



CHALMERS



Förstudie och preliminär dimensionering av bro över E4 vid Böksjö

Kandidatarbete ACEx11 Grupp 51

Kandidatarbete inom högskoleprogrammet TKSAM

Stina Ejeson
Oscar Engström
Axel Holmquist
Harry Roth
Olle Samuelsson
Jennie Svensson

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2026

www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2026

Förstudie och preliminär dimensionering av bro över E4 vid Böksjö

Stina Ejeson
Oscar Engström
Axel Holmquist
Harry Roth
Olle Samuelsson
Jennie Svensson



CHALMERS

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2026

Förstudie och preliminär dimensionering av bro över E4 vid Böksjö
Stina Ejeson, Oscar Engström, Axel Holmquist, Harry Roth, Olle Samuelsson, Jennie
Svensson

© Stina Ejeson, Oscar Engström, Axel Holmquist, Harry Roth, Olle Samuelsson,
Jennie Svensson, 2026.

Handledare:

Mozhdeh Amani, Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Staffan Lindén, COWI

Marcus Davidson, COWI

Examensarbete 2026

Samhällsbyggnadsteknik

Brogrupp 51 Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Skriven i L^AT_EX

Printed by Chalmers Reproservice

Göteborg 2026

Förstudie och preliminär dimensionering av bro över E4 vid Böksjö

Stina Ejeson, Oscar Engström, Axel Holmquist, Harry Roth, Olle Samuelsson och Jennie Svensson

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Vid Böksjö, som är beläget utanför Kolmården, ska en befintlig väg dras om till följd av det nya järnvägsprojektet Ostlänken. I samband med detta finns ett behov av två nya broar, en över E4:an och en över den nya järnvägen. Syftet med arbetet är att ta fram ett konceptförslag som uppfyller de krav och förutsättningar från de tekniska beskrivningarna, för den bro som sträcker sig över E4:an.

Arbetet delades upp i två delar. I första delen togs det fram krav och förutsättningar för projektet från de tekniska beskrivningarna, samt gjordes en litteraturstudie. I litteraturstudien sammanställdes information om olika byggnadsmaterial, samt olika brotyper. Utifrån den framtagna informationen gjordes ett första urval där de olika brotyperna med tillhörande materialval utvärderades utifrån spännvidd, livslängd och antal spann. Efter första urvalet gjordes en konceptutveckling och utifrån det kunde ett sista urval göras för att få fram det mest lämpliga brokonceptet. Slutresultatet blev en samverkansbro i stål och betong.

Den andra delen av arbetet fokuserade på att ta fram en preliminär dimensionering av det framtagna brokonceptet, samt bestämmande av bronns detaljutformning. Detaljutformningen togs fram med hjälp av information från tidigare litteraturstudier. Dimensioneringen utfördes i både tvärled och längdled, och kontrollerades i brottgränstillstånd och brukgränstillstånd. Analysen begränsades till vertikala laster bestående av egentyngd och trafiklast. Dimensioneringen genomfördes för att säkerställa att bron uppfyllde gällande krav avseende bärförmåga och deformationer.

Det framtagna konceptet är en samverkansbro i stål och betong med en spännvidd på 39,1 m. Dimensioneringen visar på att det framtagna brokonceptet uppfyller kraven på spännvidd, fri höjd och funktion.

Nyckelord: Brokoncept, Dimensionering, Konstruktion, Infrastruktur, Ostlänken, Samverkansbro, Stål, Betong

Preliminary study and structural design of a bridge over the E4 at Böksjö

Stina Ejeson, Oscar Engström, Axel Holmquist, Harry Roth, Olle Samuelsson och Jennie Svensson

Department of Architecture and Civil Engineering
Chalmers University of Technology

Abstract

At Böksjö, located outside Kolmården, an existing road will be rerouted as a result of the new railway project Ostlänken. Following this, there is a need for two new bridges, one crossing the E4 highway and one crossing the new railway. The purpose of this study is to develop a conceptual bridge proposal that fulfills the requirements and conditions stated in the technical specifications for the bridge that spans the E4 highway.

The work was divided into two parts. In the first part, project requirements and conditions were identified from the technical specifications, and a literature study was conducted. The literature study compiled information regarding different construction materials and bridge types. Based on the collected information, an initial selection was made where the different types of bridges with associated material choices were evaluated based on span, lifespan and number of spans. Following the initial selection, a concept development process was performed and based on that, a final selection was made to determine the most suitable bridge concept. The final result was a composite bridge consisting of steel and concrete.

The second part of the study focused on developing a preliminary design of the selected bridge concept, as well as determining the detailed design of the bridge. The detailed design was developed using information obtained from the literature study. The design was carried out in both the transverse and longitudinal directions and verified in both the ultimate limit state and the serviceability limit state. The analysis was limited to vertical loads consisting of dead loads and traffic loads. The design was performed to ensure that the bridge fulfilled the applicable requirements regarding load-bearing capacity and deformations.

The developed concept is a steel–concrete composite bridge with a span length of 39.1 m. The preliminary design demonstrates that the proposed bridge concept fulfills the requirements regarding span length, clearance height, and functionality.

Keywords: Bridge concept, Structural design, Construction, Infrastructure, Ostlänken, Composite bridge, Steel, Concrete

Förord

Detta kandidatarbete har genomförts vid Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola inom civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik under våren 2026. Arbetet behandlar en förstudie och preliminär dimensionering av en bro över E4 vid Böksjö.

Under arbetets gång har vi fått stöd och vägledning från flera personer som vi vill rikta ett stort tack till. Vi vill särskilt tacka våra handledare Mozhdeh Amani vid Chalmers tekniska högskola samt Marcus Davidsson, Victor Manuel Rios Villalba, Mattias Öst och Staffan Lindén från COWI för deras vägledning, engagemang och stöd genom projektet.

Vi vill även tacka examinator Carlos Gil Berrocal för givande återkoppling samt alla de föreläsare som bidragit under arbetets gång. Ett extra tack riktas också till Jarkko Nordlund och Tabita Nilsson från A-verkstaden för all hjälp och stöd vid modellbygget.

Göteborg, maj 2026
Stina Ejeson
Oscar Engström
Axel Holmquist
Harry Roth
Olle Samuelsson
Jennie Svensson

Ordlista

Nedan är en lista på ord som använd i texten och dess beskrivning:

Lådbalk	Balk med ihåligt tvärsnitt som ger hög vridstyvhet och används ofta i större brokonstruktioner.
Pylon	Vertikal bärande konstruktion som bär upp kablarna i snedkabelbroar och hängbroar.
Landfäste	Konstruktion vid broändarna som överför laster från bron till marken.
Spännarmerad betong	Betong där armeringen förspänns för att minska dragspänningar och sprickbildning.
Slakarmerad betong	Betong med armering utan förspänning.
Studs / svetsbult	Ståldetalj som svetsas fast för att överföra skjuvkrafter mellan stål och betong i samverkanskonstruktioner.
Karbonatisering	Kemisk process där koldioxid tränger in i betongen, vilket kan orsaka korrosion på armeringen.
Krypning	Tidsberoende deformation i material under långvarig belastning.
Krympning	Volymminskning i betong till följd av uttorkning och kemiska processer.
Utmattning	Successiv skada i material orsakad av upprepade belastningar.
Restspänningar	Spänningar som finns kvar i ett material efter tillverkning eller bearbetning.
Anisotropt material	Material vars egenskaper varierar beroende på riktning.
Lansering	Byggmetod där broöverbyggnaden skjuts ut stegvis från ena sidan.

Prefabricerad	Byggdel som förtillverkas i fabrik och sedan monteras på byggplatsen.
LCA	Livscykelanalys – metod för att analysera miljöpåverkan under en produkts hela livslängd.
LCC	Livscykelkostnad – analys av en konstruktions totala kostnader under hela dess livslängd.

Innehåll

Akronymer	x
Figurer	xvii
Tabeller	xix
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Problemformulering	1
1.4 Mål	2
1.5 Avgränsningar	2
1.6 Metod	2
2 Krav och förutsättningar	5
2.1 Krav och mått	5
2.2 Estetik och utformning	6
2.3 Geografiska och geotekniska krav	6
2.4 Samhälleliga och etiska aspekter	7
2.5 Kulturarv	7
3 Litteraturstudie	9
3.1 Material	9
3.1.1 Trä	9
3.1.1.1 Trä som konstruktionsmaterial	9
3.1.1.2 Träbroar	10
3.1.2 Stål	10
3.1.2.1 Stål som konstruktionsmaterial	10
3.1.2.2 Stålbroad	10
3.1.3 Betong	11
3.1.3.1 Betong som konstruktionsmaterial	11
3.1.3.2 Betongbroar	12
3.2 Brotyper	12
3.2.1 Balkverkan	12
3.2.1.1 Balkbroar	12
3.2.1.2 Plattbroar	13
3.2.2 Ramverkan	13

3.2.2.1	Plattrambro	13
3.2.2.2	Balkrambro	14
3.2.3	Fackverkan	14
3.2.3.1	Fackverksbro	14
3.2.3.2	Spännverksbro/Hängverksbro	14
3.2.4	Linverkan	15
3.2.4.1	Snedkabelbro	15
3.2.4.2	Hängbro	15
3.2.5	Materialsamverkan	15
3.2.5.1	Samverkansbro; stålbalkar med betongplatta	16
3.2.6	Bågverkan	16
3.2.6.1	Bågbro	16
3.2.6.2	Valvbro	16
4	Urval 1 - Konzeptutvärdering	17
4.1	Första urval	17
4.2	Valda och bortvalda brokoncept	17
5	Konzeptutveckling	19
5.1	Koncept 1 - Balkbro i betong	19
5.1.1	Beställare/konstruktion	19
5.1.2	Produktion	20
5.1.3	Underhåll	20
5.1.4	Designval	21
5.2	Koncept 2 - Fackverksbro stål	21
5.2.1	Beställare/konstruktion	21
5.2.2	Produktion	22
5.2.3	Underhåll	22
5.2.4	Designval	22
5.3	Koncept 3 - Samverkansbro stål/betong	23
5.3.1	Beställare/konstruktion	23
5.3.2	Produktion	24
5.3.3	Underhåll	24
5.3.4	Designval	24
5.4	Koncept 4 - Balkrambro i betong	25
5.4.1	Beställare/konstruktion	25
5.4.2	Produktion	25
5.4.3	Underhåll	26
5.4.4	Designval	26
5.5	Koncept 5 - Plattbro i betong	26
5.5.1	Beställare/konstruktion	26
5.5.2	Produktion	27
5.5.3	Underhåll	27
5.5.4	Designval	27
6	Urval 2 - konceptutvärdering	29
6.1	Utvärderingskriterier	29

6.2	Viktning av utvärderingskriterier	29
6.3	Slutgiltigt urval	30
7	Framtaget brokoncept	33
7.1	Designval	33
7.1.1	Bärande system	33
7.1.2	Landfästen och upplag	33
7.1.3	Grundläggning	34
7.1.4	Farbana	34
7.1.5	Kantbalkar och räcken	34
7.1.6	Lager	34
7.1.7	Övergångskonstruktion	35
7.2	Produktionsplan	35
7.3	Inspektion- och underhållsplan	35
8	Dimensionering	37
8.1	Laster och beräkningsmodell	37
8.2	Preliminär dimensionering	38
8.2.1	Tvärled	38
8.2.1.1	Slutgiltigt tvärsnitt	38
8.2.1.2	Kontroller i SLS	39
8.2.1.3	Kontroller i ULS	39
8.2.2	Längdled	39
8.2.2.1	Slutgiltigt tvärsnitt	39
8.2.2.2	Kontroller i ULS	41
8.2.2.3	Kontroller i SLS	41
8.2.3	Detaljer	42
8.2.3.1	Svetsbultar	42
8.2.3.2	Svetsar	42
8.2.3.3	Lager	42
9	Diskussion	43
10	Slutsats	45
	Bibliography	47
	Appendix A – Beräkningar	V
	Appendix B – MATLAB-skript	LXX
	Appendix C – Teknisk beskrivning	CLIX
	Appendix D – Ritningar	CCXI

