >= xP2_2
        V(i) = V(i) - P2_2;
    end

    % Permanent utbredd last över hela balken
    V(i) = V(i) - g*xi_pos;

    % Utbredd trafiklast LF1
    if xi_pos >= xq1_1
        if xi_pos <= xq1_2
            V(i) = V(i) - q1*(xi_pos-xq1_1);
        else
            V(i) = V(i) - Q1;
        end
    end

    % Utbredd trafiklast LF2
    if xi_pos >= xq2_1
        if xi_pos <= xq2_2
            V(i) = V(i) - q2*(xi_pos-xq2_1);
        else
            V(i) = V(i) - Q2;
        end
    end

    % Moment
    if xi_pos >= xA
        M(i) = M(i) + RA*(xi_pos-xA);
    end
    if xi_pos >= xB
        M(i) = M(i) + RB*(xi_pos-xB);
    end
    if xi_pos >= 0
        M(i) = M(i) - Pedge*(xi_pos-0);
    end
    if xi_pos >= L
        M(i) = M(i) - Pedge*(xi_pos-L);
    end
    if xi_pos >= xP1_1
        M(i) = M(i) - P1_1*(xi_pos-xP1_1);
    end
end

```

```

        if xi_pos >= xP1_2
            M(i) = M(i) - P1_2*(xi_pos-xP1_2);
        end
        if xi_pos >= xP2_1
            M(i) = M(i) - P2_1*(xi_pos-xP2_1);
        end
        if xi_pos >= xP2_2
            M(i) = M(i) - P2_2*(xi_pos-xP2_2);
        end

        % Permanent utbredd last
        M(i) = M(i) - g*xi_pos^2/2;

        % Utbredd trafiklast LF1
        if xi_pos >= xq1_1
            if xi_pos <= xq1_2
                M(i) = M(i) - q1*(xi_pos-xq1_1)^2/2;
            else
                M(i) = M(i) - Q1*(xi_pos-xq1);
            end
        end

        % Utbredd trafiklast LF2
        if xi_pos >= xq2_1
            if xi_pos <= xq2_2
                M(i) = M(i) - q2*(xi_pos-xq2_1)^2/2;
            else
                M(i) = M(i) - Q2*(xi_pos-xq2);
            end
        end
    end

    % HÄMTA MAXVÄRDEN FÖR DETTA LASTLÄGE
    [Mabs, iM] = max(abs(M));
    [Vabs, iV] = max(abs(V));

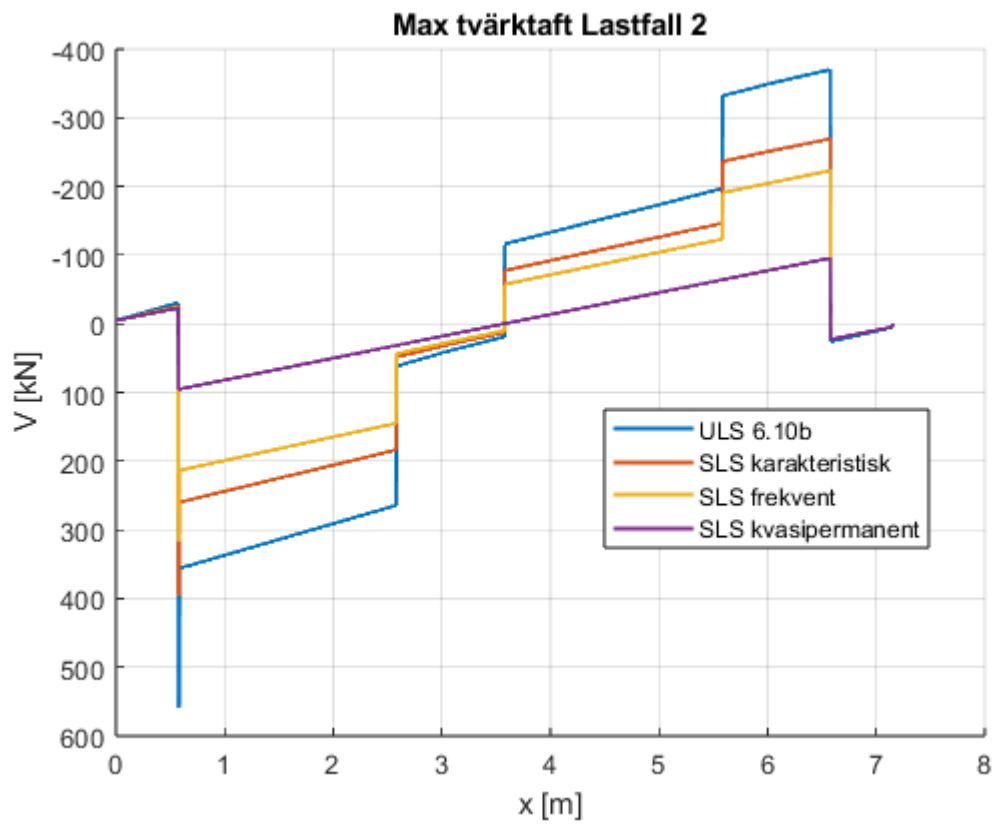
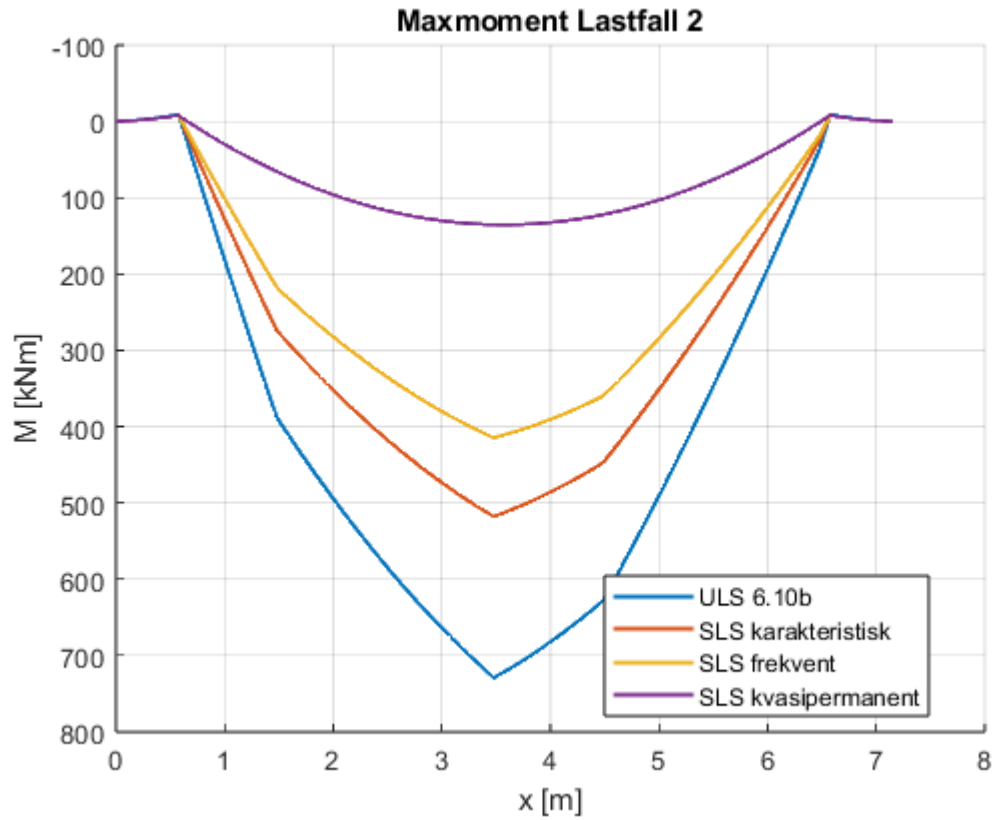
    % Spara värsta moment
    if Mabs > best_M_value(j)
        best_M_value(j) = Mabs;
        best_M_xfield(j) = xq1_1;    % start för LF1
        best_M_xsnitt(j) = x(iM);
        best_M_curve{j} = M;
        RA_best(j) = RA;
        RB_best(j) = RB;
    end

    % Spara värsta tvärkraft
    if Vabs > best_V_value(j)
        best_V_value(j) = Vabs;
        best_V_xfield(j) = xq1_1;    % start för LF1
        best_V_xsnitt(j) = x(iV);
        best_V_curve{j} = V;
    end
end
end

% PLOTTAR - VÄRSTA MOMENTFALL
figure(1)
hold on
grid on
xlabel('x [m]')
ylabel('M [kNm]')
title('Maxmoment Lastfall 2')
set(gca, 'YDir', 'reverse')

for j = 1:4
    plot(x, best_M_curve{j}/1000, 'LineWidth', 1.5, ...
        'DisplayName', komb_namn_all{j})
end

```

Bilaga C - Längsled

MATLAB samt CALFEM för framtagning av dimensionerande moment och tvärkraft i längsled.

Tabell 8: Laststorlekar för respektive last i beräkningsmodellerna för längsledsanalys, värdena är tagna från EN 1991-2.

Lastnamn	Lasttyp	Benämning	Storlek på last
Egentyngd platta + beläggning (huvudbärverk)	Utbredd last	G_p	29,8 kN/m
Egentyngd kantbalkar + räcke	Utbredd last	G_k	2,94 kN/m
Lastfält 1	Utbredd last	q_k	9 kN/m
Lastfält 1, Boggilast	Punktlast	Q_k	200 kN

Tabell 9: Korrigerade laststorlekar med Trafikverkets anpassningsfaktorer i tabell 7.1 i TRVFS 2011:12 längsledsanalys.

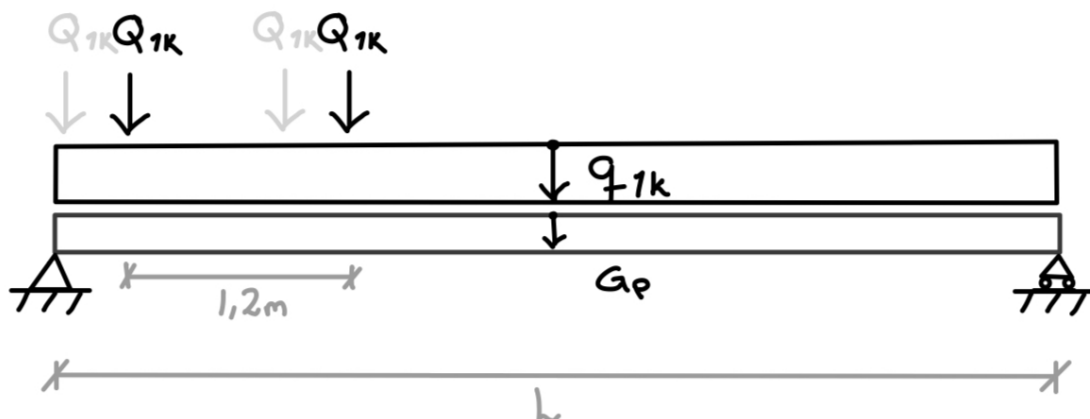
Benämning	α -faktor	Storlek α -faktor	Resulterande storlek på last
q_k	α_{q1}	0,7	6,3 kN/m
Q_k	α_{Q1}	0,9	180 kN

Tabell 10: Resultat för dimensionerande moment i längsled

Lasttyp	x-koordinat [m]	Maxmoment [kNm]
Brottgräns (6.10b)	12,5	4839
Karakteristisk	12,5	3827
Frekvent	12,5	3363
Kvasipermanent	12,5	2560

Tabell 11: Resultat för dimensionerande tvärkraft i längsled

Lasttyp	x-koordinat [m]	Max tvärkraft [kN]
Brottgräns (6.10b)	0	781
Karakteristisk	0	617
Frekvent	0	541
Kvasipermanent	0	410



Figur 10. Beräkningsmodell för längsled.

Beräkning laster längsled

CALFEM-funktion

```
% CALFEM-funktion

function [V,M,ex,ey,ed] = momentdiagram_punktlast(L, q_last, ep,
utbreddlast, andmoment, i, nog, plottype, intervall)

    axle_dist = 1.2; % [m] Avstånd mellan de två axlarna i boggin

    % Boggins startposition: 1mm från stöden (kan inte vara 0)
    if i < 0.001; i = 0.001; end
    if i > L - axle_dist - 0.001; i = L - axle_dist - 0.001; end

    % Modellerar bron med 3 element och 4 noder:
    % Nod 1 (x=0), Nod 2 (x=i), Nod 3 (x=i+1.2), Nod 4 (x=L)
    edof = [1 1 2 3 4 5 6; % Element 1
            2 4 5 6 7 8 9; % Element 2
            3 7 8 9 10 11 12]; % Element 3

    % Skapa tomma matriser för systemets totala styvhet (K) och laster (f).
    K = zeros(12,12);
    f = zeros(12,1);

    % Utbredd last i y-led för alla tre elementen (verkar nedåt = positiva)
    eq = [0 utbreddlast;
          0 utbreddlast;
          0 utbreddlast];

    % Boggi-axlarna trycker rakt nedåt.
    f(5) = q_last; % Nod 2 har vertikal frihetsgrad = 5
    f(8) = q_last; % Nod 3 har vertikal frihetsgrad = 8

    % Applicera ändmoment (om du vill ha inspänning, annars 0)
    f(3) = -andmoment;
    f(12) = andmoment;

    % Koordinater x och y för noderna. Nod 2 ligger vid "x=i" och nod 3 vid
    % "x=i+1,2".
    ex = [0 i;
          i i+axle_dist;
          i+axle_dist L];
    ey = [0 0;
          0 0;
          0 0];

    % Assemblering, loopar igenom de 3 elementen för att bygga ihop brons
    styvhetsmatris. Bygg styvhetsmatris och lastvektor
    for j = 1:3
        % Lokalt
        [Ke, fe] = beam2e(ex(j,:), ey(j,:), ep, eq(j,:));
        % Assemblering till globalt
        [K, f] = assem(edof(j,:), K, Ke, f, fe);
    end

    % Randvillkor för fritt upplagd bro:
    % Nod 1: Fast i x (1) och y (2)
    % Nod 4: Rullstöd, fast i y (11)
    bc = [1 0;
          2 0;
          11 0];

    % Lös ekvationssystemet K*a=f
    [a, ~] = solveq(K, f, bc);
```

```

ed = extract(edof, a);

% Beräkna hur många snittpunkter varje element ska ha
n_pts1 = max(2, round(i * nog));
n_pts2 = max(2, round(axle_dist * nog));
n_pts3 = max(2, round((L - i - axle_dist) * nog));

% CALFEM-funktion som utifrån elementets rörelser (ed) räknar ut de inre
% spänningarna/snittkrafterna: Normalkraft (kolumn 1), Tvärkraft (kolumn
2), Moment (kolumn 3).
es1 = beam2s(ex(1,:), ey(1,:), ep, ed(1,:), eq(1,:), n_pts1);
es2 = beam2s(ex(2,:), ey(2,:), ep, ed(2,:), eq(2,:), n_pts2);
es3 = beam2s(ex(3,:), ey(3,:), ep, ed(3,:), eq(3,:), n_pts3);

% Slå ihop resultaten för alla 3 element till vektorer för hela bron.
V = [es1(:,2); es2(:,2); es3(:,2)];
M = [es1(:,3); es2(:,3); es3(:,3)];

```

Not enough input arguments.

Error in momentdiagrampunktlast (line 10)

```

if i < 0.001; i = 0.001; end

```

Published with MATLAB® R2023b

Maxmoment

```

clear all
clc
close all
% Vill "köra" lastbilen över bron för att hitta placeringen som är mest
% ogynnsamm.

% Indata
L = 25; % [m] Spännvidd
l = 1; % [m] 1m-strimla
h = 1.2; % [m] Brohöjd
B_tot = 7.15; % [m] Total bredd på bron
d_hal = 0.2; % [m] Håldiameter på hålbjälklag
antal_hal_per_m = 3; % [st] Antal hål på en meterstrimla av tvärsnittet
tunghet_btg = 25e3; % [N/m^3] Tunghet armerad betong
tunghet_asfalt = 23e3; % [N/m^3] Tunghet asfaltsbeläggning
tjocklek_asfalt = 0.095; % Tjocklek beläggning
kantbalk_hojd = 0.4; % Höjd på kantbalk
tunghet_racke = 0.5e3; % [N/m] tunghet broräcke

% Utrustning per breddmeter (två kantbalkar och två räcken)
Gk_utrustning = (2*(kantbalk_hojd*l*tunghet_btg+tunghet_racke*l))/B_tot;
% Total utbredd last för brons egenvikt (massivt tvärsnitt minus hålen +
asfalt + utrustning)
Gk = tunghet_btg*h*l-
tunghet_btg*(pi*d_hal^2)/4)*antal_hal_per_m+tunghet_asfalt*tjocklek_asfalt+
Gk_utrustning;

% Laster och koefficienter (eurokod (vilken?))
gamma_G = 1.35; gamma_Q = 1.5; eps = 0.85; % Säkerhetsfaktorer för ULS
gaffel_0q = 0.40; gaffel_1Q = 0.75; gaffel_2q = 0; % Psi-faktorer för SLS
alpha_Q = 0.9; alpha_q = 0.7; % Anpassningsfaktorer för trafikklass

```

```

E = 35e9; % [Pa] Elasticitetsmodul för betong (för betong C40/50)
I = (1*(h^3)/12)-((pi*(d_hal^4)/64)*antal_hal_per_m); % [m^4]
Tröghetsmoment, avdrag för hålens tröghetsmoment
A = 1*h-(((d_hal^2)*pi)/4)*antal_hal_per_m); % [m^2] Area, avdrag för
håle area
ep = [E A I]; % Vektor för CALFEM

Qk = (2*300e3*alpha_Q)/3; % [N] Punktlast från boggin (divideras med 3 pga
beräkning på 1m-strimla av ett 3m lastfält)
qk = 9e3*alpha_q; % [Nm] Utbredd trafiklast

% Skapa matris där varje rad är ett lastfall
% Kolumn 1: Egenvikt, Kolumn 2: Utbredd trafik, Kolumn 3: Punktlast (Boggi).
P_comb(1,:) = [eps*gamma_G*Gk, gamma_Q*gaffel_0q*qk, gamma_Q*Qk]; % ULS
6.10b
P_comb(2,:) = [Gk, gaffel_0q*qk, Qk]; % SLS
Karaktéristisk
P_comb(3,:) = [Gk, gaffel_2q*qk, gaffel_1Q*Qk]; % SLS
Frekvent
P_comb(4,:) = [Gk, gaffel_2q*qk, 0]; % SLS
Kvasipermanent, (trafiklast = 0)
comboNames = {'ULS 6.10b', 'SLS Karakt.', 'SLS Frekvent', 'SLS Kvasiperm.'};

% Loop
nog = 10;
% Skapar en vektor med 50 punkter längs bron (från 0 till L-1.2, dvs boggens
avstånd)
pos_vektor = linspace(0, L-1.2, 50);

% Förbereder figurer för plottning
figure(1); clf; hold on; grid on; title('Dimensionerande Momentdiagram');
xlabel('x [m]'); ylabel('M [Nm]'); set(gca, 'YDir', 'reverse');

figure(2); clf; hold on; grid on; title('Tillhörande Tvärkraftsdiagram');
xlabel('x [m]'); ylabel('V [N]'); set(gca, 'YDir', 'reverse');

% Loopa lastkombinationer
for k = 1:4 % Loopar igenom raderna i P_comb

    q_utbredd = -(P_comb(k,1)+P_comb(k,2)); % Summera egenvikt och utbredd
trafiklast (minus för att den pekar nedåt)
    P_axel = -P_comb(k,3)/2; % Dela boggin på 2 axlar

    % Variabel för att minnas det högsta momentet som hittats under loopen.
    Börjar på minus oändligheten.
    bestMabs = -inf;
    resM = []; resV = [];

    % "Kör" lastbilen över bron, där "i" är positionen för boggens första
    % axel
    for i = pos_vektor
        % Anropar CALFEM-funktionen för position "i"
        [V, M, ~, ~, ~] = momentdiagrampunktlast(L, P_axel, ep, q_utbredd,
0, i, nog, "none", [1 L]);

        % Jämför nuvarande positionens maxmoment med det tidigare högsta
        % värdet för att hitta positionen som maximerar böjmoment
        if max(abs(M)) > bestMabs
            bestMabs = max(abs(M));
            resM = M;
            resV = V;
        end

    % Spara maxvärden för de olika lastfallen
    maxMoment(k) = max(abs(resM));
    maxShear(k) = max(abs(resV));
end

```