Figurer

2.1	Illustration av brostödens möjliga lägen	5
2.2	Skiss av jordlagerföljd under befintlig markyta	7
3.1	Illustration av balkverkan	12
3.2	Illustration av ramverkan	13
3.3	Illustration av fackverkan	14
3.4	Illustration av linverkan	15
3.5	Illustration av bågverkan	16
4.1	Urvalsmall för konceptutvärdering	17
5.1	Skiss av betongbalkbro i två spann, ej skalenlig	21
5.2	Skiss av fackverksbro i ett spann, ej skalenlig	22
5.3	Genomskuren skiss av en samverkansbro i ett spann, ej skalenlig .	25
5.4	Skiss av rambalkbro i ett spann, ej skalenlig	26
5.5	Genomskuren skiss av en plattbro i två spann, ej skalenlig	28
7.1	Skiss av upplag brostöd	33
7.2	Skiss av farbanans lager	34
7.3	Kantbalk med räcke	34
7.4	Skiss av frihetsgrader för alla lager	35
8.1	Systemmodell för beräkningar i tvärled	37
8.2	Systemmodell för beräkningar i längdled	38
8.3	Tvårsnitt över stöd, tvärled	38
8.4	Tvärnitt i fält, tvärled	39
8.5	Mått på upplagstvärsnittet i längdled	40
8.6	Mått på fälttvärsnittet i längdled	40
8.7	Mått på avstyvningar i längdled och konceptuell utformning i tvärled	41
8.8	Mått på svetsbultarna sett i tvärled	42
A.1.1	Lastkombination för max last över stöd	XI
A.1.2	Moment och tvärkraft kopplat till lastplaceringarna enligt figur A.1.1	XI
A.1.3	Lastkombination för max last i fält	XI
A.1.4	Moment och tvärkraft kopplat till lastplaceringarna enligt figur A.1.3	XII

A.1.5	Trafiklasternas placering vid bestämning av fördelningsfaktorerna för punktlaster och utbredda laster	XIII
A.2.1	Tvärnitt i fält, tvärled	XXIV
A.2.2	Tvärsnitt över stöd, tvärled	XXXIII
A.2.3	Vertikal deformation i brons tvärled då maximal last placerats över stöd enligt figur A.1.1	XL
A.2.4	Vertikal deformation i brons tvärled då maximal last placerats i fält enligt figur A.1.3	XLI
A.3.1	Lastplacering för maxmoment	XLIV
A.3.2	Lastplacering för maximal tvärkraft	XLIV
A.3.3	Plot av momentet i längdled över bron	XLIV
A.3.4	Plot av tvärkrafterna i längdled över bron	XLV
A.4.1	Illustration och måttförteckning över upplagstvårsnittet	XLIX
A.4.2	Illustration och måttförteckning över fälttvårsnittet	XLIX
A.4.3	Vertikala deformationen i brons längdled. Den blå-streckade linjen motsvarar nedböjningen från enbart trafiken i den frekventa lastkombinationen.	LXIII
A.4.4	Valda mått på svetsbultarna, sett i tvärled	LXIV
D.0.1	Ritning 1	CCIX
D.0.2	Ritning 2	CCX

Tabeller

6.1	Viktning av utvärderingskriterier	30
6.2	Poängsättning och rangordning av brokoncept	30
A.1.1	Sammanställning av partialkoefficienter och kombinationsfaktorer från SS-EN 1990 samt TSFS:2018:57	X
A.1.2	Indata för trafiklaster enligt Lastmodell 1 (LM1).	X
A.1.3	Sammanställning av permanenta laster och materialvärden i tvärlädd. Utbredd last från kantbalk och räcken har omräknats till punktlaster	X
A.1.4	Dimensionerande snittkrafter i bruksgränstillstånd och brottgränstillstånd	XII
A.2.1	Beräknade vertikala deformationer vid frekvent trafiklast jämfört med gränsvärden enligt TRVINFRA-00227	XL
A.3.1	Egentyngder per balk för beräkningar i brons längdled.	XLIII
A.3.2	Sammanställning av dimensionerande snittkrafter	XLV
A.4.1	Kontroll av tvärsnittsklass	LIV
A.4.2	Utformning och kontroll av längdarmering i betongplatta	LVI
A.4.3	Spänningskontroll i bruksgränstillstånd för upplag och fält	LXII
A.4.4	Beräknad maximal vertikal deformation i längdled jämfört med gränsvärde enligt TRVINFRA-00227.	LXIII

1

Inledning

På uppdrag av Trafikverket ska en bro anläggas över E4:an vid Böksjö. Arbetet genomförs som en egen preliminär utformning och dimensionering avskild från det verkliga projektet.

1.1 Bakgrund

Den befintliga vägen vid Böksjö ska dras om i samband med projektet Ostlänken (V. M. Rios Villalba, personlig kommunikation, 5 mars 2026). Den nya vägen är belägen söder om den befintliga och inkluderar två nya broar, dels bron som behandlas i detta projekt och dels en bro över den nya järnvägen. Den nya sträckningen möjliggör att den befintliga vägen kan hållas i drift under byggnationen av den nya. Tillbyggnaden syftar främst till att säkerställa åtkomst för bygg- och servicefordon till servicetunnel och räddningsyta för Ostlänken.

Området där bron ligger är i övrigt glesbefolkat, vilket medför att trafikflödet över bron är begränsat. Under bron är trafikintensiteten däremot betydande då E4:an som bron ska gå över är en vältrafikerad europaväg.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att presentera ett ändamålsenligt konceptförslag till den tilltänkta bron som ska löpa över E4:an vid Böksjö nordost om Norrköping. Brons utformning ska beskrivas och en preliminär dimensionering ska utföras.

1.3 Problemformulering

Arbetet behandlar frågeställningen kring hur en bro vid den aktuella platsen bör utformas och dimensioneras för att på ett ändamålsenligt sätt uppfylla de krav som ställs på konstruktionen. Utformningen styrs av en sammanvägning av Trafikverkets tekniska krav, platsens specifika förutsättningar och hänsyn till samhällsekonomi och miljö.

1.4 Mål

Målet med arbetet är att framställa en konceptuell utformning och preliminär dimensionering av en bro som uppfyller ställda krav vid trafikplats Böksjö. För att uppnå detta delas arbetet upp i två huvudmoment:

- Att genom en systematisk konceptutvärdering jämföra olika brokoncept för att, utifrån platsens specifika krav och förutsättningar, fastställa ett slutgiltigt förslag.
- Att vidareutveckla det valda konceptet genom att beskriva bronns utformning och detaljer, samt preliminärt dimensionera bron genom verifiering av bärförmågan för kritiska element i enlighet med gällande normer och standarder.

1.5 Avgränsningar

För att anpassa arbetet utifrån rimlig omfattning görs vissa avgränsningar, vilket leder till att somliga aspekter ej studeras. Avgränsningarna som görs är:

- Grundläggning och geotekniska lösningar beskrivs endast kortfattat.
- Dimensioneringen avgränsas till bronns överbyggnad. Beräkningar av underbyggnad såsom landfästen och pelare samt grundläggning ingår ej.
- Detaljerade LCA- och LCC-analyser genomförs inte, utan miljö- och kostnadsaspekter behandlas endast på en översiktlig nivå.
- Materialval avgränsas till de tre konventionella konstruktionsmaterialen betong, stål och trä.
- Arbetet omfattar endast brokonstruktionen medan utformning av anslutande vägar avgränsas helt.

1.6 Metod

Bron planeras och dimensioneras i en iterativ systematisk process. Arbetet understöds av föreläsningar samt hjälp av handledare. Processen planeras i en tidplan, som kan kommas att redigeras under arbetets gång.

Arbetet inleds genom en bred litteraturstudie med syfte att skapa en teoretisk grund för olika brotyper och de material som huvudsakligen används inom brobyggnad. Informationssökningen genomförs i relevant facklitteratur, vägledande dokument från Trafikverket, branschspecifika dokument och vetenskapliga databaser.

Valda koncept jämförs systematiskt i en utvärderingsmatris där de olika alternativen betygsätts utifrån valda utvärderingskriterier. Kriterierna viktas utifrån det specifika fallets förutsättningar, samt författarnas preferenser. Denna process kan vara iterativ, och det är inte säkert att alternativet med högst poäng är det som väljs, då matrisen ses som vägledande snarare än ett facit. Ytterligare beslutsunderlag är generell rimlighetsbedömning och osäkerheter som matrisen eventuellt inte fångar upp.

Bron dimensioneras genom grundläggande brott- och bruksgränsberäkningar med hjälp av handberäkningar och datorprogram. Kontroll av bärförmåga och deformationer görs i de mest kritiska snitten. Kontrollberäkningar görs även av vissa kritiska detaljer och kopplingar. Resultaten jämförs med riktlinjer och krav från bland annat Trafikverket och Eurocode för att säkerställa att dessa klaras. Materialåtgång och dimensioner jämförs med liknande konstruerade brotyper som en extra rimlighetskontroll. Resultaten återkopplas till problemställningen och de utsatta målen.

AI används i begränsad utsträckning under arbetets gång. De främsta användningsområdena är som bollplank vid textformulering och informationsinhämtning.

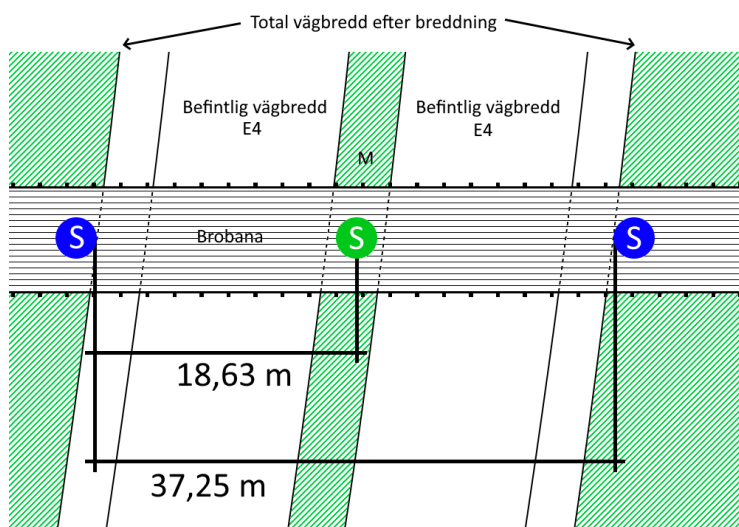
2

Krav och förutsättningar

I följande kapitel sammanställs och presenteras förutsättningar och specifika krav för den planerade bron.

2.1 Krav och mått

Från de givna ritningarna och den tekniska beskrivningen ges vissa krav på bron, mått och dimensionering (se appendix C). Brobanan ska ge plats för ett körfält i vardera riktning där bredden av varje fält ska vara 3.5m. Den fria brobredden ska vara 7.15m. Bron ska byggas så att det finns möjlighet för eventuell breddning av E4:an i framtiden. Den totala bredden av E4:an efter breddning som bron ska ge utrymme för är 34.25m. Detta innebär ett totalt brospann på minst 37.25m, då vägräcke med 1.5 meters arbetsbredd adderas på båda sidorna av vägen. Detta totala brospann kan antingen genomföras i ett stort spann eller i två mindre lika stora spann med mittstöd (se figur 2.1). Brons lutning är 4.08 procent i brobanans längdled och 2.5 procent i brobanans tvärled. Den fria höjden ska vara över 5.1m. Bron ska byggas enligt trafikverkets regelverk.



Figur 2.1: Illustration av brostödens möjliga lägen

Alternativ 1: Blå-blå. Alternativ 2: Blå-grön-blå.