```

end

% Plotta, tvärkraften plottas där böjmomentet är mest ogynnsamt
figure(1); plot(linspace(0, L, length(resM)), resM, 'DisplayName',
comboNames{k}, 'LineWidth', 1.5);
figure(2); plot(linspace(0, L, length(resV)), resV, 'DisplayName',
comboNames{k}, 'LineWidth', 1.5);
end

figure(1); legend('Location', 'best');
figure(2); legend('Location', 'best');

fprintf('\n Resultat maxmoment och tillhörande tvärkraft \n')
for k = 1:4
    fprintf('%s:\n', comboNames{k});
    fprintf('  Max moment: %.2f kNm\n', maxMoment(k)/1e3)
    fprintf('  Max tvärkraft: %.2f kN\n\n', maxShear(k)/1e3)
end

```

Resultat maxmoment och tillhörande tvärkraft

ULS 6.10b:

Max moment: 4839.28 kNm

Max tvärkraft: 654.86 kN

SLS Karakt.:

Max moment: 3827.74 kNm

Max tvärkraft: 532.82 kN

SLS Frekvent:

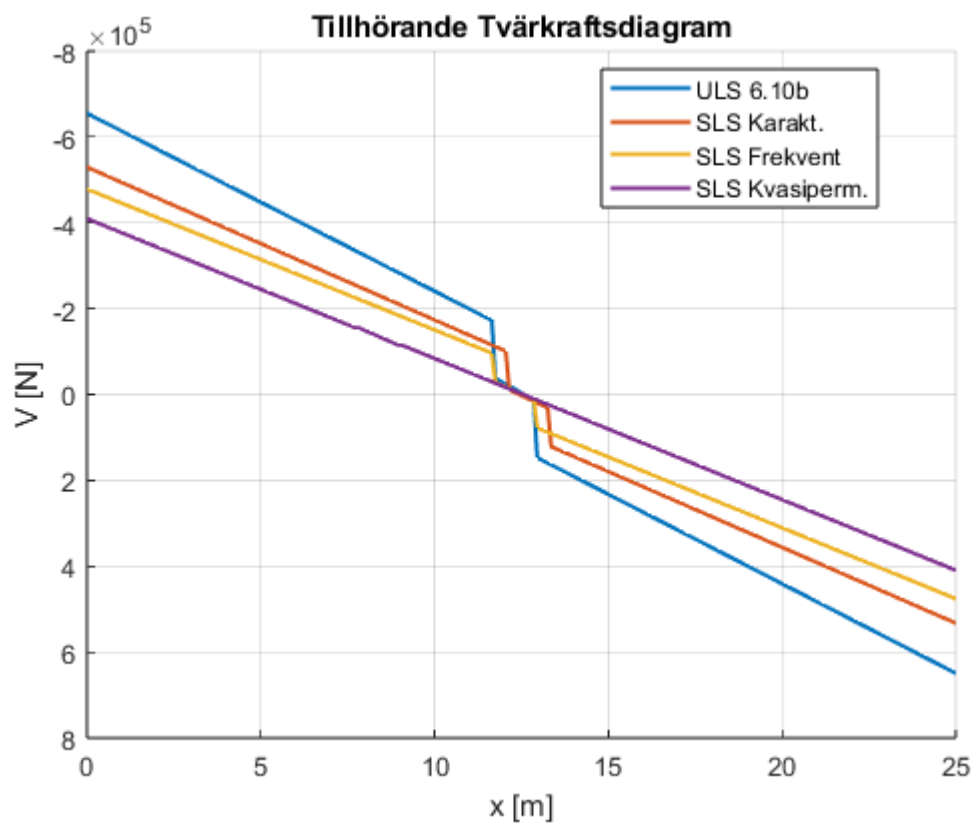
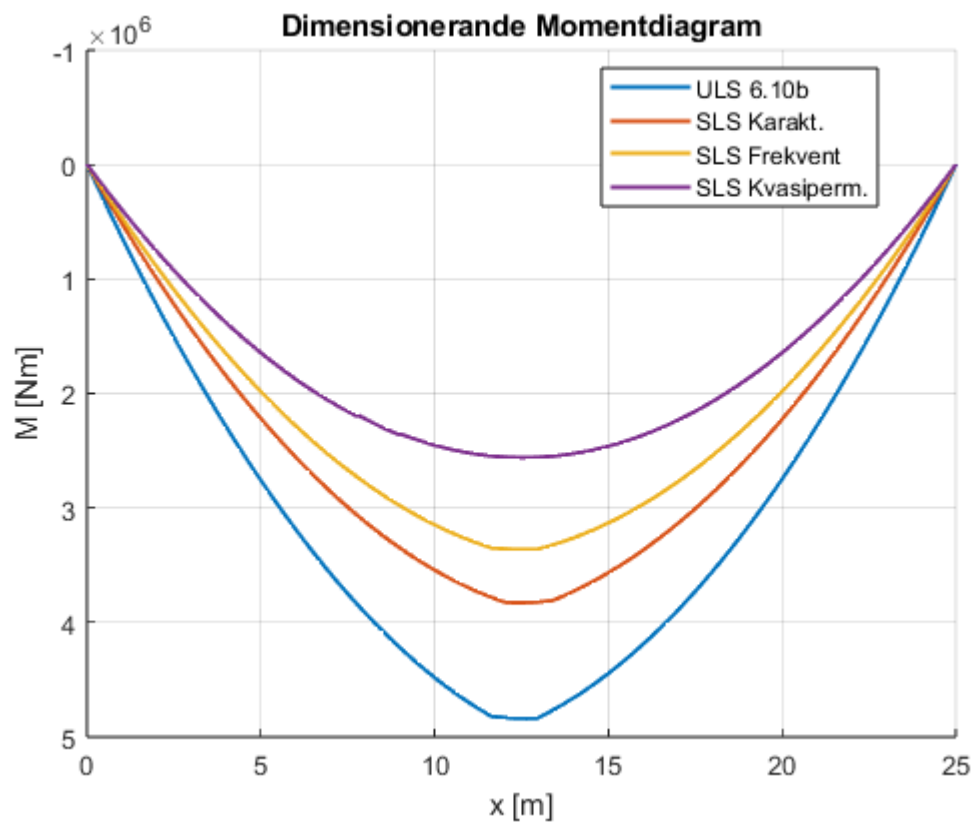
Max moment: 3363.11 kNm

Max tvärkraft: 478.38 kN

SLS Kvasiperm.:

Max moment: 2559.83 kNm

Max tvärkraft: 409.57 kN



Max tvärkraft

```
clear all
clc
close all
% Vill "köra" lastbilen över bron för att hitta placeringen som är mest
% ogynnsamm.

% Indata
L = 25; % [m] Spännvidd
l = 1; % [m] 1m-strimla
h = 1.2; % [m] Brohöjd
B_tot = 7.15; % [m] Total bredd på bron
d_hal = 0.2; % [m] Håldiameter på hålbjälklag
antal_hal_per_m = 3; % [st] Antal hål på en meterstrimla av tvärsnittet
tunghet_btg = 25e3; % [N/m^3] Tunghet armerad betong
tunghet_asfalt = 23e3; % [N/m^3] Tunghet asfaltsbeläggning
tjocklek_asfalt = 0.095; % Tjocklek beläggning
kantbalk_hojd = 0.4; % Höjd på kantbalk
tunghet_racke = 0.5e3; % [N/m] tunghet broräcke

% Utrustning per breddmeter (två kantbalkar och två räckan)
Gk_utrustning = (2*(kantbalk_hojd*l*tunghet_btg+tunghet_racke*l))/B_tot;
% Total utbredd last för brons egenvikt (massivt tvärsnitt minus hålen +
asfalt + utrustning)
Gk = tunghet_btg*h*l-
tunghet_btg*(pi*d_hal^2)/4*antal_hal_per_m+tunghet_asfalt*tjocklek_asfalt+
Gk_utrustning;

% Laster och koefficienter
gamma_G = 1.35; gamma_Q = 1.5; eps = 0.85; % Säkerhetsfaktorer för ULS
gaffel_0q = 0.40; gaffel_1Q = 0.75; gaffel_2q = 0; % Psi-faktorer för SLS
alpha_Q = 0.9; alpha_q = 0.7; % Anpassningsfaktorer för trafikklass

E = 35e9; % [Pa] Elasticitetsmodul för betong (för betong C40/50)
I = (1*(h^3)/12)-((pi*(d_hal^4)/64)*antal_hal_per_m); % [m^4]
Tröghetsmoment, avdrag för hålens tröghetsmoment
A = 1*h-(((d_hal^2)*pi)/4)*antal_hal_per_m; % [m^2] Area, avdrag för
hålens area
ep = [E A I]; % Vektor för CALFEM

Qk = (2*300e3*alpha_Q)/3; % [N] Punktlast från boggin (divideras med 3 pga
beräkning på 1m-strimla av ett 3m lastfält) OBS! referera till rätt eurokod
qk = 9e3*alpha_q; % [Nm] Utbredd trafiklast

% Skapa matris där varje rad är ett lastfall
% Kolumn 1: Egenvikt, Kolumn 2: Utbredd trafik, Kolumn 3: Punktlast (Boggi).
P_comb(1,:) = [eps*gamma_G*Gk, gamma_Q*gaffel_0q*qk, gamma_Q*Qk]; % ULS
6.10b
P_comb(2,:) = [Gk, gaffel_0q*qk, Qk]; % SLS
Karaktéristisk
P_comb(3,:) = [Gk, gaffel_2q*qk, gaffel_1Q*Qk]; % SLS
Frekvent
P_comb(4,:) = [Gk, gaffel_2q*qk, 0]; % SLS
Kvasipermanent, (trafiklast = 0)
comboNames = {'ULS 6.10b', 'SLS Karakt.', 'SLS Frekvent', 'SLS Kvasiperm.'};

% Loop
nog = 10;
% Skapar en vektor med 50 punkter längs bron (från 0 till L-1.2, dvs boggens
avstånd)
pos_vektor = linspace(0, L-1.2, 50);

% Förbereder figurer för plottning
figure(1); clf; hold on; grid on; title('Tillhörande Momentdiagram');
```

```

xlabel('x [m]'); ylabel('M [Nm]'); set(gca, 'YDir', 'reverse');

figure(2); clf; hold on; grid on; title('Dimensionerande
Tvärkraftsdiagram');
xlabel('x [m]'); ylabel('V [N]'); set(gca, 'YDir', 'reverse');

% Loopa lastkombinationer
for k = 1:4 % Loopar igenom raderna i P_comb
    q_utbredd = -(P_comb(k,1) + P_comb(k,2)); % Summera egenvikt och utbredd
    trafiklast (minus för att den pekar nedåt)
    P_axel = -P_comb(k,3)/2; % Dela boggin på 2 axlar

    % Variabel för att minnas det högsta momentet som hittats under loopen.
    Börjar på minus oändligheten.
    bestVabs = -inf;
    resV = []; resM = [];

    % "Kör" lastbilen över bron, där i är positionen för boggin första
    % axel
    for i = pos_vektor
        % Anropar CALFEM-funktionen för position "i"
        [V, M, ~, ~, ~] = momentdiagrampunktlast(L, P_axel, ep, q_utbredd,
0, i, nog, "none", [1 L]);

        % Jämför nuvarande positionens maxmoment med det tidigare högsta
        % värdet för att hitta positionen som maximerar böjmoment
        if max(abs(V)) > bestVabs
            bestVabs = max(abs(V));
            resM = M;
            resV = V;
        end

        % Spara maxvärden för de olika lastfallen
        maxMoment(k) = max(abs(resM));
        maxShear(k) = max(abs(resV));

    end

    % Plotta, tvärkraften plottas där böjmomentet är mest ogynnsamt
    figure(1); plot(linspace(0, L, length(resM)), resM, 'DisplayName',
comboNames{k}, 'LineWidth', 1.5);
    figure(2); plot(linspace(0, L, length(resV)), resV, 'DisplayName',
comboNames{k}, 'LineWidth', 1.5);
end

figure(1); legend('Location', 'best');
figure(2); legend('Location', 'best');

fprintf('\n Resultat maxtvärkraft och tillhörande moment \n')
for k = 1:4
    fprintf('%s:\n', comboNames{k});
    fprintf('  Max moment: %.2f kNm\n', maxMoment(k)/1e3)
    fprintf('  Max tvärkraft: %.2f kN\n\n', maxShear(k)/1e3)
end

```

Resultat maxtvärkraft och tillhörande moment

ULS 6.10b:

Max moment: 3314.37 kNm

Max tvärkraft: 780.74 kN

SLS Karakt.:

Max moment: 2811.05 kNm

Max tvärkraft: 616.75 kN

SLS Frekvent:

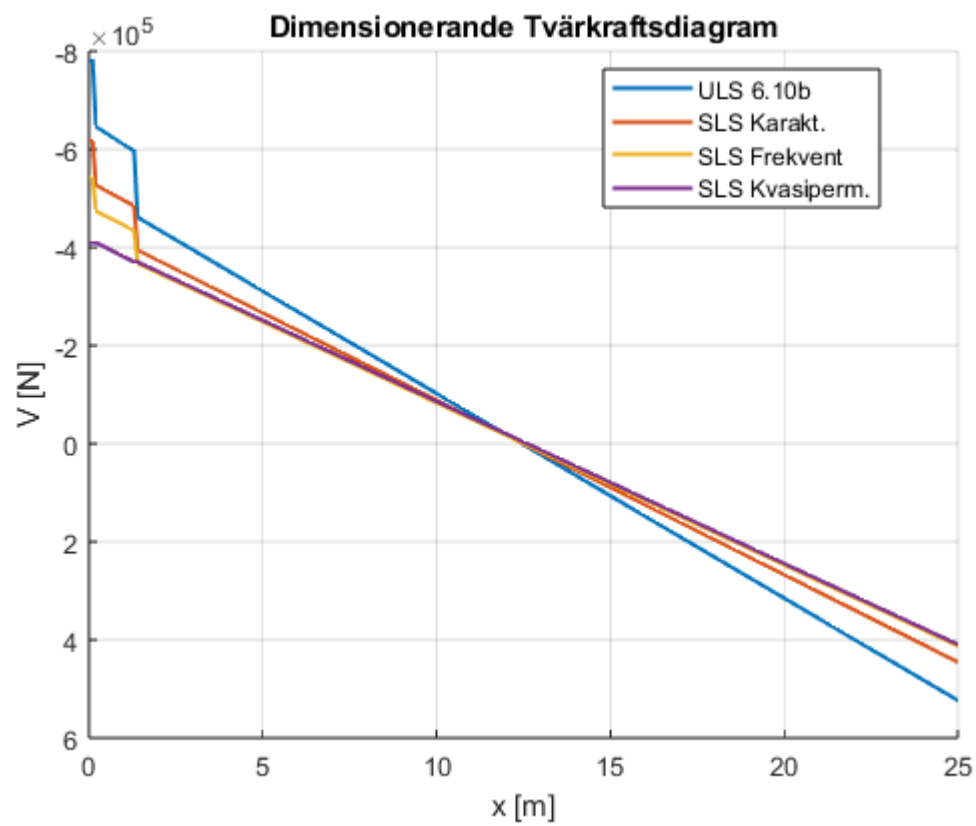
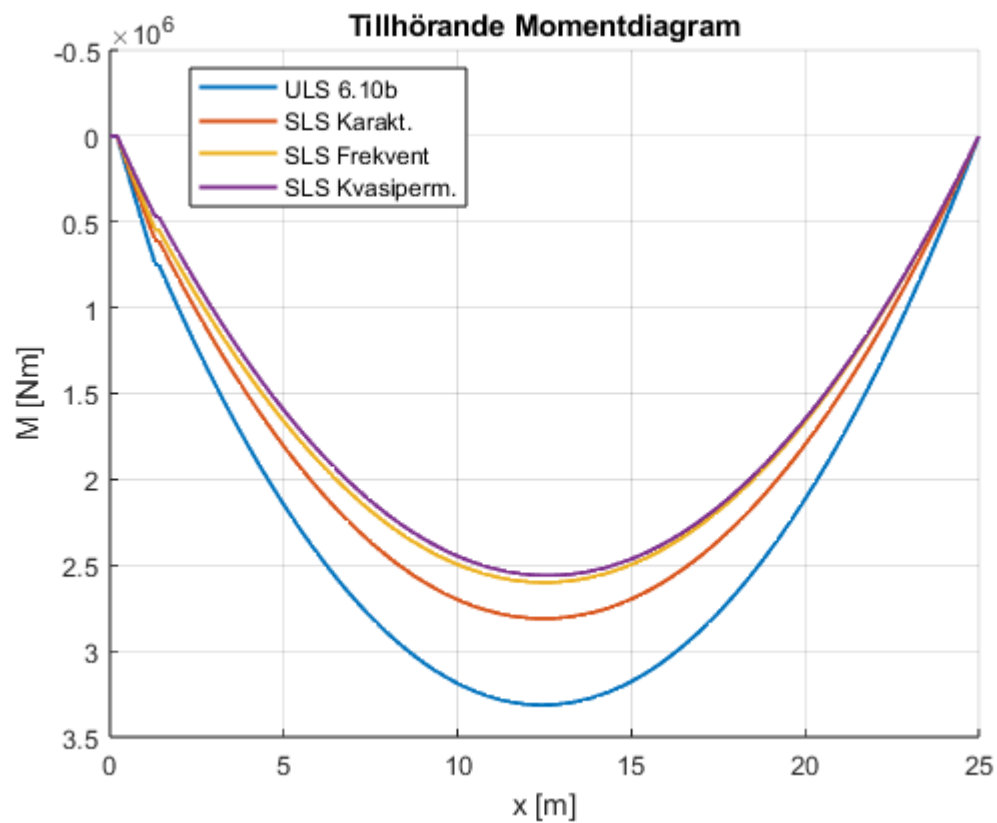
Max moment: 2600.53 kNm

Max tvärkraft: 541.33 kN

SLS Kvasiperm.:

Max moment: 2559.80 kNm

Max tvärkraft: 409.57 kN



TEMPERATURLAST

```
% TEMPERATURLAST
% Eurokod 1991-1-5
% Betongbro = typ 3 (6.1.1)

L = 25; % [m] spännvidd

% Maximal och minimal lufttemperatur för Norrköping
T_max = 34; % [°C] karakteristisk maximal lufttemperatur
T_min = -26; % [°C] karakteristisk minimal lufttemperatur

% Figur 6.1 för att konvertera lufttemperatur till betongens
% genomsnittliga temperatur
T_emax = 35; % [°C]
T_emin = -32; % [°C]

% Den temperatur bron råkade ha den dag betongen härdade och låstes fast i
% stöden.
To = 10; % [°C] (Uppskattad värde, kallt för att det är sämre för betongen)

% (6.1) Förkortning mot kallaste dagen
deltaT_Ncon = To - T_emin;

% (6.2) Förlängning mot varmaste dagen
deltaT_Nexp = T_emax - To;

% Linjär temperaturskillnad (Översidan värms av solen, undersidan i skugga),
% skapar temperaturgradient = moment (6.1.4)
deltaT_Mheat = 15; % [°C] tabell 6.1
deltaT_Mcool = 8; % [°C] tabell 6.1

% Samtidighetsfaktorer: Sannolikheten att det är maximalt kallt ute,
% samtidigt som temperaturskillnaden i tvärsnittet är extrem (6.1.5)
omegaN = 0.35;
omegaM = 0.75;

% Fyra kombinationer för extrem kyla respektive värme (6.1.5)
A = deltaT_Mheat + omegaN * deltaT_Nexp; % (6.3)
B = omegaM * deltaT_Mheat + deltaT_Nexp; % (6.4)
C = deltaT_Mcool + omegaN * deltaT_Ncon; % (6.3)
D = omegaM * deltaT_Mcool + deltaT_Ncon; % (6.4)

% Linjär längdutvidgningskoefficient för betong. Hur mycket 1 meter betong
% växer om det blir 1 grad varmare.
alpha_T = 10*10^-6; % [1/°C]

% Väljer den kombination som ska testas som dimensionerande
% temperaturskillnad (D dimensionerande om man testat alla)
delta_T = D; % [°C] Temperaturskillnad

% Den teoretiska längdförändringen i meter
delta_L = alpha_T * L * delta_T % [m]  $\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$ 

% Skapar rörelser i lagret men pga att bron är fritt upplagd skapas inga
% tvångsspänningar att ta hänsyn till

delta_L =
```

0.0120

BROMS - OCH ACCELERATIONSLAST

Maxgräns 900 kN EN-SS 1991-2

```
alpha_Q1 = 1; % Anpassningsfaktor för trafikklass (4.4.1)
Q_k = 300; % [kN] Boggin (två axlar)
q_k = 9; % [kN/m2] Utbredd last i körfält
w = 3; % [m] Standardbredd körfält
alpha_q1 = 1; % Anpassningsfaktor (4.4.1)
L = 25; % [m] Spännvidd

% Formel 4.6 i Eurokod för total dimensionerande bromslast.
% Kombination av punktlasternas bromskraft (60%) och jämnt fördelad (10%)
Q_lk = 0.6*alpha_Q1*2*Q_k + 0.10*alpha_q1*q_k*w*L % ekv 4.6

% Kontroll av bromskraft, måste ligga inom intervall
min_grans = 180 * alpha_Q1; % [kN]
max_grans = 900; % [kN]