Brokonstruktionen ska byggas för en livslängd på 120 år, och brolager ska byggas för en livslängd på minst 50 år (se appendix C).

Beläggningsuppbyggnaden ska ha en total tjocklek på 110 mm, tätskikt inkluderat (se appendix C). Tätskiktsmattan ska vara minst 5 mm och skyddslager ska ha minst 25 mm tät astfaltsbetong ABT8.

Bron ska byggas, så länge inget annat anges, på ett sätt som inte påverkar omgivande miljö och dess funktioner (se appendix C). Detta gäller både under brons uppbyggnad och dess brukstid.

Vägen över bron är av typen enskild väg med en hastighetsgräns på 30 km/h (se appendix C). Den beräknade årsmedeldygnstrafiken är ca 35 fordon, varav 4 fordon beräknas vara tung trafik. Under vintertid kommer vägbanan saltas och 63 procent av trafikandelen antas använda dubbdäck (1 oktober-15 april).

2.2 Estetik och utformning

Den planerade bron ska uppföras över E4 utan någon större närliggande bebyggelse. Placeringen innebär att bron inte kommer vara en del av ett stadsrum vilket minskar de visuella kraven på konstruktionens utformning. Däremot kommer ett stort antal trafikanter att passera under bron vilket medför högre krav på undersidans design. Den bör passa in i sin omgivning på ett harmoniskt sätt och lämna god sikt åt trafikanterna på motorvägen. Ytbehandling som minskar klotter och smuts är en viktig aspekt för att bibehålla det visuella intrycket över tid.

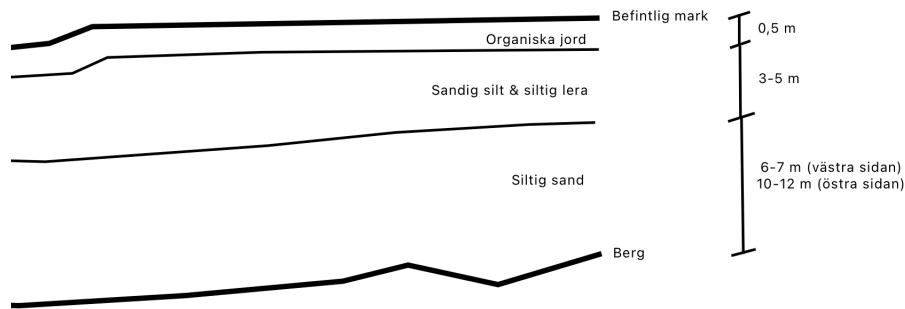
Den låga trafikmängden i kombination med placeringen innebär att fokus huvudsakligen ligger på en material- och kostnadseffektiv lösning, där gestaltningen är mer funktionellt motiverad.

2.3 Geografiska och geotekniska krav

Böksjö är beläget i Östergötlands län, nordost om Norrköping (Naturvårdsenheten, naturskyddsfunktionen, 2018). Området domineras av barrskog och innehåller en betydande andel myrmark av varierande typ.

Under den befintliga markytan där bron ska placeras hittar man berg på ungefär 10–11,5 meters djup på den västra sidan, samt på ungefär 14,5 meters djup på den östra sidan (se figur 2.2) (se appendix C). Jordlagren består till stor del av sand och silt, men även lera samt organisk jord i form av mulljord med viss del av sand och silt. Den organiska jorden har en mäktighet på ca 0,5 meter, den sandiga silten samt den siltiga leran har en mäktighet på mellan 3-5 meter och den siltiga sanden har en mäktighet på mellan 6-7 meter på den västra sidan och 10-12 meter på den

östra sidan. Friktionsjorden är blockig och har påträffats med flertal block på upp till 1,5 meter.



Figur 2.2: Skiss av jordlagerföljd under befintlig markyta

För att stärka marken finns geotekniska krav att pålning ska användas för brostöden samt anslutande stödmurar (se appendix C). För att stärka marken vid vägbanan utöver bron ska massutskiftning användas. Vid bortledning av grundvatten är den lägsta tillåtna nivån +66 meter.

2.4 Samhälleliga och etiska aspekter

En viktig etisk aspekt är säkerheten, inte bara när bron är klar utan även under byggskedet. På arbetsplatsen är det viktigt med en god arbetsmiljö som är säker och tillhandahåller rimliga arbetsvillkor för personalen. Bron är ämnad för ett område med ett mindre befolkningsunderlag vilket gör kostnadseffektivitet till en av de viktigaste aspekterna att ta hänsyn till då användningen kommer vara relativt låg. Under byggskedet är störningar på den underliggande motorvägen en betydande samhällsfråga. Eventuella trafikbegränsningar medför direkta samhällsekonomiska kostnader till följd av förseningar, vilket ställer höga krav på en välplanerad produktion.

Ur ett miljö- och hållbarhetsperspektiv bör hänsyn tas till materialval, mängder och brons livslängd. Under byggtiden kommer lokalbefolkningen påverkas av buller, vibrationer och andra störningar vilket är effekter som bör tas hänsyn till.

2.5 Kulturarv

Kolmårdsbranten i Norrköpings kommun har länge varit av stort intresse inom svensk stenåldersarkeologi, med flera kända boplatser från yngre stenåldern, cir-

ka 3700-6000 år sedan (Folkbladet, 2024). I samband med planeringen av Ostlänken har ytterligare arkeologiska fynd identifierats genom utredningar i områden ovanför branterna i närheten av Böksjön (Folkbladet, 2024). Fynden visar att området varit befolkat sedan äldre stenåldern, med dateringar på upp till cirka 9000 år (Folkbladet, 2024; Trafikverket, 2024a). Dessa fynd är viktiga för förståelsen av områdets historiska användning och utgör betydande kulturhistoriska värden (Folkbladet, 2024; Trafikverket, 2024b).

Med anledning av detta planeras arkeologiska undersökningar för dokumentation och hantering av eventuella fornlämningar innan byggnation av den planerade infrastrukturen kan genomföras (Trafikverket, 2024b).

3

Litteraturstudie

I följande kapitel studeras olika konstruktionsmaterial och brotyper för att skapa en bred teoretisk grund för val av slutgiltigt brokoncept. Studien avgränsas till broar i trä, stål och betong samt till brotyper som bedömts vara relevanta för det studerade fallet och projektets förutsättningar. Brotyper såsom rörbroar, öppningsbara broar och pontonbroar inkluderas därför inte i litteraturstudien eller den fortsatta urvalsprocessen, då dessa inte bedömts vara realistiska alternativ.

3.1 Material

I detta avsnitt behandlas olika materialval.

3.1.1 Trä

I detta avsnitt behandlas materialet trä och dess egenskaper som konstruktionsmaterial.

3.1.1.1 Trä som konstruktionsmaterial

Trä är ett lätt material med hög hållfasthet i förhållande till sin låga vikt, vilket gör det särskilt intressant som konstruktionsmaterial (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T1). Jämfört med stål och betong är det dessutom lättare att transportera och arbeta med. Förutom massivt konstruktionsvirke används även limträ och korslimmat trä (KL-trä) som vanliga alternativ (Burström, 2021, s. 460). KL-trä består av flera lager lameller som limmas vinkelrätt mot varandra (Abed m. fl., 2022). Den korsvisa uppbyggnaden gör materialet styvare i båda riktningar och därmed formstabil, vilket möjliggör produktionen av stora bärande element. Dessa egenskaper gör KL-trä passande att använda i exempelvis brobanor (Svenskt Trä, u. å).

Limträ tillverkas genom att flera trälameller limmas ihop parallellt i fiberriktningen vilket ger materialet hög hållfasthet och styvhet (Abed m. fl., 2022). Metoden innebär också att limträ får mer homogena och förutsägbara egenskaper jämfört med konstruktionsvirke, då enskilda defekter i lamellerna kan sorteras bort eller fördelas på ett kontrollerat sätt. Limträelement prefabriceras och dimensionerna kan anpassas efter specifika behov i olika projekt. En viktig fördel med prefabricerade element är att det kan korta ner byggtiden och därmed minska trafikpåverkan vid exempelvis en brokonstruktion (Trafikverket, 2022).

3.1.1.2 Träbroar

När det gäller brokonstruktioner är träbroar vanliga för gång- och cykeltrafik, men de kan även utföras för vägtrafik (Svenskt Trä, 2019). En relativt vanlig konstruktionstyp är tvärspända plattbroar där flera limträbalkar spänns ihop till en massiv styv platta. För denna brotyp är den maximala spännvidden vanligtvis 20–25 meter, men bron kan byggas i flera spann (Trafikverket, 2022). En nackdel med träbroar är materialets känslighet mot fukt och biologisk nedbrytning och därför har dessa normalt inte längre livslängder än 80 år (M. Karlsson, personlig kommunikation, 10 februari 2026). Detta blir en avgörande faktor i materialvalet för en bro om den ska dimensioneras för längre livslängder som exempelvis 120 år.

3.1.2 Stål

I detta avsnitt behandlas materialet stål och dess egenskaper som konstruktionsmaterial.

3.1.2.1 Stål som konstruktionsmaterial

Stål har sedan andra hälften av 1800-talet varit ett av samhällets viktigaste konstruktionsmaterial och dagens tillverkning är både effektiv och kvalitetssäkrad (Al-Emrani m. fl., 2013; Tekniska museet, 2021). Materialet består huvudsakligen av järn som legeras med främst kol, men även ämnen som mangan och kisel kan förekomma (Burström, 2021).

Konstruktionsstål har hög hållfasthet i både drag och tryck samt hög styvhet, vilket möjliggör slanka konstruktioner med låg egenvikt jämfört med exempelvis betong och trä (Burström, 2021; M. Al-Emrani, personlig kommunikation, 30 januari 2026). Materialet har generellt ett segt brottbeteende där deformationer kan upptäckas innan brott sker, vilket beror på att materialet deformationshårdnar efter att flytgränsen uppnåtts (Al-Emrani m. fl., 2013). Vid låga temperaturer och åldrande ökar dock risken för spröda brott (Burström, 2021). Temperaturförändringar kan även orsaka spänningar till följd av stålets termiska utvidgning, samt temperaturer över cirka 500 °C leder till kraftigt reducerad hållfasthet vilket gör brand till en viktig aspekt att beakta (Al-Emrani m. fl., 2013).

Vanligaste orsaker till brott i stålkonstruktioner är dock utmattning och korrosion (M. Al-Emrani, personlig kommunikation, 30 januari 2026). Korrosionsrisken är särskilt viktig att beakta för konstruktioner som utsätts för aggressiva utomhusmiljöer och långa livslängder (Burström, 2021).

3.1.2.2 Stålbroad

Stål används ofta i brokonstruktioner eftersom materialet möjliggör förtillverkade element med hög kvalitet och snabb montering (Al-Emrani m. fl., 2013). Den höga hållfastheten i förhållande till egenvikten ger slanka konstruktionselement som underlättar transport, lyft och montage (Al-Emrani m. fl., 2013; M. Al-Emrani, person-

lig kommunikation, 30 januari 2026). Materialet ger även stor frihet vid dimensionering och formgivning, särskilt för svetsade broelement där tvärsnitt och geometri kan anpassas för att minska materialåtgången (M. Al-Emrani, personlig kommunikation, 30 januari 2026). Valsade profiler kan vara ett kostnadseffektivt alternativ men är mer begränsade vad gäller form och dimensioner, vilket gör dem mindre vanliga vid brokonstruktioner (Al-Emrani m. fl., 2013).

Vid utformning av stålbroar är korrosionsskydd och underhåll viktiga aspekter för att säkerställa lång livslängd (Burström, 2021). Brokonstruktionen bör därför utformas så att exempelvis vattenansamlingar minimeras och val av rostskydd anpassas efter förväntat underhållsbehov (M. Al-Emrani, personlig kommunikation, 30 januari 2026). Även brand, utmattning och stabilitetsproblem är viktiga faktorer att beakta vid dimensionering av stålbroar (Al-Emrani m. fl., 2013; M. Al-Emrani, personlig kommunikation, 30 januari 2026).