if Q_lk > min_grans & Q_lk < max_grans
    disp('Bromskraft är inom intervall - OK')
else
    disp('Bromslast är inte inom intervall - inte OK')
end
```

Q_lk =

427.5000

Bromskraft är inom intervall - OK

Bilaga D – Dimensionering

I denna bilaga presenteras tillvägagångssättet på hur brotvärsnittet togs fram.

Dimensionering tvärled

Dimensionering brottgränstillstånd tvärled: Följande avsnitt gäller dimensionering i tvärled för brottsgränstillstånd ULS respektive bruksgränstillstånd SLS. Beräkningarna är utefter 1 meter av körbanan. Materialegenskaper och indata är hämtade från Bärande konstruktioner del 1 och 2 (Al Emrani et al., 2020) samt från krav i Eurokod och Boverket. Samtliga ekvationer och beräkningar genomförs i MATLAB med hänvisning till aktuell tabell eller figur.

Dimensionering i brottsgränstillstånd ULS:

Nedan följer materialegenskaper för den valda betongen.

Materialegenskaper betongplatta

Betong C40/50

$f_{ck}=40$	[Mpa]	Tabell (B2.1)
$f_{ctm}=3,5$	[Mpa]	Tabell (B2.1)
$\gamma_c=1,5$	[-]	Partialkoefficient
$E_{cm}=35$	[Gpa]	Elasticitetsmodul Tabell (B2.3)

Armering B5005B

$f_{yk}=500$	[Mpa]	Tabell (B2.11)
$\gamma_s=1,15$	[-]	Partialkoefficient
$E_s=210$	[Gpa]	Elasticitetsmodul Tabell (B2.26)

Dimensionerande materialegenskaper

$f_{cd}=26,67$	[Mpa]	Dimensionerande hållfasthet betong (B2.3)
$f_{yd}=434,78$	[Mpa]	Dimensionerande hållfasthet stål (B2.26)

Dimensionerande laster

$V_{ED,brott}=559$	[kN]	Tvärkraft brottgränstillstånd
$V_{ED,kar}=395$	[kN]	Karakteristisk tvärkraft
$V_{ED,frek}=315$	[kN]	Frekvent tvärkraft
$V_{ED,kvasi}=96$	[kN]	Kvasipermanent tvärkraft
$M_{ED,brott}=729$	[kNm]	Moment brottgränstillstånd
$M_{ED,kar}=518$	[kNm]	Karakteristisk moment
$M_{ED,frek}=415$	[kNm]	Frekvent moment
$M_{ED,kvasi}=135$	[kNm]	Kvasipermanent moment

Armeringens placering

Minsta täckande betongskikt

$c_{min} = 45$	[mm]	Minsta tillåtna täcksikt
$c_{dev} = 10$	[mm]	Nationell parameter (B4-26)
$c_{nom} = c_{min} + c_{dev} = 55$	[mm]	Nominellt mått (B4-24)

Centrumavstånd mellan armeringsstänger

$d_g = 20$	[mm]	Största stenstorlek i ballast
$K_1 = 1$	[-]	Nationell parameter
$K_2 = 5$	[mm]	Nationell parameter
$\phi = 25$	[mm]	Diameter per armeringsstång
$\alpha_{min} = \max(K_1 * \phi, d_g + K_2, 20 \text{ mm}) = 25$	[mm]	Minsta fria avstånd (B4-27)

Armeringsmängd

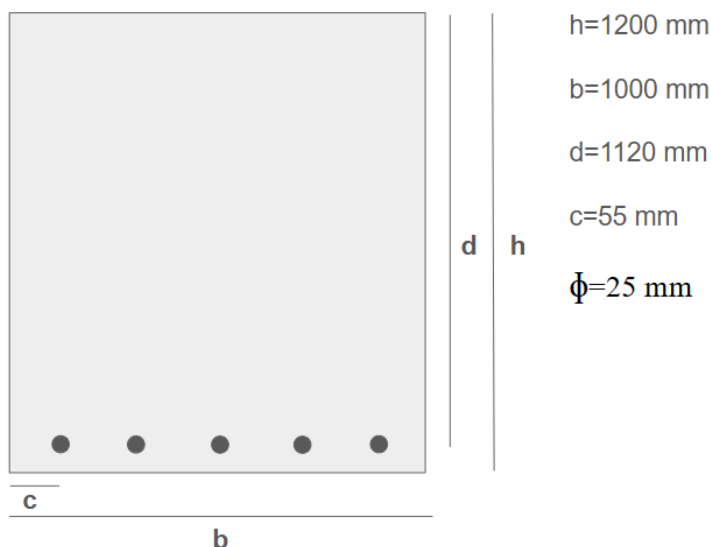
$A_{si} = \frac{\pi * \phi^2}{4} = 0,000491$	$[m^2]$	Area per armeringsstång
$A_s = \frac{M_{ED}}{f_{yd} * z} = 0.0025$	$[m^2]$	
$n = 5$	[st]	Antal armeringsstänger dragarmering

Tvärsnitt och geometri

Betongens tvärsnitt ansätts utefter antalet armeringsstänger och jämförs med det dimensionerande momentet. Kontroller gällande flytgräns genomförs för att avgöra om kapaciteten är tillräckligt, det vill säga om $M_{RD} > M_{ED}$.

$b = 1000$	[mm]	Bredd tvärsnitt betong
$h = 1200$	[mm]	Höjd tvärsnitt betong
$d = 1120$	[mm]	Avstånd dragarmering från överkant
$\phi = 25$	[mm]	Diameter armeringsstång
$A_{s,} = 0.0025$	$[m^2]$	Area armering drag
$A_{btg} = 1,2$	$[m^2]$	Area betong

Nedan följer en bild av det valda tvärsnittet i tvåled.



Figur 11, Brobaneplattans tvärsnitt i tvärled.

Deformationsvillkor

Deformationsvillkor, jämvikt, stålspänning och kontroller utförs efter Bärande Konstruktioner del 1 (Al Emrani et al., 2020).

$$\varepsilon'_s = \frac{x-d'}{x} * \varepsilon_{cu} \quad \text{Töjning tryckarmering, tabell (B5-25)}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-x}{x} * \varepsilon_{cu} \quad \text{Töjning dragarmering, tabell (B5-26)}$$

$$\text{där } \varepsilon_{cu} = 0,0035 \quad \text{Brottstukning, tabell (B3-13)}$$

Antag alla armering flyter

$$\sigma_{s,1} = f_{yd}, \text{ för } \varepsilon_s' \geq \varepsilon_{sy}' \quad \text{Stålspänning dragarmering, tabell (B5-28)}$$

$$\text{där } \varepsilon_{sy}' = \frac{f_{yd}}{E_s} = 0,00207$$

$$x = 0.3247 \quad [\text{m}]$$

= > OK!

Jämvikt tvärsnitt

$$\alpha * f_{cd} * b * x + \sigma'_s * A'_s = \sigma_s * A_s \quad \text{Tabell (B5-23)}$$

$$M_{RD} = \alpha * f_{cd} * b * x(d - \beta * x) + \sigma'_s * A'_s(d - d') \quad \text{Tabell (B5-24)}$$

$$\Rightarrow M_{RD} = 1169.34 \quad [\text{kNm}]$$

Kontroll momentkapacitet

$$M_{Ed} \leq M_{RD} \Rightarrow \text{OK!}$$

Kontroll tvärkraftskapacitet

Tvärkraftskapacitet beräknas utifrån dimensionerande tvärkraft och kontrolleras av livtryckskapacitet och skjuvglidbrott.

Livtryckskapacitet

Livtrycksbrott uppstår i sneda trycksträvor och beräknas enligt nedanstående formler ur Bärande konstruktioner Del 1 (Al Emrani et al., 2020).

$$V_{Rd,liv} \leq 0,5 * v * f_{cd} * b_w * d \quad \text{Livtrycksbrott, tabell (B6-11)}$$

$$\text{där } v = 0,6 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,504$$

$$\Rightarrow V_{Rd,liv} = 7448.37 \text{ [kN]}$$

$$V_{Ed} = 559 \text{ [kN]}$$

Kontroll livtrycksbrott

$$V_{Rd,liv} \geq V_{Ed} \Rightarrow \text{OK!}$$

Skjuvglidbrott

Skjuvglidbrott uppstår utefter sneda sprickor och beräknas enligt nedanstående formler ur Bärande konstruktioner Del 1 (Al Emrani et al., 2020).

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} * b_w * d \quad \text{Tvärkraftskapacitet, tabell (B6-14)}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \quad [-] \quad \text{Nationell parameter}$$

$$\gamma_c = 1,5 \quad [-]$$

$$k = 1 + \frac{\sqrt{200}}{d} = 1,02 \leq 2 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,228$$

$$\Rightarrow V_{Rd,c} = 420,8 \text{ [kN]}$$

Kontroll skjuvglidbrott

$$V_{Rd,c} \leq V_{Ed} \Rightarrow \text{EJ OK} \Rightarrow \text{tvärkraftsarmering behövs}$$

Dimensionering tvärkraftsarmering

$$V_{Rd,max} = \alpha_c * b * z * v_1 f_{cd} * \frac{1}{\cot(\alpha_c) + \tan(\alpha_c)} = 5869.60 \text{ [kN]}$$

Kontroll tvärkraftsarmering

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed} \Rightarrow \text{OK!}$$

Centrumavstånd mellan tvärkraftsarmering

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} * f_{ywd} * z * \cot(\theta)}{s} = 767 \text{ [kN]}$$

$$s = 0.224 \text{ [m]}$$

$$s_{1,max} = 0,75 * d * (1 + \cot(\alpha_c)) = 0.6 \text{ [m]}$$

Kontroll seghet

$$\frac{x}{d_1} \leq 0,35 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\frac{x}{d_2} \leq 0,35 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\frac{x}{d_3} \leq 0,35 \Rightarrow \text{OK}$$

Kontroll armeringsmängd

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \Rightarrow \text{OK}$$

Kontroll sprickmoment

$$M_{cr} = \frac{f_{ctfl} \cdot I_c}{h - x_{tp}} = 840 \text{ [kNm]}$$

$$M_{cr} \geq M_{Ed} \Rightarrow \text{OK}$$

Långtidseffekter

Krypning

$$RH = 80 \%$$

$$A_c = 1,2 \quad [m^2]$$

$$u = 3,2 \quad [m]$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = 750 \quad [mm]$$

Relativ fuktighet

Tvärsnittsarea

Omkrets som utsätts för uttorkning

Tvärsnittets ekvivalenta tjocklek

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \right] \cdot [35/f_{cm}]^{0,2} = 3,005 \quad [-] \quad \text{Faktor, beaktar RH}$$

$$\beta(f_{cm}) = 2,43$$

[-] Tabell (B2.9)

$$\beta(t_0) = 0,48$$

[-] Figur (B2.20)

$$\varphi(\infty, t_0) = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 3.498$$

[-] Slutligt kryptal

$$\alpha_{ef} = \frac{E_s}{E_{sm}} \cdot (1 + \varphi_{t0}(\infty)) = 26,99$$

[-] Krypning, tabell (B7-67)

Krympning

$$\varepsilon_{cdi} = 0,315 \cdot 10^{-3}$$

[-] Uttorkningskrympning klass N tabell (B2.5)

$$\beta_{RH} = 0,756$$

[-] Faktor med hänsyn till RH, tabell (B2.6)

$$k_h = 0,75$$

[-] Faktor med hänsyn till h_0 , tabell (B2.7)

$$\varepsilon_{cd}(\infty) = k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \varepsilon_{cdi} = 0,00018$$

[-] Slutlig uttorkningskrympning tabell (B2-18)

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 0,075$$

[-] Slutlig autogen krympning, tabell (B2.8)

$$\varepsilon_{cs}(\infty) = \varepsilon_{cd}(\infty) + \varepsilon_{ca}(\infty) = 0,075$$

[-] Slutligt krympmått, tabell (B2-17)

Spänningar i bruksgränstillstadie SLS

Betongspänning (överkant): 6,43 MPa

Stålspänningar:

Lager 1: 354.41 MPa

Kontroll:

$$\sigma_c = 5,36 \text{ MPa} \leq 0,45 \cdot f_{ck} \Rightarrow \text{OK!}$$

$$\sigma_s = 354.41 \text{ MPa} \leq 0,8 \cdot f_{yk} \Rightarrow \text{OK!}$$

Beräkning neutrallager

Neutrallager: $x_n=0.3247$ m

Sprickbredd i bruksgränsstadiet SLS

$s_{r,max}=0.3785$ m

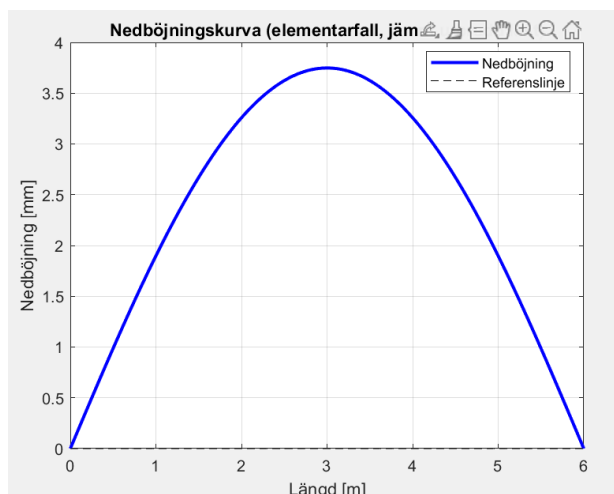
$W_k=0$, sprickbredd 0 då tvärsnittet ej spricker

Nedböjning i bruksgränsstadiet SLS

Maximal nedböjning, $v=0.00375$ m

Kontroll:

$v \leq L/200 \Rightarrow \text{OK!}$



Figur 12, nedböjning i tvärled.

MATLAB-script för dimensionering och kontroller i tvärled

```
clc  
  
clear all
```

Dimensionering brottgränstillstånd ULS

```
% Materialegenskaper betong C40/50  
fck=40e6;           %[Pa]  Tabell (B2.1)  
fctm=3.5e6;         %[Pa]  Tabell (B2.1)  
fcm=48e6;           %[Pa]  Tabell (B2.1)  
gamma_c=1.5;        %[-]   Partialkoefficient  
Ecm=35e9;           %[Pa]  Elasticitetsmodul, tabell (B2.3)  
fcd=26.67e6;        %[Pa]  Dimensionerande hållfasthet betong (B2-3)  
  
% Materialegenskaper Armering B500B  
fyk=500e6;          %[Pa]  Tabell (B2.11)
```

```

gamma_s=1.15;           %[-]   Paartialkoefficient
Es=210e9;               %[Pa]   Elasticitetsmodul, tabell (B2-26)
fyd=434.78e6;           %[Pa]   Dimensionerande hållfasthet stål, tabell
                             (B2.25)
eps_cu=0.0035;          %[Pa]   Brottstukning

% Dimensionerande laster
V_Ed_ULS=559e3;          %[N]   Dimensionerande tvärkraft brottgränstillstånd
V_Ed_kar=395e3;          %[N]   Karakteristisk tvärkraft
V_Ed_frek=315e3;         %[N]   Frekvent tvärkraft
V_Ed_kvasi=96e3;         %[N]   Kvasipermanent tvärkraft

M_Ed_ULS=729e3;          %[Nm]   Dimensionerande moment brottgränstillstånd
M_Ed_kar=518e3;          %[Nm]   Karakteristiskt moment
M_Ed_frek=415e3;         %[Nm]   Frekvent moment
M_Ed_kvasi=135e3;        %[Nm]   Kvasipermanent moment

```

Armeringens placering

```

% Minsta täckande betongskikt
c_min=0.045;             %[m]   Minsta tillåtna täckskikt
c_dev=0.010;             %[m]   Nationell parameter, tabell (B4-
26)
c_nom=c_min+c_dev;       %[m]   Nominellt mått, tabell (B4-24)

% Centrumavstånd mellan armeringsstänger
dg=0.020;                %[m]   Största stenstorlek i ballast
k1=1;                    %[-]   Nationell parameter
k2=0.005;                %[m]   Nationell parameter
D_arm=0.025;             %[m]   Diameter per armeringsstång
alpha_min=max([k1*D_arm,dg+k2,0.02]); %[m]   Minsta fria avstånd, tabell (B4-
27)

```

Tvärsnitt geometri

```

h=1.2;                   %[m]   Höjd på tvärsnitt
b=1;                     %[m]   Bredd på tvärsnitt
c_nom=0.055;             %[m]   Nominellt mått, tabell (B4-24)
D_arm=0.025;            %[m]   Diameter per armeringsstång
D_byglar=0.012;         %[m]   Diameter byglar
d=h-(c_nom+D_arm/2+D_byglar); %[m]   Avstånd överkant till dragarmering
d_1=d;                  %[m]
As_ULS=M_Ed_ULS/(0.9*d*fyd); %[m^2]   Area armering
Asi=pi*D_arm^2/4;       %[m^2]   Area per armeringsstång
n_1=5;                  %[st]   Antal armeringsstänger dragarmering
As_1=Asi*n_1;           %[m^2]   Area dragarmering
A_btg=b*h;              %[m^2]   Area betong

```

Deformationsvillkor och momentkapacitet

```

% Antag att armeringen flyter
alfa=0.81;               %[-]   Parameter
x=As_1*fyd/(alfa*fcd*b); %[m]
eps_s=(d-x)/x*eps_cu;    %[-]   Töjning
eps_y=fyd/Es;            %[-]

% Kontroll töjning

if eps_s >= eps_y
    sigma_s = fyd;
    disp('Fall: stål flyter');
else
    % Lös korrekt fall
    f=@(x) alfa*fcd*b*x-As_1*Es*((d-x)/x*eps_cu);
    x=fzero(f,d/2);
    sigma_s=Es*((d-x)/x*eps_cu);
    disp('Fall: stål flyter EJ');
end

```

```

% Momentkapacitet
C_c=alfa*fcd*b*x;           %[N] Tryckzon
y_c=0.5*x;                  %[m] Tyngdpunkt tryckzon (rektangulärt block EC2)
z_c=d-y_c;                  %[m] Hävarm

M_Rd=C_c*z_c;               %[Nm] Moment

fprintf('\n--- MOMENTKAPACITET (ULS) ---\n');
fprintf('M_Rd = %.2f kNm\n', M_Rd/1e3);
fprintf('M_Ed_ULS = %.2f kNm\n', M_Ed_ULS/1e3);

if M_Rd >= M_Ed_ULS
    fprintf('OK: M_Rd ≥ M_Ed_ULS\n');
else
    fprintf('FEL: M_Rd < M_Ed_ULS\n');
end

Utnyttjandegrad=M_Ed_ULS/M_Rd;

fprintf('Utnyttjandegrad = %.2f\n', Utnyttjandegrad);

```

Fall: stål flyter

--- MOMENTKAPACITET (ULS) ---

M_Rd = 1169.34 kNm

M_Ed_ULS = 729.00 kNm

OK: M_Rd ≥ M_Ed_ULS

Utnyttjandegrad = 0.62

Livtryckskapacitet

```

v=0.6*(1-fck/250e6);        %[-] Nationell parameter
b_w=b;                       %[m] Bredd tvärsnitt
V_Rd=0.5*v*fcd*b_w*d;        %[N] Tvärkraftskapacitet, tabell (B6-11)

fprintf('\n--- TVÄRKRAFT ---\n');
fprintf('V_Rd = %.2f kN\n', V_Rd/1e3);
fprintf('V_Ed_ULS = %.2f kN\n', V_Ed_ULS/1e3);

% Kontrollera att V_RD > V_Ed_ULS

if V_Rd >= V_Ed_ULS
    fprintf('OK: V_Rd = %.2f N >= V_Ed_ULS = %.2f N\n', V_Rd, V_Ed_ULS);
else
    fprintf('FEL: V_Rd = %.2f N < V_Ed_ULS = %.2f N\n', V_Rd, V_Ed_ULS);
end

```

--- TVÄRKRAFT ---

V_Rd = 7530.70 kN

V_Ed_ULS = 559.00 kN

OK: V_Rd = 7530701.22 N >= V_Ed_ULS = 559000.00 N

Tvärkraftskapacitet utan tvärkraftsarmering ($V_{Rd,c}$)

```

gamma_c=1.5; %[-]
fck_MPa=fck/1e6; %[Mpa]
C_Rd_c=0.18/gamma_c; %[-]
k_c=min(1+(200/(d*1000))^0.5,2); %[-]
A_sl=As_1; %[m^2]
rho_l=min(A_sl/(b_w*d),0.02); %[-]
v_min=0.035*k_c^(3/2)*(fck_MPa)^0.5;
V_min=v_min*b_w*d*1e6; %[N]

V_Rd_c_1=C_Rd_c*k_c*(100*rho_l*fck/1e6)^(1/3)*b_w*d*1e6; %[N]

V_Rd_c=max(V_Rd_c_1,V_min); %[N] Slutligt
värde

fprintf('\n--- TVÄRKRAFT UTAN ARMERING ---\n');
fprintf('V_Rd,c = %.2f kN\n', V_Rd_c/1e3);
fprintf('V_Ed_ULS = %.2f kN\n', V_Ed_ULS/1e3);

% Kontroller

% 1) Kontroll k
if k_c <= 2
    fprintf('OK: k_c = %.3f ≤ 2\n', k_c);
else
    warning('EJ OK: k_c = %.3f > 2\n', k_c);
end

% 2) Kontroll miniminivå
if V_Rd_c >= V_min
    fprintf('OK: V_Rd,c ≥ V_min\n');
else
    warning('EJ OK: V_Rd,c < V_min\n');
end

% 3) Bärförmåga
if V_Rd_c >= V_Ed_ULS
    fprintf('OK: V_Rd,c ≥ V_Ed_ULS\n');
else
    warning('EJ OK: V_Rd,c < V_Ed_ULS → tvärkraftsarmering krävs\n');
end

if V_Rd_c < V_Ed_ULS
    disp('Tvärkraftsarmering krävs');
else
    disp('Endast minimi-byglar används (praktikbro)');
end

```

--- TVÄRKRAFT UTAN ARMERING ---

$V_{Rd,c} = 420.80 \text{ kN}$

$V_{Ed_ULS} = 559.00 \text{ kN}$

OK: $k_c = 1.422 \leq 2$

OK: $V_{Rd,c} \geq V_{min}$

Warning: EJ OK: $V_{Rd,c} < V_{Ed_ULS} \rightarrow$ tvärkraftsarmering krävs\n

Tvärkraftsarmering krävs

Dimensionering av tvärkraftsarmering

```
theta=pi/6;           %[rad]      Rekomenderad vinkel (≈30°)
alfa_cw=1;            %[-]        Faktor enligt EC2
z=0.9*d;              %[m]        Tvärsnittets inre hävarm
v1=v;                 %[-]        v1 (reduktionsfaktor betong)

V_Rd_max=alfa_cw*b_w*z*v1*fcd/(cot(theta)+tan(theta));    %[N] Maximal
tvärkraftskapacitet (betongkrossning)

% Kontroll bärförmåga

fprintf('\n--- MAX TVÄRKRAFT (STRUT FAILURE) ---\n');
fprintf('V_Rd,max = %.2f kN\n', V_Rd_max/1e3);
fprintf('V_Ed_ULS = %.2f kN\n', V_Ed_ULS/1e3);

if V_Rd_max >= V_Ed_ULS
    fprintf('OK: V_Rd,max ≥ V_Ed_ULS\n');
else
    warning('EJ OK: V_Rd,max < V_Ed_ULS → betongkrossning styr\n');
end

--- MAX TVÄRKRAFT (STRUT FAILURE) ---

V_Rd,max = 5869.60 kN

V_Ed_ULS = 559.00 kN

OK: V_Rd,max ≥ V_Ed_ULS
```

Dimensionering av tvärkraftsarmering (centrumavstånd)

```
D_tver=0.012;          %[m]        Diameter byglar
n_byglar=2;            %[st]        Antal ben per bygel
As_w=n_byglar*pi*D_tver^2/4;    %[m^2] Area byglar
fy_wd=fyd;             %[Pa]
z=0.9*d;               %[m]        Hävarm
p_w_min=0.00101;       %[-]        Minsta armeringsgrad
s_V=(As_w*fy_wd*z*cot(theta))/V_Ed_ULS;    %[m]
s_min=As_w/(p_w_min*b_w);    %[m]        Minsta tillåtna
centrumavstånd
s_max=min(0.75*d,0.6);    %[m]        Maximala tillåtna
centrumavstånd
s=min([s_V,s_min,s_max]);    %[m]        Dimensionerande
centrumavstånd (EC2)

p_w=As_w/(s*b_w);       %[-]

Asw_min=0.08*sqrt(fck_MPa)*b_w*s/fyk;    %[m^2]

% Tvärkraftskapacitet från byglar
V_Rd_s=As_w*fy_wd*z*cot(theta)/s;    %[N]

fprintf('\n--- TVÄRKRAFTSARMERING ---\n');
fprintf('Bygeldiameter = %.0f mm\n', D_tver*1000);
fprintf('Antal ben per bygel = %.0f st\n', n_byglar);
fprintf('Centrumavstånd s = %.3f m (%.0f mm)\n', s, s*1000);
fprintf('Max tillåtet s_max = %.3f m\n', s_max);
fprintf('Asw = %.6f m^2\n', As_w);
fprintf('V_Rd,s = %.2f kN\n', V_Rd_s/1e3);
fprintf('V_Ed_ULS = %.2f kN\n', V_Ed_ULS/1e3);

% Kontroller

% 1) Bärförmåga
if V_Rd_s >= V_Ed_ULS
```

```

        fprintf('OK:  $V_{Rd,s} \geq V_{Ed\_ULS}$ \n');
    else
        warning('EJ OK:  $V_{Rd,s} < V_{Ed\_ULS}$ \n');
    end

    % 2) Max avstånd
    if s <= s_max
        fprintf('OK:  $s \leq s_{max}$ \n');
    else
        warning('EJ OK:  $s > s_{max} \rightarrow$  minska avstånd\n');
    end

    % 3) Minsta armeringsmängd
    if p_w >= p_w_min
        fprintf('OK:  $p_w \geq p_{w,min}$ \n');
    else
        warning('EJ OK:  $p_w < p_{w,min} \rightarrow$  öka armering\n');
    end
end

```

--- TVÄRKRAFTSARMERING ---

Bygeldiameter = 12 mm

Antal ben per bygel = 2 st

Centrumavstånd s = 0.224 m (224 mm)

Max tillåtet s_max = 0.600 m

Asw = 0.000226 m²

$V_{Rd,s}$ = 767.02 kN

V_{Ed_ULS} = 559.00 kN

OK: $V_{Rd,s} \geq V_{Ed_ULS}$

OK: $s \leq s_{max}$

OK: $p_w \geq p_{w,min}$

Verkningsätt

```

% Kontroll1 seghet
xi=x/d;          %[-] Relativ tryckzonshöjd
fprintf('x/d = %.3f\n', xi);

xi_lim = 0.35;    %[-] Gränsvärde

if xi <= xi_lim
    fprintf('OK: Segt brott ( $x/d \leq 0.2$ )\n', xi_lim);
else
    warning('EJ OK: Risk för sprött brott ( $x/d > 0.2$ )', xi_lim);
end