Ytterligare en nackdel med stål som konstruktionsmaterial för broar är den energikrävande tillverkningen och dess miljöpåverkan. Vid produktion av ett ton stål uppstår utsläpp på omkring 1,5–3 ton koldioxid (World Economic Forum, 2022). Dessutom är den initiala materialkostnaden ofta betydligt högre än för exempelvis betong (J. Lagerkvist, personlig kommunikation, 6 februari 2026).

3.1.3 Betong

I detta avsnitt behandlas materialet betong och dess egenskaper som konstruktionsmaterial.

3.1.3.1 Betong som konstruktionsmaterial

Betong är ett material med hög hållfasthet i tryckbelastning till skillnad från dess lägre hållfasthet i dragbelastning (KTH, 2021). Vid belastning av en betongkonstruktion bildas det dragpåkänningar vid böjning i underkant, vilket kan leda till sprickbildning (Al-Emrani m. fl., 2013). För att klara av högre dragbelastning och även sprickbildning, är det vanligt att gjuta in armering. Armering består oftast av stålstänger eller sammansvetsade stålstänger, som ett nät (KTH, 2021). Genom att anpassa vilken typ av armering och hur den placeras, går det att styra storleken på sprickbredden samt antalet sprickor (Al-Emrani m. fl., 2013). För att undvika sprickbildning helt eller delvis i brukstadiet går det att använda förspänd betong. Detta innebär att tryckkrafter införs i betongen vid gjutning.

Vid ingjutning av armeringsstänger finns det risk för korrosion (Al-Emrani m. fl., 2014). Korrosion uppstår om betongen karbonatiseras eller om korrosiva ämnen tränger igenom betongen och då reagerar med stängerna. För att undvika att korrosion uppstår, läggs ett täckande betongskikt som ett lager mellan armeringen och betongens yta. Betongens täthet samt storlek på sprickor vid eventuell sprickbildning är viktiga parametrar som påverkar risk för korrosion.

Betongens hållfasthet påverkas även av krympning och krypning (KTH, 2021). Krympning skapar inre spänningar i betongen, och ökar vid högre vattenhalt i och med större vattenavgång. Krypning påverkas vid långtidslast och innebär större nedböjningar.

3.1.3.2 Betongbroar

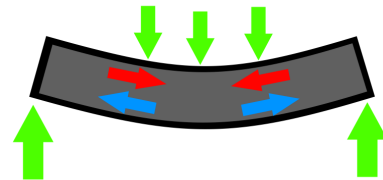
Betong är ett av de vanligaste byggmaterialen och används till många olika typer av konstruktioner, därmed även broar (Al-Emrani m. fl., 2013). För de flesta brotyper går det använda betong som konstruktionsmaterial, antingen som huvudmaterial för hela konstruktionen eller i kombination med andra material som exempelvis stål (Trafikverket, 2022). En fördel med betong är att det både går att prefabricera och platsgjuta, vilket ger möjlighet att välja den metod som passar bäst utifrån projektets förutsättningar (Al-Emrani m. fl., 2013). Dessutom är betong ett gjutbart material vilket ger möjligheten att skapa en mängd olika tvärsnitt. Betong är även ett byggmaterial som, jämfört med många andra, har en relativt låg kostnad och ett lågt energiinnehåll per ton. Samtidigt är det inte alltid det mest ekonomiska alternativet, vilket beror på flera aspekter som exempelvis materialmängd och transporter.

3.2 Brotyper

I detta avsnitt behandlas olika bärprinciper för broar och deras associerade brotyper.

3.2.1 Balkverkan

Balkbroar verkar genom balkverkan, vilket innebär att laster förs till brons upplag genom att balken motstår böjning (Plos; M. Amani, personlig kommunikation, 20 januari, 2026). Vid positivt böjmoment uppstår ett tryck i balkens ovankant och ett drag i underkant, eller det omvända vid negativt moment (se figur 3.1). Detta ställer krav på brons material gällande både drag- och tryckhållfasthet. Balkverkan är den bärande principen i flera olika brotyper.



Figur 3.1: Illustration av balkverkan

Gröna pilar: Last och reaktionskrafter. Röda/blåa pilar: Tryck- och dragspänningar.

3.2.1.1 Balkbroar

En balkbro är en brotyp där lasten bärs av längsgående balkar som utgör konstruktionens primärbärverk. Den vanligtvis överliggande vägbanan utgör sekundärbärverket som för ner egenvikt och trafiklast till balkarna. Balkbroar kan konstrueras av trä, armerad betong eller stål (Trafikverket, 2022, s. 32). Spännvidden av en balkbro kan variera beroende på material och konstruktion. Balkarna kan antingen vara helt fritt upplagda eller kontinuerliga över mittstöden. Stål- eller betongbalkbroar

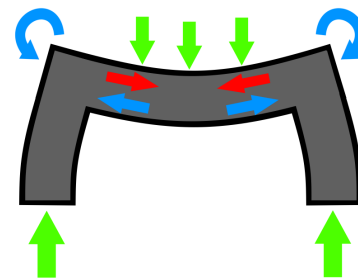
har vanligtvis en spännvidd på cirka 20 meter och uppåt (Trafikverket, 2022, s. 55). Balkbroar avsedda för vägtrafik kan användas för spännvidder upp till ca 200 meter om bron är byggd i spännarmerad betong, 25 meter i slakarmerad betong, 80 meter för stål och 30 meter för trä (Trafikverket, 2014, s. 21).

3.2.1.2 Plattbroar

Plattbroar är en brotyp där en bärande platta överför lasten direkt till upplagen. Plattbroar kan konstrueras antingen i trä eller armerad betong. (Trafikverket, 2022, s. 31). Konstruktionen är relativt enkel, men som följd av det tjocka och breda tvärsnittet som inte tenderar att variera med bredden på bron brukar egenvikten bli hög. Detta begränsar plattbroars lämplighet för längre spännvidder jämfört med andra brotyper. Likt en balkbro kan plattbroar antingen vara kontinuerliga eller fritt upplagda över mittstöden. Överbyggnaden består av en enda sammanhängande platta. Fritt upplagda plattbroar av betong i ett spann används vanligtvis vid spännvidder upp till cirka 20-25 m (Trafikverket, 2022, s. 52). För vägtrafik kan spännvidden uppnå 35 meter om spännarmerad betong används, för trä kan spännvidden bli upp till cirka 17 meter (Trafikverket, 2014, s. 16).

3.2.2 Ramverkan

Rambroar använder sig av ramverkan för att bära lasten. I dessa broar är överbyggnaden fast inspända i stöden (rambenen) vilket skapar momentstyva hörn (se figur 3.2). Dessa överför en del av momentet till stöden, vilket minskar momentet i mittspannet och möjliggör slankare konstruktioner. Broarna stabiliseras även av att vägbanken fylls upp mot rambenen, där det horisontella jordtrycket motverkar rörelser i brons längsriktning (Trafikverket, 2014).



Figur 3.2: Illustration av ramverkan

Gröna pilar: Last och reaktionskrafter. Röda/blåa pilar: Tryck- och dragspänningar, överfört moment.

3.2.2.1 Plattribro

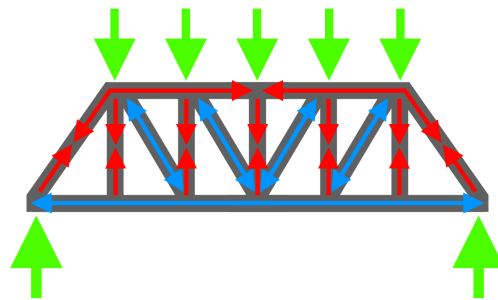
Den vanligaste typen av rambro är plattribron, vilket även är den vanligaste brotypen i Sverige (Trafikverket, 2014, s. 28). Plattribroar utformas vanligen i ett spann och är ofta ett ekonomiskt fördelaktigt val för spännvidder upp till cirka 20 meter (broprojekteringshandboken, s49). Spännarmering av plattan möjliggör spännvidder upp till cirka 35 meter. För spännvidder över cirka 10-12 meter görs plattan med fördel tjockare närmare stöden för att öka tvärkraftskapaciteten samt reducera momentet över plattans mitt. För att åstadkomma fast inspänning i stöden har armeringen kontinuitet runt hörnen (Trafikverket, 2014, s. 28). Plattan gjuts vanligen homogent på plats, men vid större spännvidder tillämpas ibland ursparningar i plattan för att minska materialåtgång och egentygnd (Trafikverket, 2014, s. 29). Vid brons ramben fylls vägbanken vanligtvis upp med fyllnadsmaterial.

3.2.2.2 Balkrambro

Balkrambroar bär lasten med samma princip som plattrambroar, men kan ha längre spännvidder då brons egenvikt minskar med balkarnas mer effektiva tvärsnitt (Trafikverket, 2014, s. 51). Huvudbärverket består av en eller flera balkar som bär upp brobaneplattan samt eventuella tvärbalkar (Trafikverket, 2014, s. 33). Balkrambron kan byggas i olika material, men för vägtrafik är betong standard (Trafikverket, 2014, s. 32). Slakarmerade balkrambroar kan göras med spännvidder upp till 30 meter medan spännarmering möjliggör spännvidder upp till 50 meter. För att effektivisera tvärsnittet är balkarna ofta votade för längre spännvidder. Slakarmerade balkrambroar byggs sällan idag på grund av höga produktionskostnader, utan ersätts av plattrambroar för kortare spann och balkbroar för längre spann.

3.2.3 Fackverkan

Fackverk är stänger som sammanfogas med hjälp av t.ex. svetsförband eller skruvförband. Fackverket bildar tillsammans en fackverksbalk. Denna balken består av bland annat en över- och underarmsstång som binder samman till vertikala och diagonala stänger (Trafikverket, 2014). Det är tryckande och dragande normalkrafter som vanligtvis förekommer i dessa stänger (se figur 3.3).



Figur 3.3: Illustration av fackverkan

Gröna pilar: Last och reaktionskrafter. Röda/blåa pilar: Tryck- och dragspänningar.

3.2.3.1 Fackverksbro

Fackverksbalkar utnyttjas som huvudbärverk i fackverksbroar (Trafikverket, 2014). Fackverksbroar för vägtrafik byggda i stål finns för spännvidder upp till ca 100 meter, medan det i trä finns för spännvidder upp till 30 meter (Trafikverket, 2014). Generellt kan man säga att en bro som bygger på fackverksbalkar och genomgående ballast kan vara ett aktuellt val om man har spännvidder över 50 meter (Trafikverket, 2022). Har man en begränsad konstruktionshöjd kan det lämpa sig att placera fackverket ovanför brobanan. Fackverksbro är en brotyp som kan komma med höga underhållskostnader (Trafikverket, 2022). Även produktionskostnaderna är höga för denna typ av bro (Trafikverket, 2014). Däremot kan de vara relativt materialsnåla då verknings sättet är effektivt.

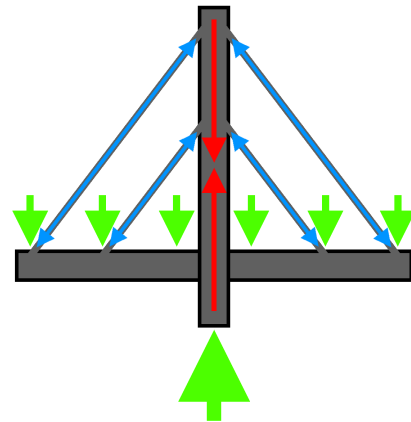
3.2.3.2 Spännverksbro/Hängverksbro

Spännverks- och hängverksbroar är båda gamla brotyper (Trafikverket, 2014). I en typisk spännverksbro är brobanan placerad över bärverket där brobanan stöts upp av sneda trycksträvor undantill (Träguiden, 2015). En hängverksbro bygger på samma koncept som en spännverksbro, men här är huvudbalken placerad under bärverket, det så kallade hängverket (Träguiden, 2015). Här överförs lasten från brobanan till hängverket. Med en hängverksbro kan man komma åt en låg konstruktionshöjd

samt en stor fri höjd under brobanan. Huvudbärverket i båda brotyperna byggs oftast i trä (Trafikverket, 2014). Väjer man att bygga denna typen av brotyp idag så görs oftast en kombination av spännverk- och hängverksbro.

3.2.4 Linverkan

I broar som snedkabelbroar och hängbroar utnyttjas linverkan. Linverkan bygger på kablar som tar upp dragkrafter, och pylontornen som tar upp tryckkrafter (se figur 3.4) (Trafikverket, 2014).



Figur 3.4: Illustration av linverkan

Gröna pilar: Last och reaktionskrafter. Röda/blåa pilar: Tryck- och dragspänningar.

3.2.4.1 Snedkabelbro

Snedkabelbro är en brotyp som lämpar sig vid spännvidder över 100 meter (Trafikverket, 2022). En snedkabelbro delas in i konstruktionsdelarna kablar, pyloner och förstärkningsbalk. Kablarna kan arrangeras i olika system (Trafikverket, 2022). Gemensamt med alla typer av system är däremot att kablarna är fästa i pylontornen, brobanan hängs i sin tur upp i kablarna (Trafikverket, 2014). Positivt med en snedkabelbro är att det öppnar upp för många alternativ till utformning och materialval av brobanan, samt att bron kan byggas helt utan ställning. Däremot kan vindlaster vara ett problem vid utbyggnaden av bron (Trafikverket, 2022). Då broar av denna typen oftast är av större typen bidrar det till att den dominanta lasten blir egentyngden (Trafikverket, 2014). Bron bärs upp av linverkan. Vindlaster är även relevant i bruksstadiet av bron då det kan ha en stor påverkan (Trafikverket, 2014).

3.2.4.2 Hängbro

Hängbro är aktuellt vid stora spännvidder. Ofta överstiger de 500 meter och konstruktioner med spännvidder över 1200 meter har utformats (Trafikverket, 2014) (Vägverket, 1996). Bron består av två huvudkablar som går över pyloner och kopplas till hängbrons ankare. Kablarna kopplas direkt till berg eller till större betonglandfästen. Hängkablarna är kopplade mellan brobanan och huvudkablarna, till skillnad från snedkabelbron där alla kablar är kopplade direkt från brobanan till pylonerna.

3.2.5 Materialsamverkan

De tre konstruktionsmaterialen betong, stål och trä har alla både fördelar och nackdelar. Ett vanligt koncept inom brobyggnad är därför samverkansbro, som bygger på att material kombineras för att utnyttja deras respektive fördelar (Trafikverket, 2022). Samverkansbroar nyttjar två eller flera material i samverkan för att optimera konstruktionen.

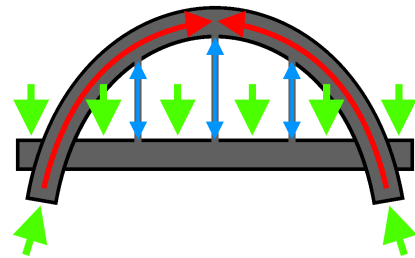
3.2.5.1 Samverkansbro; stålbalkar med betongplatta

Den vanligast förekommande typen av samverkansbro är balkbro med kombination av stålbalkar och betongplatta, där samverkan sker genom så kallade studs (Trafikverket, 2022). Denna typ av samverkansbro lämpar sig väl för spännvidder mellan ca. 20-70 meter. Den är även fördelaktig där det kan förekomma besvär med att anordna extra vertikalistöd längs spannet. Exempel på sådana situationer kan vara broar över vattendrag, djupa dalgångar eller vid dåliga grundförhållanden.

Valet av denna typ av samverkansbro kan även vara fördelaktigt då byggtiden är kritisk. Montage kan effektivt genomföras genom lyft av stålbalkarna eller lansering från landfästet, vilket undviker problem en ställning skulle kunna medföra (Trafikverket, 2022). Utöver tids- och kostnads-effektivisering genom kort bygg- och monterings- och tid, kan också materialbehovet och materialkostnaden minska genom en genomtänkt samverkansbro (Johnson, 1994).

3.2.6 Bågverkan

Bågverkan kallas fenomenet då en båge överför vertikala laster till tryckkrafter i själva bågen, vilka sedan leds ner till stöden (Trafikverket, 2014). Den bågformade geometrin skapar höga tryckkrafter, vilket ger upphov till betydande horisontella krafter som måste hanteras i broarnas upplag och grundläggning (se figur 3.5). Bågverkan används i olika brokonstruktioner där bågens placering, material och form påverkar hur krafterna fördelas samt hur brobanan bärs upp.



Figur 3.5: Illustration av bågverkan

Gröna pilar: Last och reaktionskrafter. Röda/blåa pilar: Tryck- och dragspänningar.

3.2.6.1 Bågbro

Bågbro är en traditionell brotyp som vanligtvis har använts vid spann över 60 meter. I modern broprojektering har dock bågbro blivit ersatt av mer material- och kostnadseffektiva alternativ såsom balkbro (Trafikverket, 2022). Idag byggs bågbro främst av estetik- och gestaltningsskäl snarare än för optimering.

En bågbro kan konstrueras med en eller flera parallella bågar (Trafikverket, 2014). Bågarna kan utföras ovanför, mellan eller under brobanan i ett eller flera spann och kan konstrueras i armerad betong, stål eller trä. Brobanan kan bäras av ett balksystem eller en kontinuerlig platta och lasterna överförs till bågen via vertikala stänger, pelare med tvärstag eller skivor beroende på brobanans placering i förhållande till bågen.

3.2.6.2 Valvbro

Valvbro består av ett valvformat bärverk av sten, betong eller plåt som täcks med fyllnadsmaterial (Trafikverket, 2014). På grund av dess begränsade spännvidden anses valvbro inte vara ett relevant alternativ och behandlas därför endast kortfattat.

4

Urval 1 - Konzeptutvärdering

I följande kapitel görs ett första urval utifrån de beskrivna brotyperna.

4.1 Första urval

I denna första del av urvalsprocessen bedöms de brokoncept som behandlats i literaturstudien, där brotyperna även kopplas till olika materialval. Tabellen nedan visar en inledande utvärdering av möjliga brokoncept baserat på spännvidd, antal spann och livslängd, vilket används som underlag för vilka alternativ som studeras vidare i nästa urvalssteg.

	Brotyper	Material	Spännvidd [m]	Möjlig livslängd [år]	Nödvändiga spann [st]	Passande spann? [Ja/Nej]	Passande livslängd? [Ja/Nej]	Utvald? [Ja/Nej]
Balkverkan	Balkbro	Trä	0-30		2	Ja	Nej	Nej
		Stål	20-80	120	1	Ja	Ja	Nej
		Betong	20-200	120	1	Ja	Ja	Ja
	Plattbro	Trä	0-25 (-17)	40-80	2	Ja	Nej	Nej
		Betong	20-35	120	2	Ja	Ja	Ja
	Platttribro	Betong	0-35	120	2 (inget alt.)	Nej	Ja	Nej
	Balktribro	Betong	20-50	120	1	Ja	Ja	Ja
Fackverkan	Fackverksbro	Trä	0-30	40-80	2	Ja	Nej	Nej
		Stål	0-100	120	1	Ja	Ja	Ja
	Spännverksbro /Hängverksbro	Trä	10-50	40-80	1	Nej	Nej	Nej
Linverkan	Snedkabelbro	Stål & betong	100 +	120	1	Nej	Ja	Nej
	Hängbro	Stål & betong	Långa spann	120	1	Nej	Ja	Nej
Bågverkan	Bågbro	Trä	60+	40-80	1	Nej	Nej	Nej
		Stål	60+	120	1	Nej	Ja	Nej
		Betong	60+	120	1	Nej	Ja	Nej
	Samverkansbro	Stål och betong	20-70	120	1	Ja	Ja	Ja

Figur 4.1: Urvalsmall för konceptutvärdering

4.2 Valda och bortvalda brokoncept

Ren stålbro väljs bort då samverkansbroar bedöms vara det vanligare och mer rimliga alternativet för denna typ av spännvidd och användningsområde, främst på grund av ett mer fördelaktigt utnyttjande av stålets och betongens respektive materialegenskaper.

Brotyper som främst används för betydligt längre spännvidder bedöms samtidigt innebära onödigt komplexa och resurskrävande lösningar för det studerade fallet, vilket är svårt att motivera både ekonomiskt och produktionsmässigt.

Brokoncept i trä bedöms även medföra större utmaningar kopplat till kravet på en livslängd på 120 år. Även om detta hade varit möjligt att hantera genom anpassad utformning och skyddsåtgärder anses komplexiteten vara svår att motivera för den aktuella typen av projekt.

Brotyper som studeras vidare är:

- Balkbro i betong
- Fackverksbro i stål
- Samverkansbro i stål och betong
- Balkrambro i betong
- Plattbro i betong

5

Konceptutveckling

I följande kapitel beskrivs och utvecklas de fem brokoncepten utifrån perspektiven beställare/konstruktion, produktion och underhåll.

5.1 Koncept 1 - Balkbro i betong

Nedan följer en utvärdering om brokonceptet balkbro i betong.

5.1.1 Beställare/konstruktion

I det studerade fallet kan en betongbalkbro utformas antingen som ett enspannssystem eller med flera spann. En lösning utan mittstöd innebär att stöd i vägområdet undviks, vilket annars kan försämrat siktförhållanden, innebära risk för påkörning samt kräva ytterligare arbete med grundläggning och pelare (Leonhardt, 1999; V. Rios Villalba, personlig kommunikation, 3 mars 2026). Samtidigt ställer längre spann högre krav på material och konstruktionshöjd, även om ett spann på omkring 40 m är möjligt för en betongbalkbro med förspänd armering (Chen & Duan, 2014). Om bron istället delas upp i två spann med mittstöd kan kontinuitet utnyttjas. Detta ger en effektivare lastfördelning och reducerar både böjmoment och deformationer i mittspannet, vilket kan möjliggöra mer materialeffektiva tvärsnitt (Shan m. fl., 2024). Denna lösning ökar även brons slankhet, ofta uttryckt som förhållandet mellan spannlängd och balkhöjd vilket kan bidra till ett lättare och mer elegant visuellt intryck (Leonhardt, 1999). Ett mittstöd kan även ge produktionsmässiga fördelar genom att etappvis byggnation möjliggörs. Kontinuitet över stöd ställer högre krav på armering och detaljutformning, vilket kan öka både kostnader och byggtid (Shan m. fl., 2024).

Genom att använda förspänd armering uppstår sprickbildning av betongen först vid högre laster och det ospruckna betongtvärsnittet kan i större utsträckning bidra till konstruktionens styvhet (Labudkova, 2016). Detta möjliggör mindre konstruktionshöjd och reducerad egenvikt, vilket minskar materialåtgången. Studier visar att förspänning kan minska betongbehovet med omkring 10% i brons längdriktning och upp till cirka 25% i tvärriktningen (Labudkova, 2016). Materialåtgång och kostnader kan dessutom reduceras ytterligare genom optimering av balkens tvärsnittsform (Morcous m. fl., 2019).