% Kontroll armeringsmängd

As=As_1;          %[m^2]

% Minimiarmering
As_min=0.26*fctm/fyk*b*d;  %[m^2]

```

```

% Maxarmering
As_max=0.04*b*h;           %[m^2]

fprintf('As = %.6f m^2\n', As);
fprintf('As_min = %.6f m^2\n', As_min);
fprintf('As_max = %.6f m^2\n', As_max);

% Kontroll minimiarmering
if As >= As_min
    fprintf('OK: As ≥ As_min\n');
else
    warning('EJ OK: As < As_min → risk för sprickor');
end

% Kontroll maxarmering
if As <= As_max
    fprintf('OK: As ≤ As_max\n');
else
    warning('EJ OK: As > As_max → risk för sprött brott /
utförandeproblem');
end

```

$x/d = 0.044$

OK: Segt brott ($x/d \leq 0.35$)

$As = 0.002454 \text{ m}^2$

$As_{\min} = 0.002039 \text{ m}^2$

$As_{\max} = 0.048000 \text{ m}^2$

OK: $As \geq As_{\min}$

OK: $As \leq As_{\max}$

Beräkning av sprickmoment

```

A_btg=b*h;           %[m^2]   Area betong
I_btg=b*h^3/12;      %[m^4]   Yttröghetsmoment betong
A_net=A_btg;         %[m^2]
x_TP=h/2;            %[m]

% Kontroll
if x_TP <= 0 || x_TP >= h
    error('Tyngdpunkten ligger utanför tvärsnittet');
end

I_c=b*h^3/12;        %[m^4]   Yttröghetsmoment (parallelexelsatsen)

fprintf('\n--- TVÄRSNITT ---\n');
fprintf('Tyngdpunkt x_TP = %.3f m\n', x_TP);
fprintf('Area A_net = %.3f m^2\n', A_net);
fprintf('Yttröghetsmoment I_c = %.3e m^4\n', I_c);

if I_c <= 0
    error('I_c blev <= 0 → fel i geometri');
end

y_t=min(x_TP,h-x_TP);           %[m]   Avstånd till dragkant

if y_t < 1e-6
    error('Avstånd till dragkant ≈ 0 → orimligt resultat');
end

```

```

I_osprucken=b*h^3/12;           %[m^4]  Yttröghetsmoment
y_t=h/2;                       %[m]    Dragkant (symmetrisk rektangel)
k=1;                           %[-]    Faktor
fct_fl=k*fctm;                 %[Pa]

M_cr=fct_fl*I_c/y_t;           %[Nm] Momentkapacitet

fprintf('\n--- SPRICKKONTROLL (SLS) ---\n');
fprintf('M_cr = %.2f kNm\n', M_cr/1e3);
fprintf('M_Ed_kvasi = %.2f kNm\n', M_Ed_kvasi/1e3);
fprintf('Avstånd till dragkant y_t = %.3f m\n', y_t);

% Kontroll momentkapacitet

fprintf('\n--- SPRICKBREDD ---\n');

if M_cr >= M_Ed_kvasi
    fprintf('Tvärsnittet är osprucket → ingen sprickbredd uppstår (w_k = 0 mm)\n');
else
    fprintf('Tvärsnittet är sprucket → sprickbredd måste beräknas enligt EC2\n');
end

```

--- TVÄRSNITT ---

Tyngdpunkt $x_{TP} = 0.600$ m

Area $A_{net} = 1.200$ m²

Yttröghetsmoment $I_c = 1.440e-01$ m⁴

--- SPRICKKONTROLL (SLS) ---

$M_{cr} = 840.00$ kNm

$M_{Ed_kvasi} = 135.00$ kNm

Avstånd till dragkant $y_t = 0.600$ m

--- SPRICKBREDD ---

Tvärsnittet är osprucket → ingen sprickbredd uppstår ($w_k = 0$ mm)

Krypning

```

RH=0.8;                         %[-] Relativ
fuktighet
u=2*b+h;                       %[m] Exponerad
omkrets
h_0=2*A_btg/u;                 %[m] Nominell
tjocklek
phi_RH=(1+(1-RH)/(0.1*h_0^(1/3)))*(35e6/fcm)^0.2; %[-] Faktor för
relativ fuktighet
beta_fcm = 16.8/sqrt(fcm/1e6); %[-] Faktor för
hållfasthet

```

```

beta_t0 = 0.48; %[-] Faktor för
lastålder (approx)

phi_inf_t0=phi_RH*beta_fcm*beta_t0; %[-] Slutligt
kryptal
E_eff=Ec/(1+phi_inf_t0); %[Pa] Effektiv E-
modul
alfa_ef=Es/E_eff; %[-] Effektiv
modulkvot (används i SLS)

```

Krympning

```

eps_cdi=0.315e-3; %[-] Grundvärde uttorkningskrympning
beta_RH=0.756; %[-] Faktor för relativ fuktighet
k_h=0.7; %[-] Storleksfaktor

eps_cd=k_h*beta_RH*eps_cdi; %[-] Uttorkningskrympning
eps_ca=0.075e-3; %[-] Autogen krympning
eps_cs=eps_cd+eps_ca; %[-] Total krympning

fprintf('\n--- KRYPNING & KRYMPNING ---\n');
fprintf('phi = %.3f\n', phi_inf_t0);
fprintf('E_eff = %.2f GPa\n', E_eff/1e9);
fprintf('eps_cs = %.6e\n', eps_cs);

```

--- KRYPNING & KRYMPNING ---

phi = 3.498

E_eff = 7.78 GPa

eps_cs = 2.416980e-04

Spänningar i bruksgränsstadiet SLS

```

% Beräkning neutrallager
M_Ed_kar=880.53e3; %[N] Karakteristiskt moment
F_1=(eps_cs*Es*As_1); %[N] Krympkraft dragarmering lager 1

% Funktion för kraftjämvikt i stadium II

f_sls = @(x)b*x*(x/2)+alfa_ef*As_1*(x-d_1);

x_n=fzero(f_sls,h/2); %[m] Lös x
A2_ef=b*x_n+alfa_ef*As_1; %[m^2] Area stadium 2

x_TP_2=(b*x_n*(x_n/2)+alfa_ef*As_1*d_1)/A2_ef; %[m] Tyngdpunktsekvationen

es1=d_1-x_TP_2; %[m] Avstånd överkant till
dragarmering lager 1

I_2=b*x_n^3/12+b*x_n*(x_n/2-x_TP_2)^2+alfa_ef*As_1*(d_1-x_TP_2)^2; %[m^4]
Yttröghetsmoment stadium 2

% SPÄNNINGAR

% Betong (överkant)
%sigma_c=M_Ed_kar*x_TP_2/I_2; %[Pa]
sigma_c=F_1/A2_ef+(F_1+M_Ed_kar)*x_n/I_2;

% Stål
sigma_s1=alfa_ef*M_Ed_kar*es1/I_2; %[Pa]

fprintf('--- SLS RESULTAT ---\n');
fprintf('Neutralaxel x_n = %.4f m\n', x_n);

```

```

fprintf('\nBetongspänning (överkant): %.2f MPa\n', sigma_c/1e6);

fprintf('\nStålspänningar:\n');
fprintf('Lager 1: %.2f MPa\n', sigma_s1/1e6);

% Kontroll spänningar

% Betong
if sigma_c <= 0.45*fck
    fprintf('OK: sigma_c uppfyller SLS\n');
else
    warning('EJ OK: sigma_c för hög');
end

% Stål lager 1
if sigma_s1 <= 0.8*fyk
    fprintf('OK: sigma_s1\n');
else
    warning('EJ OK: sigma_s1');
end

```

--- SLS RESULTAT ---

Neutralaxel $x_n = 0.3247$ m

Betongspänning (överkant): 6.43 MPa

Stålspänningar:

Lager 1: 354.41 MPa

OK: σ_c uppfyller SLS

OK: σ_{s1}

Sprickbredd i bruksgränstillstadiet SLS

$c = c_{nom} + D_{byglar} + D_{arm}/2$; längsgående armering	%[m]	Täckande betongskikt hos
$k_1 = 0.8$;	%[-]	Paramterer kamstänger
$k_2 = 0.5$;	%[-]	Inverkan av
töjningsgradient, tabell (B9-12)		
$k_3 = 3.4$;	%[-]	Nationell parameter
$k_4 = 0.425$;	%[-]	Nationell parameter
$k_t = 0.4$;	%[-]	Parameter långtidslast
$D_{arm} = 0.025$;	%[m]	Diameter en armeringstång
$h_{c_{ef}} = \min([2.5 \cdot D_{arm}, (h - x_n)/3, h/2])$;	%[m]	Höjd effektiv betongarea,
tabell (B9-13), oklart om $x = x_n$		
$A_s = A_{s1}$;	%[m]	
$A_{c_{ef}} = h_{c_{ef}} \cdot b$;	%[m ²]	Area hos medverkande betong
mellan sprickor		
$r_{a_{ef}} = A_s / A_{c_{ef}}$;	%[-]	Tabell (B9-11)
$s_{r_{max}} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot D_{arm} / r_{a_{ef}}$;	%[m]	Karakteristiskt
sprickavstånd, tabell (B9-11)		
$f_{ct_{eff}} = f_{ctm}$;	%[Pa]	
$\sigma_{sr} = k_t \cdot f_{ct_{eff}} \cdot (1 + \alpha_{ef}) / r_{a_{ef}}$;	%[Pa]	
$\Delta \epsilon_{ps} = (\sigma_{s1} - \sigma_{sr}) / E_s$;	%[-]	Skillnad i töjning mellan
stål och betong, tabell (B9-19)		

```

Delta_eps=max(Delta_eps,0); %[-]

wk=sr_max*Delta_eps; %[m] Karakteristisk sprickbredd,
tabell (B9-18)
wk_till=0.0004; %[m] Maximalt tillåtna
karakteristiska sprickbredd, kolla exponeringsklass XC4

% Kontroll karakteristisk sprickbredd
if wk <= wk_till
    fprintf('OK: wk = %.4f mm ≤ %.4f mm\n', wk*1000, wk_till*1000);
else
    warning('EJ OK: wk = %.4f mm > %.4f mm\n', wk*1000, wk_till*1000);
end

if Delta_eps <= 0
    wk = 0;
else
    wk = sr_max * Delta_eps;
end

M_cr=fct_fl*I_c/y_t; %[Nm] Moment

OK: wk = 0.0000 mm ≤ 0.4000 mm

```

Nedböjning i bruksgränsstadiet SLS%% Nedböjning i bruksgränsstadiet SLS (elementarfall)

```

L=6; %[m] Spännvidd
n=200; %[st] Antal punkter
x=linspace(0,L,n); %[m] Intervall

E_eff=Ecm/(1+phi_inf_t0); %[Pa] Effektiv E-modul (krypning)

I=I_2; %[m^4] Anta sprucket tvärsnitt
(konservativt)

% Omvandling moment → utbredd last
q=8*M_Ed_frek/L^2; %[N/m]

% Elementarfall:nedböjningskurva

v=q.*x.*(L^3-2*L*x.^2+x.^3)./(24*E_eff*I); %[m] Nedböjning

% Max nedböjning
[f_max, idx]=max(abs(v));

fprintf('\n--- NEDBÖJNING (ELEMENTARFALL) ---\n');
fprintf('Max nedböjning = %.2f mm\n', f_max*1000);

% Krav
f_till=L/200;

if f_max <= f_till
    fprintf('OK: f_max = %.4f m ≤ L/400 = %.4f m\n', f_max, f_till);
else
    warning('EJ OK: f_max = %.4f m > L/400 = %.4f m\n', f_max, f_till);
end

% Figur

figure;
plot(x, v*1000, 'b-', 'LineWidth', 2); hold on;
plot(x, zeros(size(x)), 'k--');

grid on;
xlabel('Längd [m]');
ylabel('Nedböjning [mm]');

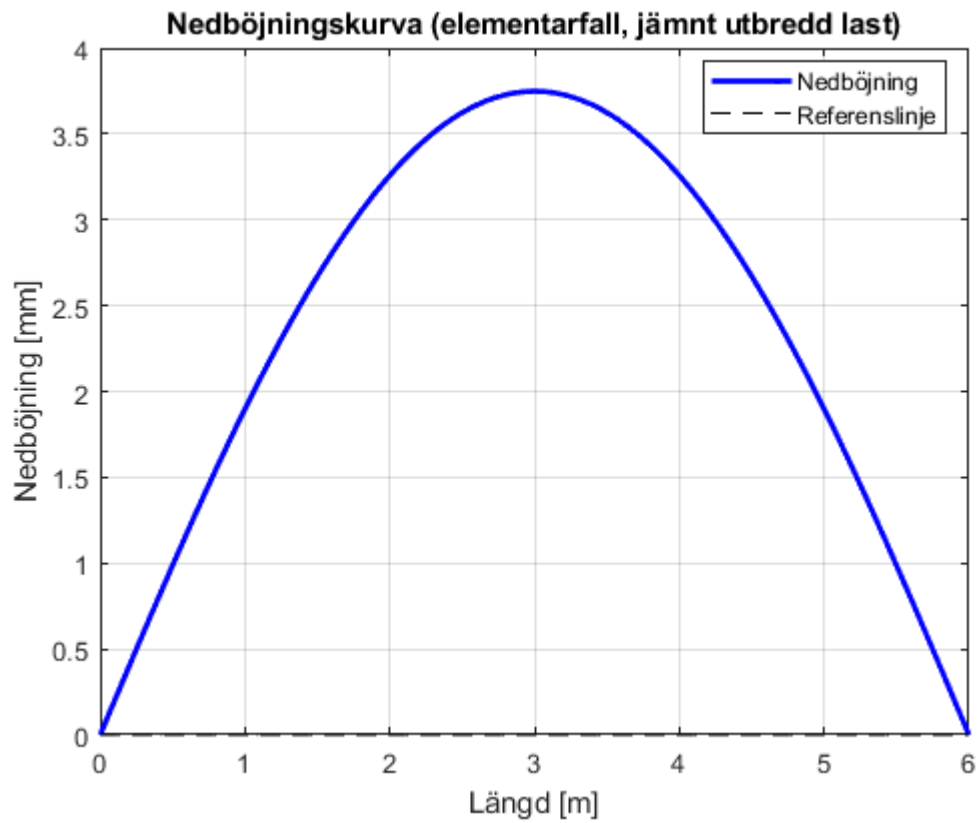
```

```
title('Nedböjningskurva (elementarfall, jämnt utbredd last)');  
legend('Nedböjning', 'Referenslinje', 'Location', 'best');
```

```
--- NEDBÖJNING (ELEMENTARFALL) ---
```

Max nedböjning = 3.75 mm

OK: $f_{\max} = 0.0037 \text{ m} \leq L/400 = 0.0300 \text{ m}$



Dimensionering längsled

Följande avsnitt gäller dimensionering i längsled för brottsgränstillstånd ULS respektive bruksgränstillstånd SLS. Beräkningarna är utefter 1 meter av körbanan. Materialegenskaper och indata är hämtade från Bärande konstruktioner del 1 och 2 (Al Emrani et al., 2020) samt från krav i Eurokod och Boverket. Samtliga ekvationer och beräkningar genomförs i MATLAB med hänvisning till aktuell tabell eller figur i boken.

Dimensionering i brottsgränstillstånd ULS

Materialegenskaper betongplatta

Betong C40/50

$f_{ck}=40$	[Mpa]	Tabell (B2.1)
$f_{ctm}=3,5$	[Mpa]	Tabell (B2.1)
$\gamma_c=1,5$	[-]	Partialkoefficient
$E_{cm}=35$	[Gpa]	Elasticitetsmodul Tabell (B2.3)

Armering B5005B

$f_{yk}=500$	[Mpa]	Tabell (B2.11)
$\gamma_s=1,15$	[-]	Partialkoefficient
$E_s=210$	[Gpa]	Elasticitetsmodul Tabell (B2.26)

Dimensionerande materialegenskaper

$f_{cd}=26,67$	[Mpa]	Dimensionerande hållfasthet betong (B2.3)
$f_{yd}=434,78$	[Mpa]	Dimensionerande hållfasthet stål (B2.26)

Dimensionerande laster

$V_{ED,brott}=781$	[kN]	Tvärkraft brottgränstillstånd
$V_{ED,kar}=617$	[kN]	Karakteristisk tvärkraft
$V_{ED,frek}=541$	[kN]	Frekvent tvärkraft
$V_{ED,kvasi}=410$	[kN]	Kvasipermanent tvärkraft
$M_{ED,brott}=4839$	[kNm]	Moment brottgränstillstånd
$M_{ED,kar}=3828$	[kNm]	Karakteristisk moment
$M_{ED,frek}=3363$	[kNm]	Frekvent moment
$M_{ED,kvasi}=2560$	[kNm]	Kvasipermanent moment

Armeringens placering

Minsta täckande betongskikt

$c_{min}=45$	[mm]	Minsta tillåtna täckskikt
$c_{dev}=10$	[mm]	Nationell parameter (B4-26)

$$c_{nom} = c_{min} + c_{dev} = 55 \quad [\text{mm}]$$

Nominellt mått (B4-24)

Centrumavstånd mellan armeringsstänger

$$d_g = 20 \quad [\text{mm}]$$

Största stenstorlek i ballast

$$K_1 = 1 \quad [-]$$

Nationell parameter

$$K_2 = 5 \quad [\text{mm}]$$

Nationell parameter

$$\phi = 25 \quad [\text{mm}]$$

Diameter per armeringsstång

$$\alpha_{min} = \max(K_1 * \phi, d_g + K_2, 20 \text{ mm}) = 25 \quad [\text{mm}]$$

Minsta fria avstånd (B4-27)

Armeringsmängd

$$A_{si} = \frac{\pi * \phi^2}{4} = 0,000491 \quad [\text{m}^2]$$

Area per armeringsstång

$$z = 0,9 * d \quad [\text{m}]$$

$$A_s = \frac{M_{ED}}{f_{yd} * z} = 0,0113 \quad [\text{m}^2]$$

$$n = 23 \quad [\text{st}]$$

Antal armeringsstänger dragarmering

Tvärsnitt geometri

Betongens tvärsnitt ansätts utefter antalet armeringsstänger och jämförs med det dimensionerande momentet. Kontroller gällande flytgräns genomförs för att avgöra om kapaciteten är tillräckligt, det vill säga om $M_{RD} > M_{ED}$.

$$b = 1000 \quad [\text{mm}]$$

Bredd tvärsnitt betong

$$h = 1200 \quad [\text{mm}]$$

Höjd tvärsnitt betong

$$A_{btg} = 1,2 \quad [\text{m}^2]$$

Area betong utan hål

$$\Phi_{h\ddot{a}l} = 300 \quad [\text{mm}]$$

Diameter hål

$$d_{h\ddot{a}l} = 600 \quad [\text{mm}]$$

Avstånd till centrum av hål från överkant

$$n_{h\ddot{a}l} = 2 \quad [\text{st}]$$

Antal hål per meter

$$A_{h\ddot{a}l} = 0,141 \quad [\text{m}^2]$$

Area hål

$$\phi = 25 \quad [\text{mm}]$$

Diameter armeringsstång

$$d_1 = 1,1325 \quad [\text{mm}]$$

Avstånd dragarmering lager 1 från överkant

$$n_1 = 11 \quad [\text{st}]$$

Antal stänger lager 1

$$A_{s1} = 0,0054 \quad [\text{m}^2]$$

Area dragarmering lager 1

$$d_2 = 1,0825 \quad [\text{mm}]$$

Avstånd dragarmering lager 2 från överkant

$$n_2 = 8 \quad [\text{st}]$$

Antal stänger lager 2

$$A_{s2} = 0,0039 \quad [\text{m}^2]$$

Area dragarmering lager 2

$$d_3 = 1,0325 \quad [\text{mm}]$$

Avstånd dragarmering lager 3 från överkant

$$n_3 = 4 \quad [\text{st}]$$

Antal stänger lager 3

$$A_{s3} = 0,0020 \quad [\text{m}^2]$$

Area dragarmering lager 3

$$d' = 0,0675 \quad [\text{mm}]$$

Avstånd tryckarmering från överkant

$$n' = 4 \quad [\text{st}]$$

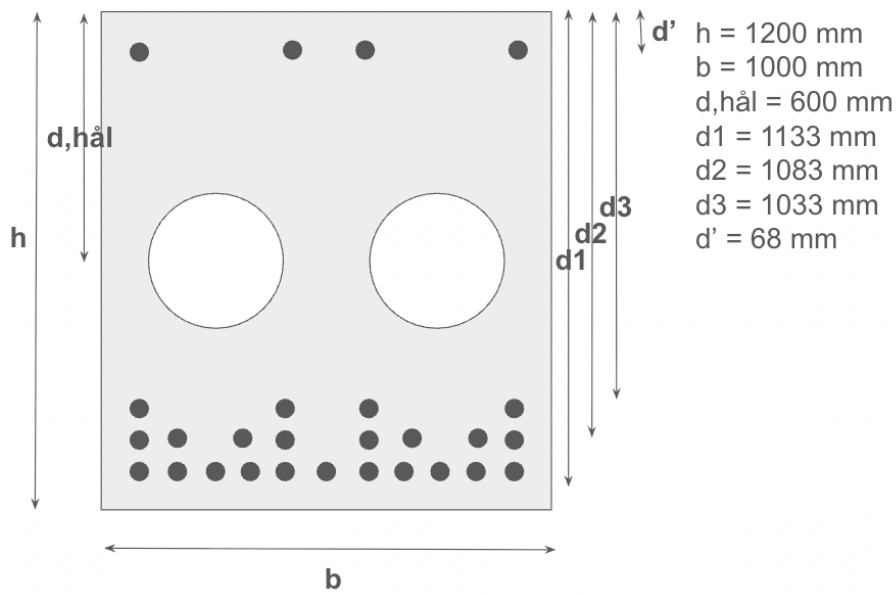
Antal stänger i tryck

$$A_{s'} = 0,0020 \quad [\text{m}^2]$$

Area tryckarmering

$$d = 1,0977 \quad [\text{mm}]$$

Avstånd dragarmering



Figur 13, Brobaneplattans tvärsnitt i längsled.

Deformationsvillkor

Deformationsvillkor, jämvikt, stålspänning och kontroller utförs efter Bärande Konstruktioner del 1 (Al Emrani et al., 2020).

$$\varepsilon'_s = \frac{x-d'}{x} * \varepsilon_{cu}$$

Töjning tryckarmering, tabell (B5-25)

$$\varepsilon_s = \frac{d-x}{x} * \varepsilon_{cu}$$

Töjning dragarmering, tabell (B5-26)

där $\varepsilon_{cu} = 0,0035$

Brottstukning, tabell (B3-13)

All armering flyter

$$\sigma_{s,1} = f_{yd}, \text{ för } \varepsilon_s' \geq \varepsilon_{sy}'$$

Stålspänning dragarmering, tabell (B5-28)

$$\text{där } \varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 0,00207$$

=> OK!

Jämvikt tvärsnitt

$$\alpha * f_{cd} * b * x + \sigma'_s * A'_s = \sigma_s * A_s$$

Tabell (B5-23)

Löser ut x ur ekvationen

$$x = 0.1877 \text{ [m]}$$

$$M_{RD} = \alpha * f_{cd} * b * x (d - \beta * x) + \sigma'_s * A'_s (d - d')$$

Tabell (B5-24)

$$\Rightarrow M_{RD} = 5013,9 \text{ [kNm]}$$

Kontroll momentkapacitet

$$M_{Ed} \leq M_{RD} \Rightarrow \text{OK!}$$

Kontroll tvärkraftskapacitet

Tvärkraftskapacitet beräknas utifrån dimensionerande tvärkraft och kontrolleras av livtryckskapacitet och skjuvglidbrott.

Livtryckskapacitet

Livtrycksbrott uppstår i sneda trycksträvor och beräknas enligt nedanstående formler ur Bärande konstruktioner Del 1 (Al Emrani et al., 2020).

$$V_{Rd,liv} \leq 0,5 * v * f_{cd} * b_w * d \quad \text{Livtrycksbrott, tabell (B6-11)}$$

$$\text{där } v = 0,6 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,504$$

$$b_w = 0,4 \text{ [m]} \quad \text{Totalt avstånd mellan hålen}$$

$$\Rightarrow V_{Rd,liv} = 2951 \text{ [kN]}$$

$$V_{Ed} = 780 \text{ [kN]}$$

Kontroll livtrycksbrott

$$V_{Rd,liv} \geq V_{Ed} \Rightarrow \text{OK!}$$

Skjuvglidbrott

Skjuvglidbrott uppstår utefter sneda sprickor och beräknas enligt nedanstående formler ur Bärande konstruktioner Del 1 (Al Emrani et al., 2020).

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} * b_w * d \quad \text{Tvärkraftskapacitet, tabell (B6-14)}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \quad [-] \quad \text{Nationell parameter}$$

$$\gamma_c = 1,5 \quad [-]$$

$$k = 1 + \frac{\sqrt{200}}{d} = 1,43 \leq 2 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,377$$

$$\Rightarrow V_{Rd,c} = 324 \quad \text{[kN]}$$

Kontroll skjuvglidbrott

$$V_{Rd,c} \leq V_{Ed} \Rightarrow \text{EJ OK} \Rightarrow \text{tvärkraftsarmering behövs}$$

Dimensionering tvärkraftsarmering

$$V_{Rd,max} = \alpha_c * b * z * v_1 f_{cd} * \frac{1}{\cot(\alpha_c) + \tan(\alpha_c)} = 2300 \text{ [kN]}$$

Kontroll tvärkraftsarmering

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed} \Rightarrow \text{OK!}$$

Centrumavstånd mellan tvärkraftsarmering

Väljer vertikala byglar med diameter 12, sätter 2st mellan varje hål i tvärsnittet

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} * f_{ywd} * z * \cot(\theta)}{s}$$

Löser ut s när det är lika med V_{Ed}

$$s = 0.432 \quad [\text{m}]$$

Väljer $s = 0,4 \quad [\text{m}]$

Maximalt avstånd mellan byglar

$$s_{1,max} = 0,75 * d * (1 + \cot(\alpha_c)) = 1,27 \quad [\text{m}]$$

Kontroll seghet

$$\frac{x}{d_1} \leq 0,35 \Rightarrow \text{OK} \quad (\text{B5-22})$$

$$\frac{x}{d_2} \leq 0,35 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\frac{x}{d_3} \leq 0,35 \Rightarrow \text{OK}$$

Kontroll armeringsmängd

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \Rightarrow \text{OK}$$

Kontroll sprickmoment

$$M_{cr} = \frac{f_{ctft} * I_c}{h - x_{tp}} = 838 \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{cr} < M_{Ed} \Rightarrow \text{Tvärsnittet spricker}$$

Långtidseffekter

Krypning

RH = 80 %

$$A_c = 1,2 \quad [\text{m}^2]$$

$$u = 2,2 \quad [\text{m}]$$

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = 1,09 \quad [\text{m}]$$

Relativ fuktighet

Tvärsnittsarea

Omkrets som utsätts för uttorkning

Tvärsnittets ekvivalenta tjocklek

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} * \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \right] * [35 / f_{cm}]^{0,2} = 2,4 \quad [-] \quad \text{Faktor, beaktar RH}$$

$$\beta(f_{cm}) = 2,43 \quad [-] \quad \text{Tabell (B2.9)}$$

$$\beta(t_0) = 0,48 \quad [-] \quad \text{Figur (B2.20)}$$

$$\varphi(\infty, t_0) = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) = 2,8 \quad [-] \quad \text{Slutligt kryptal}$$

$$\alpha_{ef} = \frac{E_s}{E_{cm}} * (1 + \varphi_{t0}(\infty)) = 22,8 \quad [-] \quad \text{Krypning, tabell (B7-67)}$$

$$E_{c,ef} = 9,21 \quad \text{GPa}$$

Krympning

$$\varepsilon_{cdi} = 0,315 * 10^{-3}$$

[-] Uttorkningskrympning klass N tabell (B2.5)

$$\beta_{RH} = 0,756$$

[-] Faktor med hänsyn till RH, tabell (B2.6)

$$k_h = 0,75 \quad [-] \text{ Faktor med hänsyn till } h_0, \text{ tabell (B2.7)}$$

$$\varepsilon_{cd}(\infty) = k_h * \beta_{RH} * \varepsilon_{dci} = 0,00018 \quad [-] \text{ Slutlig uttorkningskrympning tabell (B2-18)}$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 0,000075 \quad [-] \text{ Slutlig autogen krympning, tabell (B2.8)}$$

$$\varepsilon_{cs}(\infty) = \varepsilon_{cd}(\infty) + \varepsilon_{ca}(\infty) = 0,00025 \quad [-] \text{ Slutligt krympmått, tabell (B2-17)}$$

Spänningar i bruksgränstillstadiet SLS

$$F' = \varepsilon_{cs} * E_s * A'_s = 287,6 \text{ [kN]} \text{ Krympkraft tryckarmering 20 B. Bilaga B}$$

$$F_1 = \varepsilon_{cs} * E_s * A_{s1} = 209,1 \text{ [kN]} \text{ Krympkraft dragarmering lager 1}$$

$$F_2 = \varepsilon_{cs} * E_s * A_{s2} = 104,6 \text{ [kN]} \text{ Krympkraft dragarmering lager 2}$$

$$F_3 = \varepsilon_{cs} * E_s * A_{s3} = 104,6 \text{ [kN]} \text{ Krympkraft dragarmering lager 3}$$

Iterativ analys med hjälp av Naviers formel

Löser ut x genom att spänningen ska bli så låg som möjligt

$$x = 0,479 \text{ [m]}$$

$$A_{ll,eff} = 0,7792 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$x_{TP,ll} = 0,5146 \text{ [m]}$$

$$I_{ll} = 0,1219 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$e_{s1} = d_1 - x_{TP} = 0,1796 \text{ [m]} \text{ Avstånd till dragarmering lager 1}$$

$$e_{s2} = d_2 - x_{TP} = 0,1796 \text{ [m]} \text{ Avstånd till dragarmering lager 2}$$

$$e_{s3} = d_3 - x_{TP} = 0,1796 \text{ [m]} \text{ Avstånd till dragarmering lager 3}$$

$$e' = d' - x_{TP} = 0,1296 \text{ [m]} \text{ Avstånd till tryckarmering}$$

$$\sigma_c = (F' + F_1 + F_2 + F_3) / A_{ll,eff} + (M_{Ed} + F' * e' + F_1 * e_1 + F_2 * e_2 + F_3 * e_3) / I_{ll,eff} * (x - x_{TP}) = 0,01 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_c(-x_{TP}) = -12,4 \text{ [MPa]} \text{ Betongspänning i överkant (B7-42a)}$$

$$\sigma_c(e_{s1}) = 16,9 \text{ [MPa]} \text{ Betongspänning i lägsta dragarmeringens nivå (B7-42a)}$$

$$\sigma_c(e') = -10,6 \text{ [MPa]} \text{ Betongspänning i tryckarmeringens nivå (B7-42a)}$$

$$\sigma_s(e_{s1}) = \sigma_c(e_{s1}) * \alpha_{ef} = 385 \text{ [MPa]} \text{ Stålspänning i lägsta dragarmeringen}$$

$$\sigma_s(e') = \sigma_c(e') * \alpha_{ef} = -242 \text{ [MPa]} \text{ Stålspänning i tryckarmering}$$

Kontroll:

$$\sigma_c \leq 0,45 * f_{ck} \Rightarrow \text{OK!}$$

$$\sigma_s \leq 0,8 * f_{yk} \Rightarrow \text{OK!}$$

Sprickbredd i bruksgränstillstadiet SLS

$$\alpha = 6 \quad [-]$$

$$k_1 = 0,8$$

Kamstänger

$$k_2 = 0,5$$

Inverkan av töjningsgradient . Ren böjning (B9-12)

$$k_3 = 3,4$$

Nationell parameter, rekommenderat värde

$$k_4 = 0,425$$

Nationell parameter, rekommenderat värde

$$k_t = 0,4$$

Långtidslast

$$h_{c,ef} = 0,2403 \text{ [m]}$$

Höjd på effektiv betongarea, (B9-13)

$$A_{c,ef} = 0,2403 \text{ [m}^2\text{]}$$

Area hos medverkande betong mellan sprickor

$$\rho_{p,ef} = 0,0470$$

(B9-11)

$$s_{r,max} = 277,5 \text{ [mm]}$$

Karakteristiskt sprickavstånd, (B9-11)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,0011$$

Skillnaden i stålets och betongens medeltöjning, (B9-19)

$$W_k = 0,305 \text{ [mm]}$$

Karakteristisk sprickbredd, (B9-18)

$$W_{k,till} = 0,4 \text{ [mm]}$$

Maximal tillåten sprickbredd (exponeringsklass XF1)

$$W_k < W_{k,till} \quad \text{OK!}$$

Nedböjning i bruksgränsstadiet SLS

Bärande konstruktioner, Del 2 (Al-Emrani & Engström, 2011)

$L = 25$ [m]	Längden på balken
$a = 12,5$ [m]	Mittavstånd, där nedböjningen är som störst
$1/r_f = 0,002$ [1/m]	Krökning av last (B7-74b)
$1/r_s = 0,00023$ [1/m]	Krökning av krympning/krypning (B7-74b)
$A_f = 0,0163$ [m ²]	Krökningsarea av last (Fig B8.15)
$A_s = 0,0029$ [m ²]	Krökningsarea av krympning/krypning (Fig B8.15)
$x_{cf} = 7,8125$ [m]	Avståndet till tyngdpunkten av arean för last
$x_{cs} = 6,25$ [m]	Avståndet till tyngdpunkten av arean för krympning/krypning

$y_{last} = A_f * x_{cf} = 127,6$ [mm] Nedböjning från last för (B8-23)

$y_{langtid} = A_s * x_{cs} = 18,2$ [mm] Nedböjning från krympning/krypning (B8-23)

$y_{tot} = 145,8$ [mm] Totala nedböjningen (B8-23)

$L/200 = 12,5$ [mm] Krav för maximal nedböjning)

$y_{tot} > L/200$ EJ OK! Klarar ej nedböjningskrav

MATLAB-script för dimensionering och kontroller i längsled

```
clc;

clear;
```

Geometri

```
b = 1;

h = 1.2;

n_prim = 4; %Antal armeringstänger tryck
n_1 = 11; %Antal armeringstänger understa lagret
n_2 = 8; %Antal armeringstänger mittersta lagret
n_3 = 4; %Antal armeringstänger översta lagret
D_si_prim = 0.025; %Diameter övre armering
D_si = 0.025; %Diameter undre armering
A_si_prim = D_si_prim^2*pi/4; %Area 1 stång
A_si = D_si^2*pi/4; %Area 1 stång
A_s_prim = A_si_prim*n_prim; %Area övre lagret
A_s_1 = A_si*n_1; %Area undre lagret
A_s_2 = A_si*n_2; %Area mellan lagret
A_s_3 = A_si*n_3; %Area övre lagret
A_s = A_s_prim+A_s_2+A_s_2+A_s_3; %Total armeringsarea
c_nom = 0.055; %Täckande betongskick
c_c = 2*D_si; %Avstånd mellan armerings centrum
d_prim = c_nom+D_si_prim/2;
d_1 = h-(c_nom+D_si/2);
d_2 = h-(c_nom+D_si/2+c_c);
d_3 = h-(c_nom+D_si/2+2*c_c);
d = (d_1*n_1+d_2*n_2+d_3*n_3)/(n_1+n_2+n_3);
A_btg = b*h; %Area betong utan hål
dia_hal = 0.3; %Diameter hål
n_hal = 2; %Antal hål
x_hal = h/2; %Från ovankant
A_hal = n_hal*dia_hal^2*3.141592/4; %Area hål
```

Laster

```

M_Ed = 4.84e6; %Brottlast
M_Ed_kvasi = 2.56e6; %Kvasi
M_Ed_frek = 3.36e6; %Frekvent
M_Ed_karak = 3.83e6; %Karakteristisk
V_Ed = 0.78e6; %Brottlast
V_ed_kvasi = 0.41e6;

```

Materialaregskaper betong

```

f_ctm = 3.5e6;

f_cd = 26.67e6;

f_cm = 48e6;

E_cm = 35e9;

f_ck = 40e6;

```

Materialgenskaper armering

```

E_s = 210e9;

f_yd = 434.78e6;

eps_cu = 0.0035; %Brottstukning
f_yk = 500e6;

```

Uppskattning armeringsmängd

```

z = 0.9*d;

A_s = M_Ed/(f_yd*z);

n_drag = A_s/A_si

```

n_drag =

22.9548

Momentkapacitet

```

x_b = 0.1877; %Ändras tills samma som x_test
eps_s_prim = (x_b-d_prim)/x_b*eps_cu
eps_s_1 = (d_1-x_b)/x_b*eps_cu
eps_s_2 = (d_2-x_b)/x_b*eps_cu
eps_s_3 = (d_3-x_b)/x_b*eps_cu
eps_sy = f_yd/E_s
alfa = 0.81;
beta = 0.416;
%Flyter eller inte
if eps_s_prim<eps_sy
sigma_prim = E_s*eps_s_prim;
else

```

```

sigma_prim = f_yd;
end
if eps_s_1<eps_sy
sigma_1 = E_s*eps_s_1;
else
sigma_1 = f_yd;
end
if eps_s_2<eps_sy
sigma_2 = E_s*eps_s_2;
else
sigma_2 = f_yd;
end
if eps_s_3<eps_sy
sigma_3 = E_s*eps_s_3;
else
sigma_3 = f_yd;
end
x_test = (A_s_1*sigma_1 + A_s_2*sigma_2 + A_s_3*sigma_3 -
A_s_prim*sigma_prim)/(alfa*f_cd*b)
M_Rd = alfa*f_cd*b*x_b*(d-beta*x_b) + sigma_prim*A_s_prim*(d-d_prim)
if M_Rd>M_Ed
disp('Kontroll godkänd')
else disp('Kontroll ej godkänd')
end

```

eps_s_prim =

0.0022

eps_s_1 =

0.0176

eps_s_2 =

0.0167

eps_s_3 =

0.0158

eps_sy =

0.0021

x_test =

0.1877

M_Rd =

5.0139e+06

Kontroll godkänd

Kontroll av seghet

```
if x_b/d < 0.35
disp('OK, segt verkningsätt')
else disp('ej OK')
end
```

OK, segt verkningsätt

Kontroll av armeringsmängd

```
b_t = (b*(h-x_b)-(b-dia_hal*n_hal)*dia_hal)/(h-x_b); %Medelbredd i dragzoon
A_s_min = max(0.26*f_ctm/f_yk*b_t*d,0.0013*b_t*d)
if A_s_min<A_s
disp('OK')
else disp('ej OK')
end
A_s_max = 0.04*(b*h-n_hal*A_hal)
if A_s<A_s_max
disp('OK')
else disp('ej OK')
end
```

A_s_min =

0.0018

OK

A_s_max =

0.0367

OK

Livtryckskapacitet

```
v = 0.6*(1-f_ck/250e6);  
  
b_w = b-(dia_hal*n_hal);  
  
V_Rd = 0.5*v*f_cd*b_w*d  
  
% Kontrollera att detta är större än V_Ed  
if V_Rd>V_Ed  
disp('Kontroll godkänd')  
else disp('Kontroll ej godkänd')  
end  
  
V_Rd =
```

2.9510e+06

Kontroll godkänd

Skjuvglibdbrott

```
gamma_c = 1.5;  
  
C_Rd_c = 0.18/gamma_c;  
  
k_c = min(1+(200/(d*1000))^0.5,2);  
  
A_sl = A_s_1+A_s_2+A_s_3; %Total area armering i drag  
ra_l = min(A_sl/(b_w*d),0.02);  
v_min = 0.035*k_c^(3/2)*(f_ck/1e6)^0.5;  
V_Rd_c = max(C_Rd_c*k_c*(100*ra_l*f_ck/1e6)^(1/3)*b_w*d*1e6,v_min*b_w*d*1e6)  
% Kontrollera att detta är större än V_Ed, annars sätt in tvärkraftsarmering  
if V_Rd_c>V_Ed
```

```
disp('Kontroll godkänd')
else disp('Kontroll ej godkänd, tvärkraftsarmering behövs')
end
```

V_Rd_c =

3.2395e+05

Kontroll ej godkänd, tvärkraftsarmering behövs

Dimensionering av tvärkraftsarmering

```
theta = pi/6; %30 grader
alfa_cw = 1;
z = 0.9*d;
v1 = v;
V_Rd_max = alfa_cw*b_w*z*v1*f_cd/(cot(theta)+tan(theta))
if V_Rd_max>V_Ed
disp('Kontroll godkänd')
else disp('Kontroll ej godkänd')
end
%Väljer vertikala byglar med diameter 12
theta_tvar = 0.012;
A_sw = pi*theta_tvar^2/4;
n_tvar = 4; %Antal tvärkraftsarmering
s_1 = n_tvar*A_sw*f_yd*z*cot(theta)/V_Ed %Avstånd vid stöd
%Väljer s=400
s = 0.4
V_Rd_stod = n_tvar*A_sw*f_yd*z*cot(theta)/s
if V_Rd_stod>V_Ed
disp('Kontroll godkänd')
else disp('Kontroll ej godkänd')
end
s_1_max = 0.75*d*(1+cos(alfa_cw)) %Maximalt avstånd mellan byglar
```

V_Rd_max =

2.3001e+06

Kontroll godkänd

s_1 =

0.4315

s =

0.4000

V_Rd_stod =

8.4143e+05

Kontroll godkänd

s_l_max =

1.2681

Beräkning av sprickmoment

```
I_c = b*h^3/12 - pi*(dia_hal/2)^4/4;  
  
x_TP_1 = (h/2*A_btg-A_hal*x_hal)/(A_btg-A_hal); %Stadium 1  
k = 1;  
f_ct_fl = k*f_ctm;  
M_cr = f_ct_fl*I_c/(h-x_TP_1)  
% Kolla om det spricker  
if M_cr>M_Ed_kvasi  
disp('Kontroll godkänd')  
else disp('Tvärsnitt spricker')  
end
```

M_cr =

8.3768e+05

Tvärsnitt spricker

Krypning

RH = 0.8;

```

u = b+h; %Sidodel av balken
h_0 = 2*A_btg/u;
phi_RH = (1+(1-RH)/(0.1*h_0^(1/3)))*(35e6/f_cm)^0.7*(35e6/f_cm)^0.2;
beta_fcm = 2.43;
beta_t0 = 0.48;
phi_inf_t0 = phi_RH*beta_fcm*beta_t0;
alfa_ef = E_s/E_cm*(1+phi_inf_t0)
E_c_ef = E_cm/(1+phi_inf_t0)

```

alfa_ef =

22.8024

E_c_ef =

9.2096e+09

Krympning

```

eps_cdi = 0.315e-3;

beta_RH = 0.756;

k_h = 0.75;

eps_cd = k_h*beta_RH*eps_cdi;

eps_ca = 0.075e-3;

eps_cs = eps_cd + eps_ca

```

eps_cs =

2.5361e-04

Beräkning av neutrala lagret

```

F_1 = eps_cs*E_s*A_s_1;

F_2 = eps_cs*E_s*A_s_2;

F_3 = eps_cs*E_s*A_s_3;

```

```

F_prim = eps_cs*E_s*A_s_prim;

x_n = 0.479 %Gissar tills det blir rätt
if x_n<x_hal-dia_hal/2
disp('Ovan hålen, OK')
else disp('Under hålen, måste ta hänsyn till')
end
diff = x_n-(x_hal-dia_hal/2)
if diff<0.1
disp('Såpass liten => försummar inverkan av hålen')
else disp('Ta hänsyn till hålen')
end
A_2_eff = b*x_n + (alfa_ef-1)*A_s_prim + alfa_ef*A_s_1 + alfa_ef*A_s_2 +
alfa_ef*A_s_3;
x_TP_2 = (b*x_n^2/2 + (alfa_ef-1)*A_s_prim*d_prim + alfa_ef*A_s_1*d_1 +
alfa_ef*A_s_2*d_2 + alfa_ef*A_s_3*d_3)/A_2_eff;
I_2 = b*x_n^3/12 + b*x_n*(x_n/2-x_TP_2)^2 + (alfa_ef-1)*A_s_prim*(x_TP_2-
d_prim)^2 + alfa_ef*A_s_1*(d_1-x_TP_2)^2 + alfa_ef*A_s_2*(d_2-x_TP_2)^2 +
alfa_ef*A_s_3*(d_3-x_TP_2)^2;
e_s_1 = d_1-x_TP_2;
e_s_2 = d_2-x_TP_2;
e_s_3 = d_3-x_TP_2;
e_prim = d_prim-x_TP_2;
%Vill få så litet som möjligt
sigma_c_x_n = (F_1+F_2+F_3+F_prim)/A_2_eff +
(M_Ed_frek+F_prim*e_prim+F_1*e_s_1+F_2*e_s_2+F_3*e_s_3)/I_2*(x_n-x_TP_2)

x_n =

```

0.4790

Under hålen, måste ta hänsyn till

diff =

0.0290

Såpass liten => försummar inverkan av hålen

sigma_c_x_n =

1.2524e+04

Betongspänningar