Bland de vanligaste balktyperna i betongbalkbroar finns prefabricerade I-balkar och

platsgjutna boxbalkar (Chen & Duan, 2014). Typiska spannintervall ligger omkring 15–30 m för prefabricerade I-balkar och cirka 30–180 m för platsgjutna boxbalkar (Chen & Duan, 2014). Boxbalkar har hög vridstyvhet och lämpar sig särskilt väl för kurvade broar och längre spann, vilket dock är mindre relevant i det studerade fallet. Prefabricerade I-balkar utgör ofta en snabb och kostnadseffektiv lösning med hög produktionskvalitet (Morcous m. fl., 2019). Förspända prefabricerade I-balkar kan uppnå spann–höjd-förhållanden på omkring 20–22 för fritt upplagda spann och upp mot cirka 25 för kontinuerliga konstruktioner (Chen & Duan, 2014). Applicerat på det studerade fallet innebär detta att ett fritt spann på 40 m ger en uppskattad konstruktionshöjd på cirka 1,8–2,0 m, medan två kontinuerliga spann på 20 m kan reduceras till omkring 0,8–1,0 m. Detta kan minska materialmängden och ge produktionsfördelar i form av enklare transporter, lyft och montage.

5.1.2 Produktion

Prefabricerade förspända betongbalkar är ett effektivt alternativ vid produktion av balkbroar i betong (Tomek, 2017). En alternativ lösning är att platsgjuta balkarna, men denna metod kräver mer omfattande formställningar och längre byggtid. Eftersom låg trafikpåverkan är prioriterat i projektet anses en lösning med prefabricerade element mer lämplig. Genom att först färdigställa stöd och landfästen kan balkarna därefter lyftas på plats med en kran under ett planerat trafikstopp, exempelvis nattetid (M. Davidson, personlig kommunikation, 3 mars 2026). Därefter monteras armering och gjutformar innan samverkansplattan kan gjutas.

Med hjälp av skyddskonstruktioner under bron kan arbetet utföras samtidigt som trafiken fortgår med reducerad hastighet på E4 (M. Davidson, personlig kommunikation, 3 mars 2026). Detta är en viktig aspekt då påverkan på trafiken bör vara så liten som möjlig i projektet. Skyddskonstruktionen kan dock påverka den fria höjden vilket behöver beaktas vid dimensioneringen. Gjutning och montering av armering är generellt ett slitsamt arbetsmoment, eftersom det är repetitivt, tungt och ofta utförs i obekväma positioner (Trafikverket, 2022). Genom att använda prefabricerade armeringskorgar eller rullarmering kan belastningen på arbetarna minskas samtidigt som byggtiden reduceras. Även kompaktering av betong är ett fysiskt krävande arbetsmoment som kan underlättas genom användning av självkompakterande betong.

Det finns således flera prefabriceringslösningar som kan underlätta arbetet och samtidigt korta ner byggtiden vid utförandet av en betongbalkbro. Detta gör konstruktionen till ett lämpligt alternativ utifrån ett produktionsperspektiv.

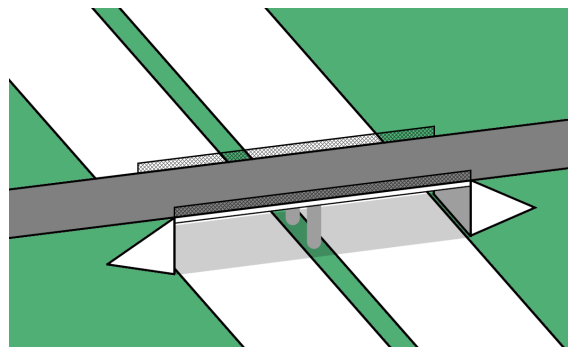
5.1.3 Underhåll

Underhållsbehovet för olika betongkonstruktioner är i praktiken lika (M. Davidsson, personlig kommunikation, 3 mars, 2026). Regelbundet underhåll består av tvättning, impregnering och inspektion av konstruktionen (Trafikverket, 2017). Betongen får inte vara så pass skadad att funktionen påverkas. Denna bedömning görs med hjälp

av provbilning och bomknackning. Vid analys av betongen ställs krav på kloridinträngning i höjd vid armeringen. Vid spännarmerade broar är detta krav strängare, vilket i praktiken ställer högre krav på täcksikt. Betong i nivå med armeringen får inte heller vara karbonatiserad. Armering ska också vara fri från korrosion och gropfrätning. Vid brister måste täckande betongskikt bättras och armering bytas ut. Dessa krav innebär att hela konstruktionen måste kunna undersökas. Vid lådbalkstvärnitt försvåras arbetsmiljön något eftersom även insidan måste inspekteras. Höjden på lådbalken behöver därför vara hög nog för att möjliggöra invändig inspektion. Lager och övergångskonstruktioner är också kritiska detaljer. Brolager behöver bytas flera gånger under brons livstid (M. Davidsson, personlig kommunikation, 3 mars, 2026).

5.1.4 Designval

Utifrån utvärdering av konceptet utförs bron med fritt upplagda balkar i två spann. I-balkarna förspänns och prefabriceras i syfte att minimera påverkan på övrig trafik. (se figur 5.1).



Figur 5.1: Skiss av betongbalkbro i två spann, ej skalenlig

5.2 Koncept 2 - Fackverksbro stål

Nedan följer en utvärdering om brokonceptet fackverksbro i stål.

5.2.1 Beställare/konstruktion

En bro som bygger på fackverk kommer ofta med höga produktionskostnader (Trafikverket, 2022).

Den aktuella bron har en total spannvidd på 37,25 m. Då fackverksbroar byggda i stål finns för spannvidder upp till 100 m kan detta alternativet byggas utan mittstöd (Trafikverket, 2014). Generellt brukar man däremot säga att en bro som bygger på fackverksbalkar och genomgående ballast är aktuellt om man ska bygga för spannvidder över 50 meter. Den aktuella bron är kortare och man kan därav argumentera för att en fackverksbro inte är det mest effektiva alternativet. Fackverksbroar är generellt ovanligt för vägbroar, vilket också talar för att denna typen av konstruktion

inte är aktuell för detta projektet. (M. Davidson, personlig kommunikation, 3 mars, 2026)

Miljöpåverkan för fackverksbroar domineras av framställning av stålet. Även korrosionsskydd genom ytbehandling kan medföra en viss påverkan på miljön. Stål har däremot en lång livslängd och möjligheterna att återanvända och återvinna materialet är stora, vilket är positivt ur en miljösynpunkt. Konstruktionen är även relativt materialsnål.

5.2.2 Produktion

För en fackverksbro i stål är det fördelaktigt att prefabricera och svetsa ihop delarna innan de monteras på plats, då detta förbättrar både kvalitet och arbetsmiljö (Lebet & Hirt, 2013). Fabrikstillverkning eliminerar påverkan från väder. Det ger även möjlighet att rotera elementen till optimala arbetsvinklar för manuell svetsning, alternativt svetsning av robot för att på så vis förbättra ergonomin för arbetarna.

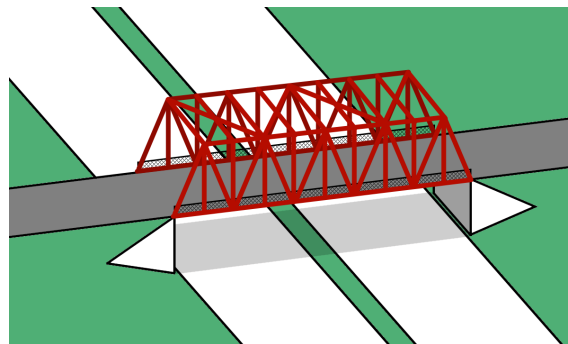
Vid prefabricering behöver hänsyn till transporten beaktas. Om ingen dispens sökes har vanligtvis en lastbil en tillgänglig längd på 24 meter och bredd på 2,4 meter (V. Rios Villalba, personlig kommunikation, 11 mars, 2026).

5.2.3 Underhåll

För att minska korrosionsrisk och underhållsbehov är slutna rörprofiler att föredra framför öppna I-tvårsnitt i fackverket (Lebet & Hirt, 2013). De öppna elementen skapar lätt fickor kring knutpunkter där smuts och vatten kan ansamlas. Oavsett tvärsnitt kräver fackverket precis som stålbalkar korrosionsskydd genom målning. Generellt har fackverksbroar något större underhållsbehov än vanliga stålbalkar då strukturen består av fler och något komplexare detaljer, vilket kan bli en stor kostnad över bronns 120-åriga livslängd.

5.2.4 Designval

Utifrån utvärdering av konceptet utförs bron i ett kontinuerligt spann. Fackverket är överliggande och utförs med rörprofiler i konstruktionsstål (se figur 5.2)



Figur 5.2: Skiss av fackverksbro i ett spann, ej skalenlig

5.3 Koncept 3 - Samverkansbro stål/betong

Nedan följer en utvärdering om brokonceptet samverkansbro i stål och betong.

5.3.1 Beställare/konstruktion

Den estetiska ambitionen för en samverkansbro är liksom för betongbalkbron att utforma en relativt slank och diskret konstruktion som smälter in i den omgivande miljön och samtidigt minimerar visuella och funktionella störningar för trafiken på E4:an under bron (Leonhardt, 1999).

Samverkansbroar med stålbalkar och betongplatta är en etablerad brotyp för korta till medellånga spann (Chen & Duan, 2014). Genom svetsade studs som skjuvförbindare uppnås en effektiv samverkan mellan stålets och betongens materialegenskaper, vilket gör konstruktionen både strukturellt och ekonomiskt fördelaktig (Chen & Duan, 2014; Johnson, 2004). Den vanligaste tvärsnittsformen är I-balkar. Valsade stålprofiler är ekonomiska upp till cirka 30 m, medan svetsade balkar vanligtvis används för spann omkring 20–40 m och uppåt (Chen & Duan, 2014; Santos m. fl., 2019). Svetsade balkar möjliggör också optimering av tvärsnittet men kräver mer tillverkningsarbete och är generellt dyrare (Chen & Duan, 2014). Stålbalkar förekommer också men används främst för längre spann från cirka 45 m och uppåt, samt för krökta broar. (Chen & Duan, 2014).

Vid val av samverkansbro är både enspanniga och flerfacksalternativ möjliga. Kontinuitet över ett mittstöd kan ge effektivare lastfördelning i konstruktionen, men samtidigt uppstår högt negativt moment över stödet, vilket innebär dragspänningar i betongplattan och tryck i stålbalken (Collings, 2005; Galustanian m. fl., 2024). Detta ökar behovet av dragarmering och kan medföra bucklingsrisk i stålflänsen, vilket gör stabilitet till en viktig dimensioneringsaspekt (Chen & Duan, 2014; Collings, 2005).

Ekonomiska bedömningar varierar i litteraturen. Vissa studier anger att stålbalkbroar är fördelaktiga redan vid spann över cirka 10 m, medan andra menar att betongbalkbroar är mer kostnadseffektiva upp till omkring 20 m och att samverkansbroar blir konkurrenskraftiga först vid spann omkring 25–50 m (Johnson, 2004; Santos m. fl., 2019). Ett balkavstånd i tvärled på cirka 3,0–3,7 m rekommenderas ekonomiskt för spann under cirka 43 m (Chen & Duan, 2014).

För raka stålbalkbroar anges ett spann–höjd-förhållande omkring 25 för enkla spann och upp mot 30 för kontinuerliga konstruktioner (Chen & Duan, 2014). För ett spann på cirka 40 m motsvarar detta en konstruktionshöjd omkring 1,6 m, medan två kontinuerliga spann på cirka 20 m kan reduceras konstruktionshöjden till cirka 1,3 m.

5.3.2 Produktion

Ur ett produktionsperspektiv kan en samverkansbro vara fördelaktig för en bro över E4:an. Balkarna av stål går att prefabricera samt lyftas på plats eller lanseras, vilket medför att det vanligtvis inte krävs någon monteringsställning (Hällmark, 2018). Detta gör att arbetstiden på byggplatsen minskar, samt att trafikstörningarna minskar. Precis som vid produktion av fackverksbro behöver hänsyn till transporten vid prefabricering beaktas.