```

%Överkant
sigma_c_ovan = (F_1+F_2+F_3+F_prim)/A_2_eff +
(M_Ed_freke+F_prim*e_prim+F_1*e_s_1+F_2*e_s_2+F_3*e_s_3)/I_2*(-x_TP_2)
if abs(sigma_c_ovan)<0.45*f_ck
disp('Kontroll godkänd')
else disp('Kontroll ej godkänd')
end
%Tryckarmeringsnivån
sigma_c_tryck = (F_1+F_2+F_3+F_prim)/A_2_eff +
(M_Ed_freke+F_prim*e_prim+F_1*e_s_1+F_2*e_s_2+F_3*e_s_3)/I_2*e_prim;
%Lägsta dragarmeringens nivå
sigma_c_drag = (F_1+F_2+F_3+F_prim)/A_2_eff +
(M_Ed_freke+F_prim*e_prim+F_1*e_s_1+F_2*e_s_2+F_3*e_s_3)/I_2*e_s_1;

sigma_c_ovan =

```

-1.2361e+07

Kontroll godkänd

Stålspänning

```

%Tryckarmering
sigma_s_tryck = sigma_c_tryck*alfa_ef
if abs(sigma_s_tryck)<0.8*f_yk
disp('Kontroll godkänd')
else disp('Kontroll ej godkänd')
end
%Dragarmering
sigma_s_drag = sigma_c_drag*alfa_ef
if abs(sigma_s_drag)<0.8*f_yk
disp('Kontroll godkänd')
else disp('Kontroll ej godkänd')
end

sigma_s_tryck =

```

-2.4210e+08

Kontroll godkänd

sigma_s_drag =

3.8522e+08

Kontroll godkänd

Sprickbredd

```
alfa_ = E_s/E_cm;

k1 = 0.8;

k2 = 0.5;

k3 = 3.4;

k4 = 0.425;

kt = 0.4;

h_c_ef = min([2.5*(h-d), (h-x_n)/3, h/2])

if h_c_ef < x_hal + dia_hal/2
disp('Under hålen, OK')
else disp('Ovan hålen, måste ta hänsyn till')
end
A_c_ef = h_c_ef*b;
ra_p_ef = (A_s_1+A_s_2+A_s_3)/A_c_ef; %Är detta rätt?????
s_r_max = k3*c_nom + k1*k2*k4*D_si/ra_p_ef;
delta_eps = min((sigma_s_drag-kt*f_ctm/ra_p_ef*(1+alfa_*ra_p_ef))/E_s,
0.6*sigma_s_drag/E_s);
w_k = s_r_max*delta_eps
if w_k < 0.4e-3
disp('Sprickbredd OK')
else disp('Sprickbredd ej OK')
end

h_c_ef =
```

0.2403

Under hålen, OK

w_k =

3.0539e-04

Sprickbredd OK

Nedböjning

```
L = 25; %Längden på balken
a = L/2; %Mitt på balken där nedböjningen är som störst
krok_last = M_Ed_kvasi/(E_c_ef*I_2);
krok_kryp = (F_1*e_s_1+F_2*e_s_2+F_3*e_s_3+F_prim*e_prim)/(E_c_ef*I_2);
```

```

A_last = 2/3*a*krok_last;
A_kryp = a*krok_kryp;
X_last = 5/8*a;
X_kryp = a/2;
nedboj_last = A_last*X_last
nedboj_kryp = A_kryp*X_kryp
nedboj = nedboj_last+nedboj_kryp
if nedboj<L/200
disp('Nedböjning OK')
else disp('Nedböjning ej OK')
end

```

```
nedboj_last =
```

```
0.1276
```

```
nedboj_kryp =
```

```
0.0182
```

```
nedboj =
```

```
0.1458
```

```
Nedböjning ej OK
```

Nedböjning med elementärfall för att kontrollera

```

q = M_Ed_kvasi*8/L^2;

p1 = q*5*L^4/(384*E_c_ef*I_2)

disp('p1=nedboj_last => borde stämma')

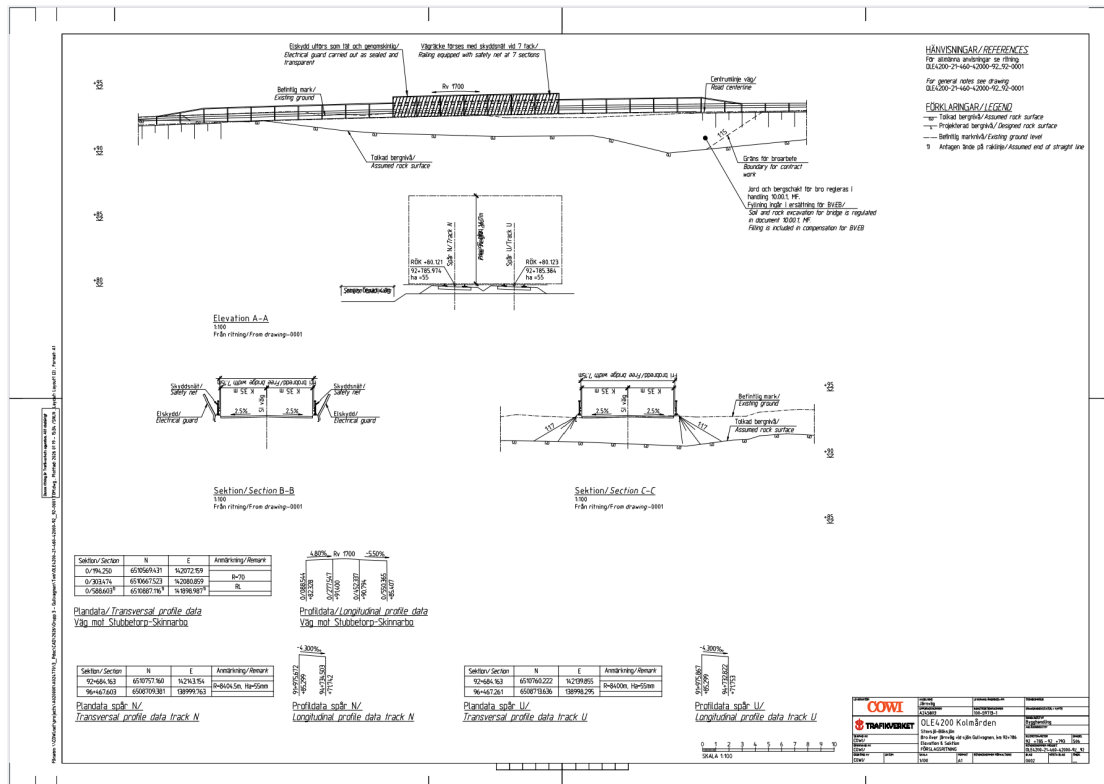
```

```
p1 =
```

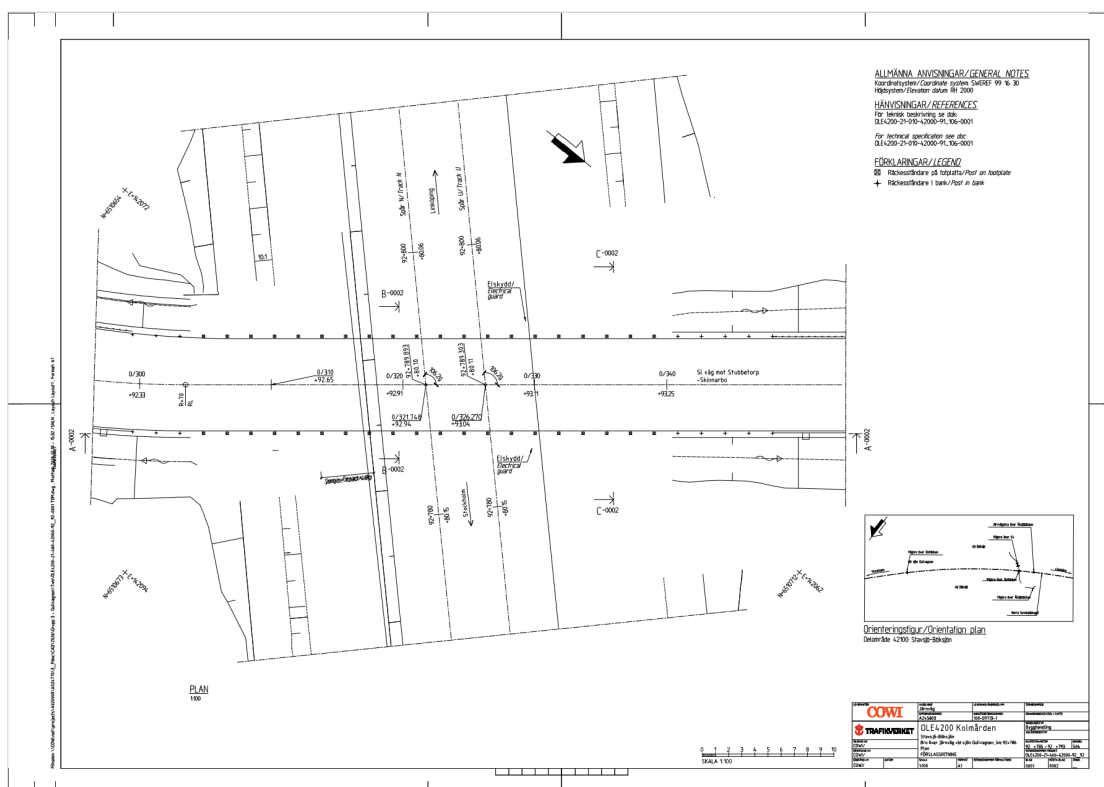
```
0.1276
```

p1=nedboj_last => borde stämma

Bilaga E – Underlag från COWI



Figur 14, Sektionsriktning av området ritade av Trafikverket, givna från COWI.



Figur 15, Områdesritning av området ritade av Trafikverket, givna från COWI.

Projekt Ostlänken	Ärendenummer	Namn OLE4200-21-010-42000-91_106-0001	
Skapad av (leverantör) COWI/	Granskad av (leverantör) COWI/Staffan Lindén	Godkänd av (leverantör) COWI/	Datum
OSTLÄNKEN OLE4200 Kolmården BANDEL 506, KM 91+730 - 106+000 11.21.4 Teknisk beskrivning – Bärverk i bro Konstruktion 100-59713-1 Bro över järnväg vid sjön Gullvagnen, km 92+786			Ändr. / Ändr. Datum

Ändring	Ändringen avser	Godkänd av (leverantör)	Ändr. Datum

Skapat av

Dokumentdatum

Konfidentialitetsnivå
[Konfidentialitetsnivå]

Ärendenummer

Innehåll

1. ALLMÄNT	4
1.1 Avsnitt	4
1.2 Kodad rubrik	5
1.3 Okodad rubrik	5
1.4 Kravhierarkier	6
1.5 Krav i AMA	7
A. GEMENSAMMA KRAV	9
B. VERKSAMHET	12
B1. Vägtrafik	12
C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTION	13
C1. Befintlig mark och miljö	13
C1. Befintlig mark och miljö/Geoteknik	13
C1. Befintlig mark och miljö/Bergteknik	13
C1. Befintlig mark och miljö/Hydrogeologi	13
C1. Befintlig mark och miljö/Kulturmiljö	13
C1. Befintlig mark och miljö/Mark- och vattenförorening	13
C1. Befintlig mark och miljö/ Vegetation, jordmån	13
C1. Befintlig mark och miljö/Vibration, luftstöt, buller	13
D. VÄG	14
DC1. Räcke	14
DC1. Räcke/Broräcke	17
DC14. Övergång mellan räcken	17
G. BROKONSTRUKTION	18
G. Brokonstruktion/Vägbro	18
GB. Överbyggnad	22
GB.7 Kantbalk	22
GC. Underbyggnad	22
GC1. Stödskena	Error! Bookmark not defined.
GC4. Bottenplatta	22
GC5. Ving- och stödmur	22

Skapat av

Dokumentdatum

GF. Undergrund	22
GG. Beläggning.....	24
GG2. Tätskikt.....	25
GG3. Skyddslager	25
GK. Avvattningsystem.....	26
GL. Komplettering	26
GM. Motfyllning, slänt och kon.....	27
GM1. Motfyllning	27
GM2. Slänt.....	27
X. DOKUMENTATION	28
X. Dokumentation/Digital projekthantering	29
XB. Projekteringsbeskrivning	31
XB. Projekteringsbeskrivning/Bro.....	33
XC. Bygghandling	34
XC. Bygghandling/Vägbro	35
XD. Slutdokumentation	37
XD2. Relationshandling	37
XD2. Relationshandling/Bro	38
Lista A. Gemensamma krav, X. Dokumentation och gemensamma kravdokument.....	40

1. ALLMÄNT

Detta avsnitt redogör för hur den tekniska beskrivningen (TB) är uppbyggd och hur den ska läsas. Denna beskrivning utgör förfrågningsunderlag för en ny vägbro över Ostlänken vid sjön Gullvagnen, km 92+792.

1.1 Avsnitt

Den tekniska beskrivningen (TB) består av följande avsnitt:

- 1. Allmänt
- A. Gemensamma krav
- B. Verksamhet
- C. Befintlig mark, miljö och konstruktioner
- D. Väg
- G. Brokonstruktion
- X. Dokumentation
- Lista med referenser till annan handling.

1. Allmänt

Här anges grundläggande regler för hur aktuell TB ska läsas. Här anges hur beskrivningen är disponerad och hur kravtexterna gäller i förhållande till varandra.

A Gemensamma krav

Här anges gemensamma krav för alla avsnitt i TB.

B Verksamhet

Här anges den verksamhet som ställer krav på anläggningen. Exempel på underrubriker är "B1. Vägtrafik".

C Befintlig mark, miljö och konstruktioner

Här beskrivs de befintligheter som utformning och utförande av anläggningen har att förhålla sig till. Här beskrivs även de restriktioner som befintligheter ställer på nya anläggningen och på dess utförande. Krav på flyttning, demontering och rivning samt vissa skyddsåtgärder beskrivs här.

D, G Aktuell anläggning

Här krävställs aktuell anläggning. Här anges förutsättningar och krav som gäller för utformning och utförande av anläggningen. Även vissa skyddsåtgärder samt tillfälliga konstruktioner beskrivs här.

Skapat av

Dokumentdatum

X Dokumentation

Här anges krav på den dokumentation som ska upprättas av entreprenören.

Lista med referenser till annan handling

Här listas refererade kravdokument och andra handlingar som är åberopade i TB:n.

1.2 Kodad rubrik

Kodad rubrik består av en kod (t.ex. DB eller FB) och en benämning (t.ex. Vägkonstruktion eller Bankonstruktion). Benämningen är en text som uttrycker kodens innebörd.

Första tecknet i koden anger huvudrubrik (t.ex. F), andra tecknet anger dess underordnade rubrik (t.ex. FC). Tredje tecknet (t.ex. FC1) och så vidare anger nästa nivå av underordnad rubrik.

En kodad rubrik kan dessutom vara specificerad med typer eller platser.

Kodad rubrik - specificering med typer ”/”

En kodad rubrik kan även vara specificerad med typer. Exempel på en sådan typ är ”Viltstängsel” som är en typ av ”Stängsel”.

Typ anges med enkelt snedstreck ”/” efter kodad rubrik, exempel: ”DB56. Stängsel/Viltstängsel”.

Kodad rubrik - specificering med platser ”//”

En kodad rubrik kan även vara specificerad med plats. Exempel på en sådan är geografisk plats, sträcka, etc.

Plats anges med dubbelt snedstreck ”//” efter kodad rubrik eller typ, exempel: ”DB56. Stängsel/Viltstängsel//km x/xxx - y/yyy”.

1.3 Okodad rubrik

Under de kodade rubrikerna används okodade rubriker för att strukturera texter.

Följande okodade rubriker (underrubriker) finns:

- Omfattning
- Funktion
- Teknisk lösning
- Kontroll

Skapat av

Dokumentdatum

Omfattning

Här anges avgränsning av kravens giltighet. Här anges vilka delar av anläggningen som kraven avser.

Funktion

Här anges krav på sådan användbarhet, eller sådana egenskaper som är nödvändiga för användbarhet, som normalt konstateras genom mätning, provning eller nyttjande, se AB 04.

Rubriken "Funktion" kan vara kompletterad för att uttrycka vad funktionen avser, t.ex. "Funktion/Bärförmåga, stadga, beständighet", "Funktion/Buller".

Teknisk lösning

Här anges krav på material, vara, konstruktion eller utförande som angetts på ritning, i beskrivning eller på annat sätt, se AB 04.

Rubriken "Teknisk lösning" kan vara kompletterad för att uttrycka vad den tekniska lösningen avser. Kompletteringen i rubriken kan t.ex. vara "Teknisk lösning/Konstruktion", "Teknisk lösning/Utförande" eller "Teknisk lösning/Material och vara".

Kontroll

Här anges krav på kontrollmetoder, och för vissa kontroller anges också tidpunkter. Kontroll avser den kontroll som entreprenören ska utföra.

Rubriken "Kontroll" är vanligen kompletterad med vad den avser, t.ex. "Kontroll/Funktion" eller "Kontroll/Funktion/Buller".

1.4 Kravhierarkier

Krav i denna TB gäller alltid före krav i refererad handling, t.ex. regelverksdokument, standarder eller andra dokument det hänvisas till.

Krav i lag, förordning och föreskrift gäller alltid och åberopas inte.

Krav i denna TB står under rubriker som är ordnade i hierarkisk nivåordning.

Krav på en överordnad rubriknivå gäller även som krav för en underordnad rubriknivå.

Krav på en underordnad rubriknivå gäller inte för den överordnade rubriknivån.

Om krav på en underordnad nivå har motsägende krav på överordnad nivå har kraven på den underordnade nivån företräde.

Krav i avsnitt "A. Gemensamma krav" gäller som överordnade krav för alla krav i TB förutom i "V. Extern konstruktion".

Se följande exempel:

D. VÄG

DB. Vägkonstruktion

DB5. Konstruktion i sidoområde.

I exemplet gäller krav under D även för DB, DB5 o.s.v. Om krav under DB5 går emot krav under D, då gäller det som står under DB5 bara för DB5.

Kravhierarkin omfattar även typ "/" och plats "//".

Se följande exempel:

DC1. Räcke

DC1. Räcke/Vägräcke

*DC1. Räcke/Vägräcke//Km x/xxx till
km y/yyy*

I exemplet gäller krav under DC1. Räcke även för DC1. Räcke/Vägräcke och för DC1. Räcke/Vägräcke//km x/xxx till km y/yyy. Om det under DC1. Räcke/Vägräcke//km x/xxx till km y/yyy ges ett specificerat krav på räcken på denna sträcka, då gäller dessa krav före överordnade rubriker DC1. Räcke/Vägräcke.

Se följande exempel.

DC1. Räcke

DC1. Räcke/Vägräcke

DC11. Räckesavslutning

I exemplet gäller krav under DC1. Räcke även för DC1. Räcke/Vägräcke och för DC11. Räckesavslutning. Vidare så är DC1. Räcke/Vägräcke överordnat DC11.

1.5 Krav i AMA

När text i AMA åberopas genom hänvisning till aktuell kod i AMA gäller texten under denna kod tillsammans med texter under i AMA överordnade koder, om inte annat framgår av handlingarna. Genom att åberopa exempelvis CBC.111 gäller även text under överordnade koder, det vill säga CBC.11, CBC.1, CBC, CB och C.

Skapat av

Dokumentdatum

Vid hänvisning till kod i AMA gäller de ändringar och tillägg som anges för motsvarande kod i Trafikverkets ändringar och tillägg till AMA.

Vid åberopande från en kodad rubrik i teknisk beskrivning till kod i AMA gäller texten i AMA enbart för den kodade rubriken i tekniska beskrivningen.

A. GEMENSAMMA KRAV

Avser alla avsnitt i Teknisk beskrivning (TB).

Omfattning

Denna tekniska beskrivning omfattar anläggande av bro enligt tabell (A).1

Omfattning.

Tabell (A).1 Omfattning

Namn	Konstruktions-nummer	Anläggnings-nummer	Förslagsskissnummer
Bro över järnväg vid sjön Gullvagnen km 92+786	100-59713-1	21451	· OLE4200-21-460-42000-92_92-0001 · OLE4200-21-460-42000-92_92-0002

Funktion

Krav i följande regelverk, enligt Lista A, ska uppfyllas:

- ”Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav”
- ”Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande”
- ”Krav Bro och broliknande konstruktion, Brounderhåll”
- ”Krav Geokonstruktion, Dimensionering och utformning”
- ”Krav Avvattning, Dimensionering och utformning”
- ”Krav Geodetiska mättningsarbeten och geografisk lägesbestämning”

Om inte annat anges ska bron utföras så att befintlig mark och miljö utanför arbetsområdet inte påverkas och att funktioner inte förändras under utförandet, efter färdigställandet eller vid framtida drift och underhåll.

Bron ska utformas och utföras enligt vetenskapligt dokumenterade metoder och/eller vedertagna och beprövade metoder.

Bron ska utformas och utföras så, att samtliga ingående anläggningsdelar och ytor mellan dessa ges en god anpassning till och integrering i omgivande landskap/bebyggelsemiljö.

Skapat av

Dokumentdatum

Utformning och utförande ska ta hänsyn till natur- och kulturmiljö samt övriga miljöaspekter beskrivna i handling 11.00.1 Teknisk beskrivning – Anläggning, kabelkanalisation och spåranläggning, OLE4200-00-010-42000-91_106-0001.

Utformning och utförande av bron ska ta hänsyn till påverkan på energianvändning och klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv, d.v.s. både energianvändning/klimatpåverkan för byggande, drift och underhåll samt trafikens energianvändning klimatpåverkan. Utformningen ska eftersträva att minska den totala energianvändningen/klimatpåverkan. Arbetet ska bedrivas systematiskt och minst omfatta transportarbetet, främjande av återanvändning och val av energisnåla material och metoder.

Bron ska utformas och utföras så att drift, underhåll och felavhjälpning kan ske kostnadseffektivt och på ett arbetsmiljömässigt riktigt sätt samt med vedertagna metoder.

Bron ska utformas och utföras klotterskyddad och klotterovänlig.

Bron ska utformas och utföras så att sabotage, skadegörelse och stöld av utrustning minimeras.

Teknisk lösning/Geodetisk mätningsteknik

Krav på geodetiska mättningsarbeten framgår av handling 11.20GD.1 Teknisk beskrivning – Mätningstekniskt underlag och dokumentation, OLE4200-20GD-010-42000-91_106-0001.

Funktion/Masshantering

Masshanteringen i projektet ska optimeras ur miljösynpunkt i kombination med tid och kostnad.

Massor med föroreningshalter som överskrider angivna avgränsningsvärden får inte användas inom entreprenaden utan ska transporteras till en godkänd mottagningsanläggning.

Kontroll

Kontroll ska utformas och utföras på ett sådant sätt och i en sådan omfattning att det kan verifieras att ställda krav uppfylls.

Kontrollmetoder beskrivna i AMA och i AMA refererade standarder ska tillämpas.

Förfrågningsunderlag

Ett kontrollprogram ska upprättas med tillhörande kontrollplaner för projektering och utförande samt ingående material och varor.

Kontrollprogram ska även innefatta kontroll av befintlig mark, miljö och konstruktion.

Där krav på kontroll ställs ska dessa inarbetas i kontrollprogram med tillhörande kontrollplaner. Om krav på kontroll inte är preciserade ska entreprenören själv precisera kontrollmetod utifrån beställarens krav eller entreprenörens valda tekniska lösning.

I kontrollprogram med tillhörande kontrollplaner ska inarbetas:

- kontroll enligt Trafikverkets kravdokument för byggande av väg- eller järnvägsanläggning. Detta ska göras om beställarens krav eller entreprenörens valda utformning och utförande hänvisar till dessa.
- kontroll enligt AMA med ändringar och med tillägg i förekommande fall enligt "TRV AMA Anläggning", kategori A, bro eller tunnel. Detta ska göras om beställarens krav eller entreprenörens valda tekniska lösning hänvisar till AMA.

Om av entreprenören vald teknisk lösning inte hänvisar till ovannämnda publikationer ska en särskild kravspecifikation avseende kontroll upprättas enligt:

- Krav Överbyggnad väg, Dimensionering och utformning, avsnitt 5.6.2.2
- Krav Geokonstruktion, Administrativa regler, avsnitt 5.4
- Krav Avvattning, Dimensionering och utformning avsnitt 5.2
- Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav, avsnitt 5.2

För en produkt som omfattas av krav på prestandadeklaration enligt byggproduktförordningen (CPR) ska de väsentliga egenskaperna deklarerats i enlighet med berörda harmoniserade tekniska specifikationer. För övriga produkter ska verifiering ske enligt nivå 1 till 4 i "AMA Anläggning" kod YE. Om krav på nivå inte anges ska verifiering ske till lägst nivå 4.

För samtliga objekt där kontroll eller besiktning inte kan utföras i efterhand, t.ex. schaktbottnar och ledningar i mark, ska beställaren i god tid, dock minst 5 arbetsdagar innan arbetet utförs, beredas möjlighet att närvara vid kontrollen.

Skapat av

Dokumentdatum

Kontroll/Masshantering

Vid schaktning ska massorna kontrolleras okulärt. Vid misstanke om föroreningar eller förorenade massor ska schaktningen omedelbart avbrytas inom den del av området som berörs och beställaren kontaktas.

Akcrediterat laboratorium ska anlitas och standardiserad analys ska utföras.

Provtagning ska genomföras enligt SGF Rapport 2:2013. Kvalitetsnivå för fält- och laboratorieundersökningarna ska förutsättas vara utifrån mekanisk rengöring av provtagningsutrustningen samt att inga duplikatprov ingår.

Avvikelser från bygghandling eller antagande om befintliga förhållanden meddelas beställaren i god tid så att avvikelse kan hanteras.

Kontroll ska uppfylla krav enligt AMA Anläggning.

B. VERKSAMHET

B1. Vägtrafik

Trafikandel med dubbdäck under perioden 1 oktober till 15 april är 63 %.

Vägbanan saltas vintertid.

Standardaxel definieras enligt TRVINFRA-00224 avsnitt 12.3.1.

Årsmedeldygnstrafiken (ÅDT) för enskild väg på bron över Ostlänken uppskattas till ca. 125 fordon (2045) varav tung trafik utgör ca. 12 fordon.

Vägtyp	Referens-hastighet (km/h)	ÅDT _r , År 2045	Tung trafik % År 2045	Årlig trafik förändring Pb % /år	Årlig trafik förändring Lb % /år	B-faktor (justerad)
Enskild väg	70	125	10	1,37	1,3	1,7

C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTION

C1. Befintlig mark och miljö

För beskrivning av befintligheter enligt nedanstående koder, se handling 11.00.1 Teknisk beskrivning – Anläggning, kabelkanalisation och spåranläggning, OLE4200-00-010-42000-91_106-0001.

C1. Befintlig mark och miljö/Geoteknik

BBB.1131 Geotekniska förhållanden i jord

C1. Befintlig mark och miljö/Bergteknik

BBB.1132 Geotekniska förhållanden i berg

C1. Befintlig mark och miljö/Hydrogeologi

BBB.114 Hydrogeologiska förhållanden

C1. Befintlig mark och miljö/Kulturmiljö

BBB.35 Fornminnen

C1. Befintlig mark och miljö/Mark- och vattenförorening

BBB.15 Föroreningar

C1. Befintlig mark och miljö/ Vegetation, jordmån

BBB.112 Jordmåns- och vegetationsförhållanden

C1. Befintlig mark och miljö/Vibration, luftstöt, buller

BBB.117 Utförda inventeringar av skaderisker

D. VÄG

DC1. Räcke

Funktion

Ett räcke ska grundläggas så att det får och behåller de egenskaper som bestämts vid typprovningen.

Teknisk lösning

Vid grundläggning av skyddsanordning med plattor förlagda i mark ska följande gälla:

- Skyddsanordningen ska skruvas fast i grundkonstruktionen.
- Grundkonstruktionen och grundläggningen ska dimensioneras enligt SS-EN 1991-2, kapitel 4.7.3.3(2).

Fundament ska monteras med överdelen något över omkringliggande mark- eller vägyta, dock högst 0,1 m över beläggningsyta.

Montering ska utföras enligt tillverkarens monteringsanvisningar.

Den som ansvarar för arbetsledning och tillsyn ska:

- vara tillgänglig under montagearbetet
- ha dokumenterade teoretiska kunskaper och praktisk erfarenhet avseende material, utförande och kontroll av skyddsanordningar motsvarande Svenska Väg- och Broräckesföreningens (SVBRF) auktoriserad räckesmontör
- ha kännedom om den aktuella anordningens uppbyggnad och funktion

Krav på maximalt utsläpp CO₂e för balk- och rörräcken

Levererad produkt ska uppfylla krav på maximalt utsläpp av 2,9 kg CO₂e/kg. Krav avser livscykelfaserna A1-A3 och indikatorerna (GWP-fossil) + (GWP-luluc) enligt SS-EN 15804.

Teknisk lösning/Material, Stål

Alla ståldelar i räcke, som inte är av rostfritt stål, ska vara varmförzinkade minst enligt tabell NA.1, Fe/Zn 115 i SS-EN ISO 1461. Undantagna är brickor

Skapat av

Dokumentdatum

som ska vara varmförzinkade enligt tabell 3 i SS-EN ISO 1461 samt skruvar och muttrar som ska vara varmförzinkade enligt SS-EN ISO 10684.

Ingjutningsgods av stål i betong eller i berg ska vara varmförzinkat enligt tabell NA.1, Fe/Zn 115 i SS-EN ISO 1461, intill det största måttet av täckskiktets tjocklek eller 50 mm.

Teknisk lösning/Material, Aluminium

För räcke i vägmiljö godtas legeringar i beständighetsklass A enligt SS-EN 1999-1-1.

Teknisk lösning/Material, Fästdon

Skruvar ska vara märkta enligt SS-EN ISO 898-1.

Teknisk lösning/Material, Betong

Betong ska uppfylla krav för exponeringsklass XD3/XF4 enligt SS-EN 206 och SS 137003.

Täckande betongskikt ska uppfylla krav för exponeringsklass XD3.

Kontroll

För räckesmontaget utsedd arbetsledning ska vid slutfört montage skriftligen meddela beställaren att räcket monterats enligt tillverkarens monteringsanvisningar.

Kontroll/Produkter som omfattas av krav på CE-märkning

Tillverkaren/leverantören ska tillhandahålla:

- certifikat om överensstämmelse (Certificate of Constancy of Performance)
- prestandadeklaration (Declaration of Performance)
- monteringsanvisningar inklusive information om underhåll och kontroll enligt kapitel 8 i SS-EN 1317-5
- uppgifter av betydelse för beständigheten (korrosionsskydd, täckskikt och dylikt) enligt kapitel 4 i SS-EN 1317-5
- information om produkten och dess användning enligt kapitel 5 i SS-EN 1317-5

Dokumentationen enligt kapitel 8 i SS-EN 1317-5 ska vara skriven på svenska. Produkter ska efter avslutat montage märkas enligt SVBRF:s "Instruktion för fysisk märkning av skyddsanordningar för fordon". Se SVBRF:s hemsida.

Skapat av

Dokumentdatum

Kontroll/Övriga produkter

Tillverkaren ska verifiera att krav på material, utförande, provning och kontroll är uppfyllda.

Verifikatet ska i tillämpliga delar vara utformat enligt SS-EN ISO/IEC 17050-1.

Tillverkaren/leverantören ska tillhandahålla:

- monteringsanvisningar inklusive information om inspektion, underhåll, kontroll och reparation
- uppgifter av betydelse för beständigheten (korrosionsskydd, täckskikt och dylikt)
- information om produkten och dess användning

Dokumentationen ska vara skriven på svenska.

För produkter vars funktion inte visas med krockprov ska beräkningar och underlag som visar på kravuppfyllelse för hållfasthet och utformning redovisas.

Kontroll/Utsläpp

Verifiering av utsläpp kg CO₂e per kg för levererad produkt ska ske med något av följande alternativ:

- tredjepartsgranskad publicerad miljövarudeklaration typ III (EPD) enligt SS-EN15804, eller
- verifikat som tagits fram enligt SS-EN 15804 med ett tredjepartsgranskat verktyg för framtagande av miljövarudeklarationer (dotter-EPD).

Verifikatets giltighet ska bekräftas av Trafikverket. Förfrågan sker via verktyget Klimatkalkyl (flik verifikat) enligt anvisning på Trafikverkets webbplats.

DC1. Räcke/Broräcke

Funktion

Kapacitetsklass H2.

Broräcke ska uppfylla krav enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion" samt "Krav – VGU".

Teknisk lösning

Broräcket ska vara av samma typ som anslutande sidoräcken.

Skravar, muttrar och brickor för räckets infästning i bron ska vara av rostfritt stål med god korrosionsbeständighet. Kvalitet 1.4401, 1.4404, 1.4406, 1.4429, 1.4432, 1.4435, 1.4436 och 1.4438 och 1.4462 enligt SS-EN 10088-1 till och med SS-EN 10088-5 anses uppfylla ställda krav.

Räcke ska monteras med toleranser enligt tillverkarens anvisningar, dock får toleransen i höjddled inte överstiga $\pm 0,02$ m och toleransen i sidled får inte överstiga $\pm 0,02$ m. Vid avslutat montage ska räcket vara riktat med god linjeföring och kravet att avvikelse inte ska gå att se vid visuell kontroll.

Kontroll

Räcke vid körbanor på vägbro ska vara deklarerat enligt SS-EN 1317-5 med avseende på kapacitetsklass, normaliserad arbetsbredd, dynamisk deflektion, skaderiskklass och beständighet samt i förekommande fall fordonsinträngning och motståndsförmåga mot snöplogning.

DC14. Övergång mellan räcken

Teknisk lösning

Övergång mellan väg- och broräcke enligt handling 11.00.1 Teknisk beskrivning – Anläggning, kabelkanalisation och spåranläggning, OLE4200-00-010-42000-91_106-0001, DEG.14.

DC16. Räckeskomplettering/Skyddsnät

Funktion

Räcket ska förses med skyddsnät.

Nät till skyddsnät ska vara så spänt att det är plant.

Skyddsnät ska dimensioneras för last av plogsnö.

G. BROKONSTRUKTION

G. Brokonstruktion/Vägbro

Funktion

Brokonstruktionen ska ha en teknisk livslängd på 120 år.

Minsta fri höjd över RÖK på underliggande järnväg ska vara 6,7 m.

Teknisk lösning

Brokonstruktionerna ska utföras enligt de geometriska krav som anges på förslagsskisser samt teknisk beskrivning.

Avvikelse från på skiss angivet läge för både plan- och profillinjen för bro får inte förutsättas.

Då mått för en konstruktionsdel inte är angivet ska de mått som följer av en utformning och dimensionering enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" samt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" gälla. Mått som följer av dimensioneringskrav gäller före mått uppmätta på förslagsskiss.

Betongytan ska vara enhetlig för hela konstruktionen inom ramen för en viss naturlig acceptabel variation.

Byggplatstoleranser enligt SS-EN 13670, bilaga G.

Byggplatstolerans avser maximal tillåten avvikelse vid kontrollinmätning.

Bro ska jordas.

Betonggjutning ska utföras i torrhet.

Kemiska produkter ska uppfylla de krav på som framgår av "Kemiska produkter – granskningskriterier och krav för Trafikverket", avsnitt 5.1.

Material och varor ska uppfylla de krav som framgår av "Material och varor – krav och kriterier avseende innehåll av farliga ämnen", avsnitt 5.2.

Skapat av

Dokumentdatum

Armeringen i brokonstruktionen ska uppfylla krav enligt AMA Anläggning. Text i AMA gäller med följande tillägg:

Krav på maximalt utsläpp av CO_{2e} för ospänd armering

Levererad bearbetad armering ska uppfylla krav på maximalt utsläpp av kg CO_{2e} enligt Tabell TRV EBC.11/1.

Tabell TRV EBC.11/1 Krav på maximalt utsläpp kg CO_{2e} per ton armering

Utförandeår ¹⁾	2026-2027	2028-2029	≥ 2030
Kravnivå ²⁾	480	420	350
¹⁾ Avser året då varan används			
²⁾ Rostfri armering är undantagen krav			

Kravnivåerna avser livscykel faserna A1 till A3 och indikatorerna (GWP-fossil) + (GWP-luluc) enligt SS-EN 15804.

Betongen i brokonstruktionen ska uppfylla krav enligt AMA Anläggning. Text i AMA gäller med följande tillägg:

Krav på maximalt utsläpp av CO_{2e} för fabriksblandad betong

Levererad betong ska uppfylla krav på maximalt utsläpp av kg CO_{2e} enligt Tabell TRV RA EBE.1/1.

Tabell TRV RA EBE.1/1. Krav på maximalt utsläpp kg CO_{2e} per m³ tillverkad betong

Exponeringsklass	Kravnivå ¹⁾
XC1 - XC4, XF3	225
XD1, XD2, XS2, XF2	250
XD3, XS3, XF4	270

¹⁾ Motsvarar nivå 3 i Vägledning Klimatförbättrad betong (Svensk betong)

Krav avser livscykel faserna A1 till A3 och indikatorerna (GWPfossil) + (GWP-luluc) enligt SS-EN 15804.

Skapat av

Dokumentdatum

Teknisk lösning/Formsättning

Kantbalkar ska formsättas med en slät form, typ plyfa, samt med väv eller duk.

Synliga betongytor formsätts med brädform. Ej synliga ytor formsätts med valfri form.

Brädor ska ha en bredd på max 95 mm.

Formbrädor ska vara råhyvlade med den ohyvlade sidan mot betongen.

Högst var tredje bräda får skarvas i samma snitt.

Begagnat och nytt formvirke får ej blandas i samma konstruktionsdel.

Skarpa utstående hörn ska fasas av genom iläggning av 20 mm trekantlist i formen.

Droppanvisning (droppnäsa/rilla) för kantbalk ska utformas med 20 mm trekantlist.

Formstag ska vara kvarsittande och utföras i rostfritt stål eller som fiberkomposit.

Formstag genom kantbalk godtas inte.

Horisontell gjutfog får inte placeras i synliga ytor.

Gjutfog får inte placeras i synliga ytor på ving- och stödmurar.

Formsläppmedel ska vara miljövänlig och av vegetabilisk art.

Endast formsläppmedel som tidigare använts med dokumenterat gott resultat får användas.

Teknisk lösning/Efterbehandling

Betongytor i vägmiljö ska skyddsimpregneras mot inträngning av klorider enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" avsnitt 6.2.10.8.1.

Klotterskydd enligt AMA Anläggning, LEB av typ "offerskydd" ska anbringas på följande betongytor:

- synliga betongytor till brounderbyggnad ovanför färdigställd markyta
- ytor till ving- och stödmurar ovanför färdigställd markyta
- kantbalk

Klotterskydd ska anpassas till valt system för skyddsimpregnering.

Kontroll

Skapat av

Dokumentdatum

Verifiering av utsläpp kg CO₂e per ton för levererad bearbetad armering ska ske med något av följande alternativ:

- tredjepartsgranskad publicerad miljövarudeklaration typ III (EPD) enligt SS-EN15804, eller
- verifikat som tagits fram enligt SS-EN 15804 med ett tredjepartsgranskat verktyg för framtagande av miljövarudeklarationer (dotter-EPD). Verifikatets giltighet ska bekräftas av Trafikverket. Förfrågan sker via verktyget Klimatkalkyl (flik verifikat) enligt anvisning på Trafikverkets webbplats.

Verifiering av utsläpp kg CO₂e per m³ för levererad betong ska ske med något av följande alternativ:

- tredjepartsgranskad publicerad miljövarudeklaration typ III (EPD) enligt SS-EN15804, eller
- verifikat som tagits fram enligt SS-EN 15804 med ett tredjepartsgranskat verktyg för framtagande av miljövarudeklarationer (dotter-EPD). Verifikatets giltighet ska bekräftas av Trafikverket. Förfrågan sker via verktyget Klimatkalkyl (flik verifikat) enligt anvisning på Trafikverkets webbplats.

Skapat av

Dokumentdatum

GB. Överbyggnad

GB.7 Kantbalk

Teknisk lösning

Utformning enligt *Figur (GB.7) 1*.

Kantbalkar ska utföras upphöjda.

Kantbalkar ska förses med anslutningar för elektrokemisk potentialmätning.

Kantbalkens överyta lutas inåt.

Kantbalkens sidoyta utåt ska utformas i lutning 6:1.

Figur (GB.7) 1



GC. Underbyggnad

GC4. Bottenplatta

Teknisk lösning

Bottenplattors översida ska luta minst 1 % mot fri kant.

GC5. Ving- och stödmur

Teknisk lösning