När balkarna monterats på plats kan betongplattan gjutas på samma sätt som för betongbalkbron. Prefabricerad platta är ovanligt för broar, bland annat på grund av den höga egentyngden (M. Davidson, personlig kommunikation, 3 mars 2026).

5.3.3 Underhåll

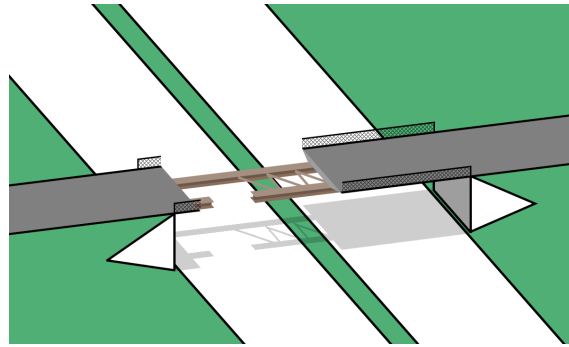
För att försäkra sig om stålbroars beständighet måste hela bron vara skyddad mot korrosion (Lebet & Hirt, 2013, s. 67). Detta görs genom att se till att allt vatten rinner av strukturen, samt att stålets yta korrosionsskyddas. Detta görs antingen genom att ståldelarna målas, eller genom användning av rosttrögt stål.

I Sverige är målning av vanligt konstruktionsstål det vanligaste alternativet (SSAB, u. å). För korrosivitetsklass C5 appliceras 5 lager färg, som tillsammans ska förebygga korrosion (för Förbehandling och rostskyddsmålning, 2024). Skikten skiljs åt genom kontrasterande kulörer vilket synliggör skador på skyddet. Betydande skador som upptäcks vid inspektion ska åtgärdas genom förbättringsmålning. Enligt Marcus Davidsson från COWI (Personlig kommunikation, 3 mars 2026) bör man räkna med mer omfattande ommålningsarbete efter 15-30 år.

Efter nya regellättnader som trafikverket publicerat 2023 tror Fredrik Lindqvist från SSAB att fler broar kommer byggas i rosttrögt stål framöver (SSAB, u. å). Materialet är dock ej tillåtet vid korrosivitetsklass C5 (Trafikverket, 2025). Betongelementen och brolagren inspekteras och underhålls på samma sätt som för rena betongbroar.

5.3.4 Designval

Utifrån utvärdering av konceptet utförs bron i ett kontinuerligt spann, I-balkarna utförs i konstruktionsstål. Farbanan platsgjuts. (Se figur 5.3).



Figur 5.3: Genomskuren skiss av en samverkansbro i ett spann, ej skalenlig

5.4 Koncept 4 - Balkrambro i betong

Nedan följer en utvärdering om brokonceptet balkrambro i betong.

5.4.1 Beställare/konstruktion

Balkrambroar kan medföra höga produktionskostnader (Trafikverket, 2014).

Brons spännvidd på 37,25 m är ett väldigt stort spann för en balkrambro, och brukar typiskt inte byggas (M. Davidson, personlig kommunikation, 3 mars, 2026). Detta samtidigt som balkrambroar i regel bara byggs i ett spann talar emot att detta konceptet är ett aktuellt val för detta projektet. Teoretiskt sett kan dock en balkrambro med spännarmering klara spännvidder upp till 50 m och kan då byggas i ett spann (Trafikverket, 2022).

Dessa typer av broar byggs vanligtvis i betong, som kan ha en betydande miljöpåverkan på grund av utsläpp vid cementproduktionen (Trafikverket, 2022). Däremot har betong en lång livslängd och beständighet vilket är positivt ur miljösynpunkt.

5.4.2 Produktion

En balkrambro produceras genom att fundament, stöd, balkar och broplatta gjuts ihop till en styv ram i armerad betong (Trafikverket, 2014). Först anläggs fundament och stöd och sedan utförs balkarna, vilka kan platsgjutas eller vara prefabricerade. Därefter monteras gjutformar och armering, varefter broplattan gjuts ovanpå balkarna.

Under byggskedet kan tillfälliga skyddskonstruktioner användas för att låta trafiken fortgå under arbetets gång (M. Davidson, personlig kommunikation, 3 mars 2026). En annan metod är att gjuta halva broplattan åt gången, vilket är lättast om bron byggs med ett mittstöd. Då kan trafiken ledas om på motsatt halvas körfält. Denna metod kan dock leda till ojämna belastningar under byggskedet vilket är viktigt att konstruktionen dimensioneras för.

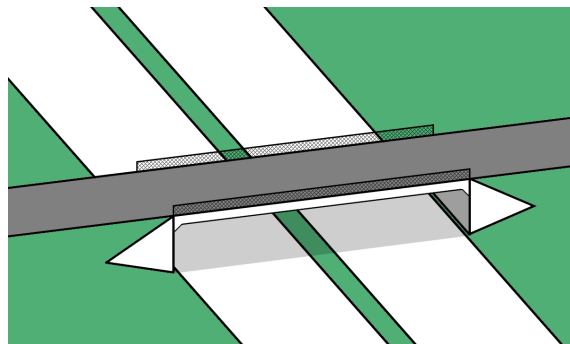
Prefabricerade element såsom betongbalkar, armeringskorgar eller rullarmering kan utnyttjas för att korta ner byggtiden samt underlätta den fysiska belastningen på arbetarna (Trafikverket, 2022). För det studerade fallet är balkrambron ett möjligt alternativ sett ur ett produktionsperspektiv, med dess möjligheter att minska påverkan på trafiken och förbättra arbetsförhållandena.

5.4.3 Underhåll

Underhållskraven är snarlika som för andra betongbroar. Avsaknaden av upplag med lager minskar däremot underhållsbehovet jämfört med en fritt upplagd konstruktion.

5.4.4 Designval

Utifrån utvärdering av konceptet utförs bron spännarmerad i ett spann med momentstyva hörn. Balkar och farbanan platsgjuts. (Se figur 5.4).



Figur 5.4: Skiss av rambalkbro i ett spann, ej skalenlig

5.5 Konzept 5 - Plattbro i betong

Nedan följer en utvärdering om brokonceptet plattbro.

5.5.1 Beställare/konstruktion

I likhet med de andra brotyperna är slankhet en viktig estetisk aspekt även för plattbroar, då den påverkar hur konstruktionen upplevs visuellt och hur väl den samspelar med den omgivande miljön (Leonhardt, 1999). En relativt slank överbyggnad eftersträvas därför, samtidigt som alltför trånga passager bör undvikas eftersom dessa kan påverka trafikanternas upplevelse negativt (Leonhardt, 1999).

Massiva plattbroar i betong är ofta ekonomiskt fördelaktiga för kortare spann, vanligtvis i intervallet cirka 3–8 m, men kan i vissa fall användas upp till omkring 15 m (Azizinamini m. fl., 1994; Tonias & Zhao, 2014). Konstruktionstypen kännetecknas av relativt enkel armeringsplacering och okomplicerat formarbete, samtidigt som den massiva plattan ger god vridstyvhet (Balázs m. fl., 2011). Vid spann över cirka 15 m ökar dock materialmängden av både betong och armering avsevärt, vilket leder

till större konstruktionshöjd och högre egenvikt (Balázs m. fl., 2011; Hambly, 1991).

Genom alternativa tvärsnittsformer kan något längre spann uppnås. En reduktion av plattans egenvikt genom exempelvis sidokonsoler kan vara ekonomiskt fördelaktig för spann omkring 18–20 m, medan håldäcksplattor i vissa fall kan användas upp till cirka 25 m (Balázs m. fl., 2011). I Sverige är dock användningen av håldäcksplattor i brokonstruktioner ovanlig, främst på grund av mer komplicerat utförande och dålig erfarenhet från beställare (M. Davidson, personlig kommunikation, 3 mars, 2026).

För det studerade fallet skulle en plattbro i betong behöva delas upp i två eller fler spann för att uppnå en rimlig konstruktionshöjd och ett genomförbart utförande. Kontinuitet är generellt fördelaktig eftersom det förbättrar lastfördelningen och kan bidra till lägre konstruktionshöjd, minskad egenvikt och därmed reducerad materialåtgång (Jáuregui m. fl., 2010).

Kombinationen av kontinuitet och förspänd armering i betongplattbroar kan ge spann–höjd-förhållanden omkring 25–30 (Tonias & Zhao, 2014). Applicerat på det studerade fallet, där bron delas upp i två spann på cirka 20 m, motsvarar detta en uppskattad konstruktionshöjd på ungefär 0,67–0,80 m.

5.5.2 Produktion

Plattbroar produceras vanligtvis genom platsgjutning av en armerad betongplatta på tillfälliga stödkonstruktioner med gjutformar. Prefabricerade plattor är tekniskt möjligt men inte optimalt med tanke på de höga vikterna som plattorna får (M. Davidson, personlig kommunikation, 3 mars 2026). Det skulle krävas stora kranar med väldigt hög lyftkapacitet vilket kan bli både opraktiskt och dyrt. I det studerade fallet vore det därför lämpligast att gjuta plattan in situ. Däremot kan prefabricerade armeringselement användas för att underlätta för arbetarna och reducera byggtiden (Trafikverket, 2022).

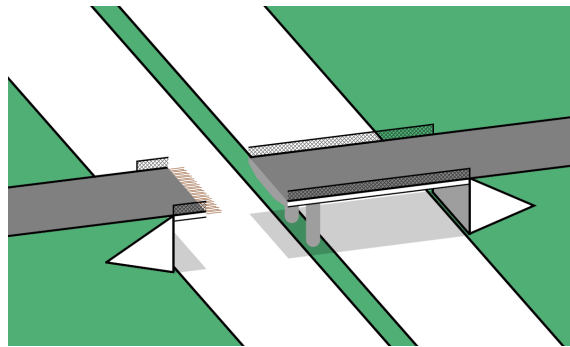
På grund av de tillfälliga stödkonstruktionerna kan trafiken under bron inte fortgå obehindrat under gjutningsarbetet. En möjlig lösning är därför att gjuta plattan i två etapper över ett mittstöd (M. Davidson, personlig kommunikation, 3 mars 2026). Trafiken kan då tillfälligt ledas om till den del av vägen som inte berörs av arbetet. Detta leder till tillfälligt reducerade hastigheter och färre tillgängliga körfält vid broanläggningen.

5.5.3 Underhåll

Underhållskraven är samma som för betongbalkbroar.

5.5.4 Designval

Utifrån utvärdering av konceptet utförs bron i två kontinuerliga spann för att minimera plattjocklek. Plattan platsgjuts. (Se figur 5.5).



Figur 5.5: Genomskuren skiss av en plattbro i två spann, ej skalenlig

6

Urval 2 - konceptutvärdering

I detta kapitel utvärderas de brokoncept som gått vidare från urval 1 utifrån nya viktade utvärderingskriterier, efter att en fördjupning genomförts i kapitel 5, Konceptutveckling. Syftet med urval 2 är att identifiera det koncept som är mest lämpligt för det studerade fallet utifrån de mål som satts upp utöver de funktionella och tekniska kraven.

6.1 Utvärderingskriterier

Nedan presenteras framtagna utvärderingskriterier som urval 2 utgår från.

- **Investeringskostnad:** Jämför approximativt investeringskostnad mellan de olika alternativen.
- **Klimatpåverkan:** Jämför approximativt klimatpåverkan i produktionsskedet av de olika alternativen. Klimatpåverkan från eventuella trafikstörningar under produktion och underhåll avgränsas.
- **Estetik:** Jämför brokoncepten ur ett estetiskt perspektiv utifrån författarnas subjektiva åsikter samt generella intryck från den undersökta litteraturen.
- **Arbetsmiljö:** Jämför arbetsmiljön för brons anläggningsarbetare för de olika koncepten, främst under produktionsskedet.
- **Trafikstörning:** Jämför eventuella trafikstörningar på underliggande motorväg för de olika koncepten, främst under produktionsskedet.
- **Underhållsbehov:** Jämför behov av underhåll över brons dimensionerade livslängd på 120 år mellan de olika alternativen. Viktigaste aspekten är resurskrävande arbete.