Eventuella synliga fogar i konstruktionsdel med yta mot jord ska tätas mot jord- och vatteninträngning från fyllning med remsor av tätskiktsmatta, klistrad på jordsidan enligt AMA Anläggning JBJ.2.

Vingmuren ska förses med kantbalk likt kantbalken på bron.

GF. Undergrund

Omfattning

Funktion

Grundläggningen ska dimensioneras enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" och "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggbande" samt "Krav Geokonstruktion, dimensionering och utformning".

Förfrågningsunderlag

Skapat av

Dokumentdatum

Dimensioneringen ska utföras i geoteknisk kategori 2 (GK2) och säkerhetsklass 3 (SK3).

Teknisk lösning

Den slutgiltiga placeringen av brostöden måste godkännas av beställaren innan projekteringen får påbörjas.

Kontroll

Beställaren ska beredas plats och tillfälle att utföra schaktbottenbesiktning inför beslut om slutlig placering av brostöd.

GG. Beläggning

Funktion

Brobanepatta ska förses med bitumenbunden beläggning enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" avsnitt 6.2.8.1.2.1.

Teknisk lösning

Total tjocklek för beläggningssuppbbyggnad ska vara 110 mm inklusive tätskikt.

För bitumenbunden beläggning åberopas kraven i AMA Anläggning, DCC med underkoder, kategori A.

Text i AMA under DCC gäller med följande tillägg:

Krav på maximalt utsläpp CO₂e för tillverkad asfaltmassa

Levererad asfaltmassa ska uppfylla krav på maximalt utsläpp av CO₂e enligt Tabell TRV DCC/1.

Tabell TRV DCC/1 Krav på maximalt utsläpp CO₂e för tillverkad asfaltmassa

Asfaltmassa typ	Maximalt utsläpp kg CO ₂ e per ton		
	2025 - 2026	2027 - 2029	2030
Utförandeår >			
ABT	26	24	19
ABT PMB	34	32	29
ABS	30	27	24
ABS PMB	38	36	33
ABb	26	24	22
ABb PMB	31	28	26
AG	24	22	20
AG PMB	29	27	25
MJAG	22	19	16
MJOG	22	19	16
TSK ²⁾	1)		
PGJA ³⁾	1)		

¹⁾ Krav på redovisning av utsläpp kg CO₂e per ton asfaltmassa. Utgör underlag för framtida kravnivåer.

²⁾ Avser asfaltmassa till TSK enligt TDOK 2013:0529, avsnitt 5.1.

³⁾ Avser gjutasfaltmassa med PMB enligt TDOK 2013:0529, avsnitt 4.1.4

Krav avser livscykel faserna A1 till A3 och indikatorerna (GWP-fossil) + (GWP-luluc) enligt SS-EN 15804.

Kontroll

Verifiering av utsläpp kg CO₂e per ton för levererad typ av asfaltmassa ska ske med något av följande alternativ:

- tredjepartsgranskad publicerad miljövarudeklaration typ III, (EPD), enligt SS-EN15804, eller
- verifikat som tagits fram enligt SS-EN 15804 med ett tredjepartsgranskat verktyg för framtagande av miljövarudeklarationer, (dotter-EPD). Verifikatets giltighet ska bekräftas av Trafikverket. Förfrågan sker via verktyget Klimatkalkyl (flik verifikat) enligt anvisning på Trafikverkets webbplats.

GG2. Tätskikt**Funktion**

Brobanepatta ska försees med tätskikt enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" avsnitt 6.2.7.1.2.

Teknisk lösning

Tätskiktsmatta minst 5 mm enligt AMA Anläggning, JBE.111.

Tätskiktsmattans kanter ska förseglas enligt AMA Anläggning, JBJ.1131.

Kontroll

Kontroll av utlagd tätskiktsmatta ska minst omfatta kontrollerna under koder JBE.11 och JBE.111 i AMA Anläggning.

GG3. Skyddslager**Teknisk lösning**

Skyddslager ska bestå av 25 mm ABT8.

GK. Avvattningssystem

Omfattning

Krav avser dränering och avvattning av brobaneplatta.

Dräneringssystem enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" avsnitt 6.2.8.3.

Funktion

Översida av brobaneplattans tätskikt ska dräneras.

Dagvatten ska inte omhändertas eller anslutas till ett ledningsnät.

Teknisk lösning/Grundavlopp

Grundavlopp ska vara av rostfritt stål med god korrosionsbeständighet.

Kvalitet 1.4401, 1.4404, 1.4406, 1.4429, 1.4432, 1.4435, 1.4436, 1.4438 och 1.4462 enligt SS-EN 10088-1:2005 till och med SS-EN 10088-5:2009 anses uppfylla ställda krav.

GL. Komplettering

Funktion

En skylt med god beständighet visande året för färdigställande ska monteras på bron. Placering bestäms i samråd med beställaren.

GL. Komplettering/Elskyddsanordning

Funktion

Bron ska förses med elskyddsanordning enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" avsnitt 6.2.10.5.2.

Teknisk lösning

Elskyddsanordning ska ha avsedd teknisk livslängd av 40 år.

Elskyddsanordningen ska vara genomskiktlig.

GM. Motfyllning, slänt och kon

GM1. Motfyllning

Funktion

Motfyllning mot vingmurar får inte medföra oönskad deformation.

Teknisk lösning

Motfyllningar ska utföras med omfattning och släntlutningar enligt skisser.

Fyllning mot bro samt vingmurar ska utföras enligt AMA Anläggning, CEB.52 med tillämplig underkod.

GM2. Slänt

Funktion

Ytor ska upplevas jämna vid okulär betraktelse.

Teknisk lösning

Slänterna får inte utföras med brantare lutning än vad som anges på skisser.

Skapat av

Dokumentdatum

X. DOKUMENTATION

Dokumentation ska upprättas så att beställaren, myndigheter och övriga berörda parter kan säkra att ställda krav uppfylls.

Dokumentation ska omfatta projektering, utförande och slutdokumentation.

Levererade handlingar ska åtföljas av ett kvalitetsintyg, som tydligt verifierar handlingarnas status.

Kvalitetssäkring i form av genomförd egenkontroll, oberoende granskning etc. ska styrkas och framgå genom märkning på respektive handling och/eller av kvalitetsintyg. Kvalitetssäkringen ska dokumenteras och på begäran visas upp för beställaren.

X. Dokumentation/Digital projekthantering

Utöver krav angivna i kapitel X ska "Digital Projekthanteringsplan, Ostlänken", "Instruktion namnkonvention och metadata, Ostlänken" TDOK 2023:0106, "Instruktion delning och leverans av produktdokument, Ostlänken" TDOK 2023:0080 och "Digital projekthantering" TDOK 2012:35 med tillhörande kravdokument gälla.

En objektspecifik digital projekthanteringsplan ska upprättas. Handlingen ska vara godkänd av beställaren innan projekteringsbeskrivning levereras.

Dokumentutbyte mellan beställaren och leverantören ska utföras i ProjectWise PDBi samt projektportalen. Uppkoppling till systemen kräver anslutning till Internet samt personligt konto.

ProjectWise PDBi, och projektportalen är de dokumenthanteringssystem som beställaren använder för administration, distribution och lagring av digitala handlingar med versionshantering.

ProjectWise PDBi ska användas för leverans, redovisning och lagring av **produktdokument** samt överföring och utbyte av data och arbetsmaterial.

Med **produktdokument** avses handlingar och data som ingår i eller utgör underlag för digitala produkter som järnvägsplaner, vägplaner, FU för upphandling av entreprenader, bygghandlingar, relationshandlingar och förvaltningsdata.

Projektportalen ska användas löpande under projektets gång för utbyte och lagring av projektdokument utöver det som levereras till ProjectWise.

Med **projektdokument** avses administrativa dokument och handlingar för projektstyrning och ledning, som krävs för att driva projektet framåt, exempelvis underrättelser, korrespondens, protokoll, minnesanteckningar, kontakter, tidplaner och dagböcker.

Handlingar för mottagningskontroll samt slutleverans ska levereras enligt uppdragets tidplan till rätt mapp i projektets struktur. Originalformat och PDF ingår i varje leverans, för mottagningskontroll ska de länkas till strukturen. Vid slutleverans ska även filer redovisas som en digital slutprodukt i för produkten relevanta format. Konsulten ansvarar för kvalitetssäkring av den digitala slutprodukten. Vid leverans av handlingar ska leverantörens egenkontroll bifogas med förtecknade identifierade krav och hur dessa är verifierade och omhändertagna.

Skapat av

Dokumentdatum

Metadata för dokumentleveranser till ProjectWise PDBi ska anges för varje dokument/fil enligt "Instruktion namnkonvention och metadata, Ostlänken" TDOK 2023:0106.

Metadata för järnväg ska följa begrepp enligt kraven i "Instruktion namnkonvention och metadata, Ostlänken" TDOK 2023:0106. Denna TDOK innehåller en hänvisning till "Digital projekthantering" TDOK 2012:35. "Namnrutor på ritningar – Järnväg" TDOK 2019:0213 ska i stället följas i fråga om namnruta/ritningshuvud.

Projektspecifika metadata ska redovisas i objektspecifik digital projekthanteringsplan.

Filnamn

Filnamnstruktur framgår från "Instruktion namnkonvention och metadata, Ostlänken" TDOK2023:0106.

Ritningsnummer

Ritningsnumret ska vara unikt i projektet och framgår från "Instruktion namnkonvention och metadata, Ostlänken" TDOK2023:0106.

Namnkonvention

Namnkonvention för leveranser till ProjectWise PDBi framgår från "Instruktion namnkonvention och metadata, Ostlänken" TDOK2023:0106.

Ändrings- och revideringshantering ska ske enligt "Instruktion delning och leverans av produktdokument, Ostlänken" TDOK 2023:0080.

Tillfällig statusmärkning

Angivna mått redovisas i objektspecifik digital projekthantering. Programvaran Digital tejp kan användas.

XB. Projekteringsbeskrivning

En översiktlig beskrivning ska upprättas av hur projektering och utförande av anläggningen ska planeras, genomföras och dokumenteras innan arbetet påbörjas.

Projekteringsbeskrivningen ska i sin helhet vara kontrollerad av beställaren innan entreprenören börjar ta fram bygghandling.

Projekteringsbeskrivningen ska muntligen presenteras och redovisas för beställaren på ett möte i samband med att projekteringsbeskrivningen levereras.

Beskrivningen ska redovisa konkreta åtgärder, metoder och tillvägagångssätt samt delaktig kompetens under projektering och utförande. Kritiska faktorer och moment samt allvarliga/betydande risker ska vara beskrivna.

Innehållet ska vara utformat så, att beställaren kan göra en välgrundad bedömning av planerat utförande och resultat.

Av projekteringsbeskrivningen ska det framgå:

- Organisation för projektering med efterfrågade specifika kompetenskrav.
- Beskrivning av hur projektering avses kvalitetssäkras.
- En projekteringsplan enligt AFC.2421. I projekteringsplanen ingående projekteringstidplan ska utöver kraven i AFC.2421 omfatta förvaltningsdata.
- Förslag till kontrollprogram och kontrollplaner för utförande samt beskrivning av hur avvikelser och ändringar ska hanteras, samordnas mellan olika teknikområden samt åtgärdas (egenkontroll).
- Förslag till vilka arbetsmoment som det kommer upprättas arbetsbeskrivningar/arbetsberedningar för kopplat till allvarliga/betydande risker.
- Hur ställda miljökrav hanteras inom varje ämnesområde.
- Hur påverkan på och av befintlig anläggning inom och utanför arbetsområdet avses hanteras.
- Hur förändringar och avsteg mot projekteringsbeskrivningen ska hanteras och redovisas för beställaren.

Skapat av

Dokumentdatum

- Vilka källdokument och regelverk som kommer att följas, som inte finns kravställda i tekniska beskrivningen.
- Beskrivning av hur kraven på relationshandling ska beaktas i projektering och utförande.
- Beskrivning av hur kraven på förvaltningsdata och leveranstidskraven ska beaktas i projektering och utförande.
- Preliminär handlingsförteckning för bygghandling.
- En redovisning av principiell utformning och utförande. Detta ska göras för alla ämnesområden som ingår i projektet. Ämnesområdesspecifika krav under följande rubriker ska inarbetas i beskrivningen.

Avseende leveranskontrollen ska:

- Beställaren ges möjlighet att yttra sig över projekteringsbeskrivningen.
- Eventuella synpunkter från beställaren vara besvarade skriftligt på ett fackmannamässigt sätt.

XB. Projekteringsbeskrivning/Bro

Av projekteringsbeskrivningen för byggnadsverk ska det minst framgå:

- En övergripande tidplan för allt projekteringsarbete för byggnadsverken, från "förslag till principiell utformning och utförande" till "förvaltningsdata".
- En tidplan för upprättande av "förslag till principiell utformning och utförande".
- Vilka handlingar som ingår i redovisningen av "förslag till principiell utformning och utförande" samt en beskrivning av hur och var dessa handlingar ska levereras till beställaren.
- En komplett projekteringsbeskrivning, inklusive tidplan, för upprättande av konstruktionsredovisning. Beskrivningen ska sträcka sig fram till dess att samtlig konstruktionsredovisning blivit kontrollerad, märkt och kopplad i BaTMan.
- Vilka handlingar som kommer att upprättas som konstruktionsredovisning samt en beskrivning av hur och var dessa handlingar ska levereras till beställaren.
- En tidplan för upprättande av relationshandlingar och förvaltningsdata för byggnadsverken.
- Vilka handlingar som kommer att upprättas som relationshandlingar för byggnadsverken samt en beskrivning av hur och var dessa handlingar ska levereras till beställaren.
- Vilka handlingar som kommer att upprättas som förvaltningshandlingar för byggnadsverken samt en beskrivning av hur och var dessa handlingar ska levereras till beställaren.
- Hur beställarens och den "kontrollerande enhetens" granskning, kontroll och handläggning är integrerad i allt projekteringsarbete för byggnadsverken, från "förslag till principiell utformning och utförande" till "förvaltningsdata".

XC. Bygghandling

Bygghandling ska upprättas i sådan omfattning och innehåll att det kan visas/styrkas att ställda krav uppfylls.

Bygghandling utgörs av material- och arbetsbeskrivningar, samordningsmodell med tillhörande ämnesområdesmodeller, ritningar, beräkningar, PM, arbetsberedningar, undersökningar och kontrollprogram med tillhörande kontrollplaner. Arbetsbeskrivningar ska vara kopplade till allvarliga/betydande risker.

Avsteg, kompletteringar eller andra förändringar i förhållande till befintliga gränser ska redovisas på planritning eller ämnesområdesmodellen för gränser.

Avsteg, kompletteringar eller andra förändringar i förhållande till projekteringsbeskrivning ska dokumenteras och delas till beställaren.

Arbetsberedningar ska upprättas för riskfyllda och kritiska moment. Det ska finnas "en röd tråd" från allvarliga/betydande risker till kontrollprogram med tillhörande kontrollplaner och ned till arbetsberedningar.

Beräkningar ska redovisas så att de kan följas från indata till beräkningsresultat samt vara lätta att följa. Samtliga beräkningar med resultat ska vara identifierbara.

Kontrollprogram med tillhörande kontrollplaner ska ha ett separat avsnitt för kontroller som erfordras för riskbemötande samt att miljö- och arbetsmiljökrav uppfylls. Separata avsnitt ska även upprättas för utformning (projektering) och utförande (byggande).

Beställaren ska ges möjlighet att granska upprättad bygghandling innan byggandet får påbörjas. Beställaren granskning innebär inte att ställningstagande om bygghandlingen uppfyller kontraktsevenliga fordringar.

Arbete får endast utföras enligt kontrollerad bygghandling.

Den godkända bygghandlingen ska levereras med tillhörande arbetsfiler i utbytesformat och inställningsfiler i originalformat till beställarens dokumenthanteringssystem ProjectWise PDBi.

XC. Bygghandling/Vägbro

Konstruktionsredovisning för en vägbro ska upprättas. Gränssnitt mellan väganläggning och bro framgår av förslagsskisserna. För konstruktioner som omfattas av "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" ska avsnitt 5.3.2 tillämpas. Konstruktionsredovisning ska upprättas i enlighet med "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav", avsnitt 5.4.

Konstruktionsredovisning ska upprättas efter det att ett förslag till redovisning av byggnadsverkets principiella utformning och utförande har upprättats enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.3.2.

I ett tidigt skede av konstruktionsarbetet ska dess förutsättningar och metoder kontrolleras enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.3.3.5.

Konstruktionsredovisningen ska minst omfatta:

- Arbetsritningar enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.4.7
- Beskrivningar enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.4.8
- Redogörelse för konstruktionsarbetets förutsättningar och metoder enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.4.6
- Konstruktionsberäkningar enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.4.9

Beskrivningen av material, utförande och kontroll enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.4.8.2 ska ansluta till AMA Anläggning 23. Trafikverkets ändringar och tillägg till dessa krav ska inarbetas i beskrivningen.

Följande objektspecifika konstruktionsredovisning ska åtminstone tillhandahållas där den är applicerbar:

- Objektspecifika arbets- och metodbeskrivningar för begränsning av risken för temperatursprickor i ung betong enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.4.8.7
- Objektspecifik konstruktionsredovisning för lager

Skapat av

Dokumentdatum

- Objektsspecifik konstruktionsredovisning för broräcket

Konstruktionsredovisning ska insändas till beställaren för kontroll enligt rutiner i "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.3.3. Redovisningen av principiell utformning och utförande ska vara slutförd innan kontroll enligt avsnitt 5.3.3.5.

Av "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.3.3.1 framgår när konstruktionsredovisning ska kontrolleras.

Administrativa rutiner enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" avsnitt 5.3 gäller. Nedan belyses några av kraven under detta avsnitt:

- Kontrollen av konstruktionsredovisningen ska baseras på en av konstruktionsföretaget upprättad tidplan för konstruktionsarbetet enligt avsnitt 5.3.3.4.
- Kallelse till konstruktionsstartmöte ska sändas till beställarens projektledning och den kontrollerande enheten av beställarens kontraktspart minst två veckor innan föreslagna mötestid. Se avsnitt 5.3.3.5.2 i dess helhet.
- Handläggningstider för den kontrollerande enheten framgår av avsnitt 5.3.2 5.3.3.5.3 och 5.3.3.7.3.
- Handlingar som sänds till den kontrollerande enheten ska levereras enligt "Digital projekthanteringsplan, Ostlänken".
- Konstruktionsredovisning ska registreras och kopplas samt uppgifter registreras i Trafikverkets digitala register över broar och tunnlar, BaTMan enligt avsnitt 5.3.4.
Märkning enligt avsnitt 5.3.3.9 ska vara utförd innan konstruktionsredovisningen registreras och kopplas i BaTMan.

Arbeten får enbart utföras på märkta arbetshandlingar.

Ritningar, beräkningar och kontrollplan för bärande formställning ska redovisas för beställaren innan arbeten med bärande formställning påbörjas.

Erforderliga bygghandlingar ska dimensioneras och upprättas för eventuella tillfälliga konstruktioner som krävs under entreprenadtiden. Exempel på dessa är tillfällig spont, tillfällig stödkonstruktioner och temporära erosionsskydd e.d.

XC. Bygghandling/Grundläggning

Det ska redovisas hur krav på packning av fyllning mot bro ska uppfyllas.

XD. Slutdokumentation

XD2. Relationshandling

Relationshandling ska överensstämma med verkligt utförande och funktion samt ska redovisa anläggningen i sin helhet.

Relationshandling för anläggning ska dokumentera lägen, dimensioner, använda material, uppmätta funktionella egenskaper, utföranden och kontroller, med beräkningar, ritningar och beskrivningar.

Avsteg, kompletteringar eller andra förändringar av bygghandling ska dokumenteras.

Markyta utanför anläggning där höjdförhållande har förändrats i entreprenaden ska mätas in och ingå i markmodell.

För samtliga arbeten, d.v.s. material, vara, utförande och kontroll och som omfattas av AMA ska beskrivningar uppdateras med koder och rubriker enligt AMA.

Protokoll, intyg från provning, produktverifikationer, mätningar samt varudeklarationer ska ingå i relationshandlingarna.

Protokoll från förberedande besiktning/slutkontroll ska ingå i relationshandlingarna.

Relationshandlingar för konstruktioner som omfattas av "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" ska redovisas enligt Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav".

Relationshandlingar för konstruktioner som omfattas av "Krav Bro och broliknande konstruktion, Brounderhåll" ska redovisas enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Brounderhåll".

Relationshandlingar ska vara förtecknade samt daterade och signerade av entreprenören.

Relationshandlingar ska vara kontrollerade och godkända av beställaren. Tid för beställarens kontroll enligt överenskommen projekttidplan.

Digital projekthantering

Krav i "Digital projekthanteringsplan, Ostlänken", "Instruktion delning och leverans av produktdokument, Ostlänken" TDOK 2023:0080 och "Instruktion namnkonvention och metadata, Ostlänken" TDOK 2023:0106 gäller.

Metadata ska uppdateras till relationshandling med gällande datum.

Fält med metadata för granskningsstatus ska levereras utan text när handlingen är leveranskontrollerad och mottagen av beställaren.

Tidigare revideringar så som revideringsmoln, revideringsbeteckning o.s.v. tas bort.

XD2. Relationshandling/Bro

Relationshandlingar enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion" ska registreras och kopplas i BaTMan.

En ifylld "Slutrapport bro" ska ingå i relationshandlingarna.

Materialförteckning enligt TDOK 2012:22 samt kemikalieförteckning enligt TDOK 2010:310, över material och varor som har byggts in i anläggningen, ska ingå i relationshandlingarna tillsammans med produktvalsanalys, riskanalys och farobedömningar.

Följande dokumentation ska redovisas årsvis för levererade mängder bearbetad armering:

- verifikat inklusive utlåtande från Trafikverkets granskningsfunktion som anger att verifikatet är giltigt
- följesedlar för levererade mängder i ton för varje enskild produkt och leverantör
- sammanställning av levererade mängder armering i ton

Följande dokumentation ska redovisas för levererade mängder betong för respektive utförandeår:

- verifikat för levererad typ av betong inklusive utlåtande från Trafikverkets granskningsfunktion som anger att verifikatet är giltigt
- följesedlar för levererade mängder betong per kubikmeter per produkt och leverantör;
- sammanställning av levererade mängder betong i kubikmeter per typ betong.

Skapat av

Dokumentdatum

Följande dokumentation ska redovisas för levererade mängder asfaltmassa för respektive utförandeår:

- verifikat för levererad typ av asfaltmassa inklusive utlåtande från Trafikverkets granskningsfunktion som anger att verifikatet är giltigt
- viktsedlar för levererade mängder asfaltmassa per ton per produkt och leverantör
- sammanställning av levererade mängder asfaltmassa i ton per typ asfaltmassa.

Följande dokumentation ska redovisas för levererade mängder broräcke för respektive utförandeår:

- verifikat för levererad typ av räcke inklusive utlåtande från Trafikverkets granskningsfunktion som anger att verifikatet är giltigt
- följesedlar för levererade mängder räcke per kg för varje enskild produkt och leverantör
- sammanställning av levererade mängder räcke i kg

Relationshandlingar ska uppfylla krav enligt AMA Anläggning, YJE.12.

Mätprotokollen avseende inmätning av avvägningsdubbar ska utöver mätresultaten innehålla datum för mätningen, lufttemperatur vid mätningen, mätmetod samt uppgift om vilken fixpunkt som använts. Inmätningen ska utföras enligt AMA Anläggning, BJB.221.

Alla handlingar som ingår i konstruktionsredovisningen enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav" ska efter utförda åtgärder registreras och kopplas i BaTMan enligt krav i "Data och dokumentation till förvaltande system – Väg" TDOK 2019:0210. I detta skede ska handlingarna ha status "Relationshandling" och vara i filformat PDF/A.

Förteckning över åberopade kravdokument.

Förteckningen innehåller åberopade kravdokument.

Lista A. Gemensamma krav, X. Dokumentation och gemensamma kravdokument.

Benämning i TB	Dokument-id	Titel
AMA Anläggning		AMA Anläggning 23
SIS Bygghandlingar		SIS Bygghandlingar
”Krav Geodetiska mättningsarbeten och geografisk lägesbestämning”	TDOK 2014:0571	Geodetiska mättningsarbeten och geografisk lägesbestämning –Väg och järnväg, version 5.0
”MB 310”	TDOK 2014:0051	Avvattningsteknisk dimensionering och utformning - MB 310, version 3.0
”Krav Avvattning, Dimensionering och utformning ”	TRVINFRA-00231	Krav Avvattning, Dimensionering och utformning, version 3.0
”Publikation Yt- och grundvattenskydd”	Publikation 2020:171	Yt- och grundvattenskydd – metodik för riskhantering och riskanalys samt principer för åtgärdsval
SIS-TS 21144:2016		Teknisk specifikation SIS-TS 21144:2013 Byggmätning - Specifikationer vid framställning och kontroll av digitala markmodeller
”Digital projekthanteringsplan, Ostlänken”		Version 2.0

Skapat av

Dokumentdatum

Benämning i TB	Dokument-id	Titel
"Instruktion delning och leverans av produktdokument, Ostlänken"	TDOK2023:0080	Version 1.0
"Instruktion namnkonvention och metadata, Ostlänken"	TDOK2023:0106	Version 1.0
"Digital projekthantering"	TDOK 2012:35	Digital projekthantering, version 8.0
"Namnrutor på ritningar – Järnväg"	TDOK 2019:0213	Namnrutor på ritningar – Järnväg, version 12.0
"Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav"	TRVINFRA-00226	Krav Bro och broliknande konstruktion, Allmänna krav, version 4.0
"Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande"	TRVINFRA-00227	Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande, version 4.0
"Krav Bro och broliknande konstruktion, Brounderhåll"	TRVINFRA-00228	Krav Bro och broliknande konstruktion, Brounderhåll, version 5.0
"Bro och broliknande konstruktion, Bärighetsberäkning"	TRVINFRA-00331	Bro och broliknande konstruktion, Bärighetsberäkning, version 2.0
"Krav Geokonstruktion, administrativa regler"	TRVINFRA-00229	Krav Geokonstruktion, administrativa regler, version 2.0
"Krav Geokonstruktion, dimensionering och utformning"	TRVINFRA-00230	Krav Geokonstruktion, dimensionering och utformning, version 2.0
"Krav – VGU"	Publikation 2022:001	Krav – VGU, Vägars och gators utformning

Skapat av

Dokumentdatum

Benämning i TB	Dokument-id	Titel
"Överbyggnad väg, Dimensionering och utformning"	TRVINFRA-00224	Överbyggnad väg, Dimensionering och utformning version 3.0
"Elsäkerhetsföreskrifter för arbete på eller nära järnvägsanknutna högspännings- och tågvärmeanläggningar"	TDOK 2015:0223	Elsäkerhetsföreskrifter för arbete på eller nära järnvägsanknutna högspännings- och tågvärmeanläggningar, version 6.0
"TRV AMA Anläggning"	TDOK 2023:0125	Trafikverkets ändringar och tillägg till AMA Anläggning 23, version 3.0
"TRV AMA El"	TDOK 2022:0324	Trafikverkets ändringar och tillägg till AMA El 22, version 4.0
"SGF Rapport 2:2013"		Fälthandbok Undersökningar av förorenade områden (SGF Rapport 2:2013)
"Objektorienterad Informationsmodell"	TDOK 2015:0181	Objektorienterad Informationsmodell version 4.0
"Data och dokumentation till förvaltande system – Väg"	TDOK 2019:0210	Data och dokumentation till förvaltande system – Väg, version 13.0
"Transportstyrelsens författarsamling"	TSFS 2018:57	Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder
"Material och varor – krav och kriterier avseende innehåll av farliga ämnen"	TDOK 2012:22	Material och varor – krav och kriterier avseende innehåll av farliga ämnen
"Kemiska produkter – granskningskriterier och krav för Trafikverket"	TDOK 2010:310	Kemiska produkter – granskningskriterier och krav för Trafikverket

Skapat av

Dokumentdatum

Dokumentegenskaper, Ärendenummer TRV 2023/41026, Skapat av H. Jumppanen, Dokumentdatum 2025-09-30, Dokumenttyp BLANKETT, Konfidentialitetsnivå [Konfidentialitetsnivå].

Ovanstående textfält är endast avsett att läsas digitalt och får ej tas bort. Det innehåller uppgifter från sidhuvudet och gör att dokumentets egenskaper blir tillgängliga enligt Lag (2018:1937) om tillgänglighet till digital offentlig service.