6.2 Viktning av utvärderingskriterier

Nedan följer en tabell som viktar de olika utvärderingskriterierna mot varandra (se tabell 6.1). Detta ger en viktningsfaktor som visar på hur de olika kriterierna prioriteras. 1 innebär mindre viktigt, 2 innebär lika viktigt och 3 innebär mer viktigt.

Viktningen av utvärderingskriterierna visar att investeringskostnad, arbetsmiljö och trafikstörning prioriteras högst i den fortsatta utvärderingen av brokoncepten. Detta motiveras av projektets förutsättningar, där bron ska byggas över en starkt trafikerad väg och där både ekonomiska aspekter samt en säker och effektiv produktion

bedöms vara avgörande. Kriterier såsom klimatpåverkan och underhållsbehov tilldelades en medelhög vikt, medan estetik tilldelades lägst prioritet.

	<i>Investeringskostnad</i>	<i>Klimatpåverkan</i>	<i>Estetik</i>	<i>Arbetsmiljö</i>	<i>Trafikstörning</i>	<i>Underhållsbehov</i>	<i>Totalpoäng</i>	<i>Viktningfaktor</i>
Investeringskostnad	-	3	3	2	2	3	13	0,217
Klimatpåverkan	1	-	3	1	1	1	7	0,117
Estetik	1	1	-	1	1	2	6	0,100
Arbetsmiljö	2	3	3	-	2	3	13	0,217
Trafikstörning	2	3	3	2	-	3	13	0,217
Underhållsbehov	1	3	2	1	1	-	8	0,133

Tabell 6.1: Viktning av utvärderingskriterier

6.3 Slutgiltigt urval

Utifrån litteraturstudien, konceptutvärdering, logiskt resonemang samt handledning från COWI har de olika brokoncepten fått poäng mellan 1-5 för vardera utvärderingskriterie. Utvärderingskriterierna väger olika tungt utifrån den framtagna viktningsskalan. Nedan följer en tabell som viktar de utvecklade brokoncepten från urval 1 utifrån de olika utvärderingskriterierna. De poängsätts från 1-5, där 1 är sämst och 5 är bäst. Poängen multipliceras med respektive kriteriums viktningsskala och summeras till en totalpoäng.

Rank	Brokoncept	<i>Investeringskostnad</i>	<i>Klimatpåverkan</i>	<i>Estetik</i>	<i>Arbetsmiljö</i>	<i>Trafikstörning</i>	<i>Underhållsbehov</i>	<i>Totalpoäng</i>
	Viktningsskala	0,217	0,117	0,100	0,217	0,217	0,133	
1	Samverkansbro	2	4	3	5	4	2	3,42
2	Betongbalkbro	3	3	2	5	3	3	3,33
3	Betongplattbro	4	2	2	4	2	3	3,00
4	Rambalkbro	3	3	2	3	1	4	2,60
5	Fackverksbro	1	4	4	3	3	1	2,52

Tabell 6.2: Poängsättning och rangordning av brokoncept

Resultatet av poängsättningen visar att fackverksbron och rambalkbron rankas lägst bland de studerade koncepten, främst till följd av hög investeringskostnad respektive stora trafikstörningar under produktionen. I toppen av rankningen återfinns samverkansbron och betongbalkbron, vilka erhöll jämna totalpoäng. Det som gör att samverkansbron värderas något högre är dess fördelar ur produktionssynpunkt, där möjligheten att montera stålbalkar och form innan platsgjutning av broplattan möjliggör förutsättningar för god arbetsmiljö samt goda möjligheter att minimera trafikpåverkan under byggskedet. Sammantaget bedöms därför samverkansbron vara det mest lämpliga konceptet för det studerade fallet utifrån de uppsatta målen och prioriteringarna.

7

Framtaget brokoncept

I detta kapitel beskrivs det valda brokonceptet samverkansbro mer utförligt gällande design, produktionsplan och underhållsplan.

7.1 Designval

I detta avsnitt förklaras utformning av bron delar och detaljer.

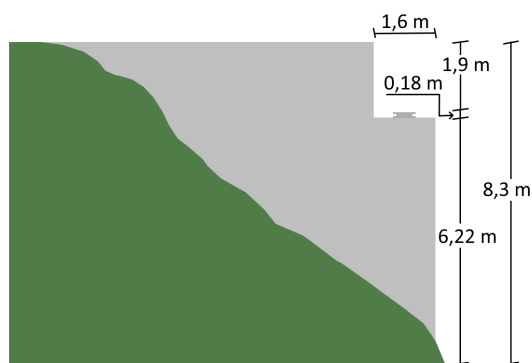
7.1.1 Bärande system

Det framtagna brokonceptets bärande system består av två huvudbalkar i konstruktionsstål med I-tvårsnitt samt en platsgjuten betongplatta. En lösning med två huvudbalkar är vanligt förekommande i Sverige (M. Amani, personlig kommunikation, 3 mars 2026). Betongplattan samverkar med stålbalkarna genom svetsbultar som fungerar som studs/skjuvförbindare och svetsas fast på den övre flänsen, vilket gör att konstruktionen kan verka som en samverkanskonstruktion.

Stålbalkarna är utformade med en något smalare övre fläns jämfört med den undre flänsen. Balkarna tillverkas genom svetsning då dimensionerna är för stora för att kunna valsas (M. Öst, personlig kommunikation, 14 april 2026).

7.1.2 Landfästen och upplag

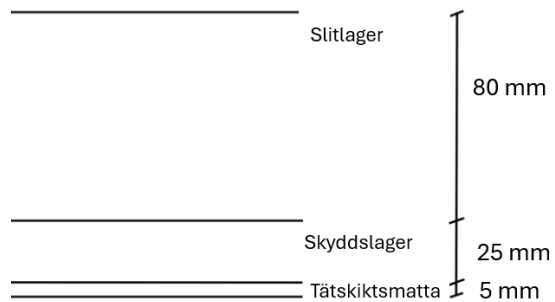
Brons landfästen som tar ner lasterna från bron placeras på vardera sida om motorvägen och utförs i betong (M.Öst, personlig kommunikation, 21 april 2026). Istället för att bygga vingmurar formar vägbankens fyllnadsmaterial naturliga slänter på båda sidor om stödmurarna längs bron påfarter (se figur 7.1). På landfästernas frontmur anordnas en upplagsyta där brolagren monteras. Stålbalkarna och den samverkande brobaneplattan vilar därefter på lagren.



Figur 7.1: Skiss av upplag brostöd

7.1.3 Grundläggning

Brostöd samt anslutande stödmurar förutsätts enligt den tekniska beskrivningen på grundläggas (se appendix C). Vägbank förstärks genom massutskiftning där det nya materialet läggs på så tidigt som möjligt för att påskynda sättningar i marken. Pålars dimensioneras för laster från bron samt påhängslast från oundvikliga sättningar av anslutande vägbank.



Figur 7.2: Skiss av farbanans lager

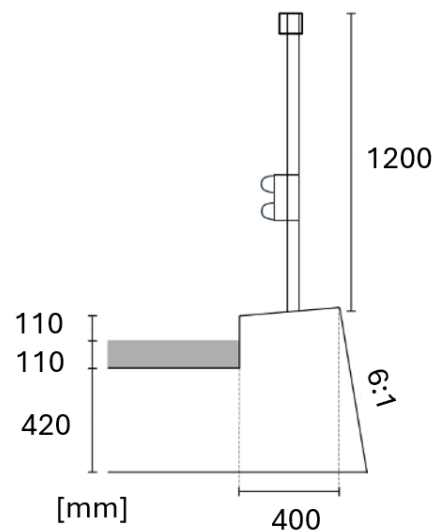
7.1.4 Farbana

Farbanan byggs upp av tre lager som har en sammanlagd tjocklek på 110 mm och utgörs av bitumenbunden beläggning (se appendix C). Övre lagret ska förses med ett 80 mm tjockt slitlager, därefter ett skyddslager på 25 mm som består av tät asfaltsbetong, ABT8, och till sist en tätskiktsmatta på 5 mm (se figur 7.2).

7.1.5 Kantbalkar och räcken

Kantbalkar utförs upphöjda, med design enligt teknisk beskrivning (se appendix C) där överytan lutar inåt och sidoytan lutar utåt med lutning 1:6. Överytan ligger 100 mm över farbanan. Kantbalken görs 400 mm bred och 630 mm hög. Kantbalkarna ska vara utbytbara under brons livslängd.

Räcke placeras på kantbalkarna på båda sidorna av bron och ska förhindra att fordon ramlar ner över brokanten vid olycka. Räcket ska uppfylla kapacitetsklass H2 och vara minst 1,2 meter högt (Trafikverket, 2025). Enligt teknisk beskrivning förses räcket med skyddsnät som ska kunna stå emot last från plogad snö.



Figur 7.3: Kantbalk med räcke

7.1.6 Lager

Bron utformas som fritt upplagd, med frihetsgrader enligt figur 7.4. Lagrens placering tillåter termisk expansion i både tvärlängd och längdled, vilket förhindrar tvångskrafter mellan stöden. Då bron lutar ca 4% från väst till öst kommer egentvängden av bron att medföra en normalkraft i brons längdled. Om de fasta lagren placeras på den lägre östra sidan blir normalkraften tryckande, vilket är mer gynnsamt för

brons verkningssätt än om normalkraften är dragande (M.Öst, personlig kommunikation, 21 april 2026). Lagren ska ha en livslängd på minst 50 år och vara utbytbara. Förslag på lagertyp är TOBE FR4 potlager (Spännteknik SLF AB, 2011).



Figur 7.4: Skiss av frihetsgrader för alla lager

7.1.7 Övergångskonstruktion

För mindre broar används överkonstruktion av typen profilkonstruktion med ett eller flera polymerbaserade tätningselement (Trafikverket, 2025). Fingerkonstruktion används endast på större vägar. Övergångskonstruktionen ska dimensioneras för livslängd på minst 25 år och kan behövas bytas ut under brons livslängd. Exakt typ beror på trafiklast samt förväntade rörelser i konstruktionen.

7.2 Produktionsplan

Balkarna beställs från fabriken i 2 delar, då en vanlig lastbil kan frakta upp till 24 meter långa element utan att söka dispens (V.Rios Villalba, personlig kommunikation, 11 mars 2026). Balkarna svetsas ihop på plats vid sidan av vägen där även gjutformen för betongbanan byggs. Balkarna tillsammans med gjutformen lyfts på plats med kran (M.Öst, personlig kommunikation, 28 april 2026). Om vägen inte kan dras om temporärt kan brobanan gjutas ovan rullande trafik med sänkt hastighet. Detta kräver säkerhetsanordningar som portal och skyddsnät kring gjutformen (M.Öst, personlig kommunikation, 28 april 2026). Eftersom inget mittstöd krävs för konstruktionen undviks grundläggningsarbete i utrymmet mellan vägarna och därmed även trafikstörning.

7.3 Inspektion- och underhållsplan

Bron dimensioneras för 120 års livslängd och kommer kräva inspektion och underhåll kontinuerligt under dess livslängd. Oavsett brotyp utförs en omfattande huvudinspektion med max 6 års intervall (Maxstadh, 2018). Mellan dessa utförs allmänna inspektioner som kompletterar och följer upp ärenden från huvudinspektionerna.

Vid skador av rostskyddsfärgen ska kompletteringsmålning utföras. Mer omfattande ommålningsarbete beräknas nödvändigt efter 15-30 år. Andra kritiska detaljer som behöver kontrolleras och troligen bytas minst en gång under brons livslängd är lager, övergångskonstruktion och kantbalkar. Av arbetsmiljöskäl kan bron och delar av den underliggande motorvägen behövas stängas av temporärt vid inspektion och underhållsarbete.

8

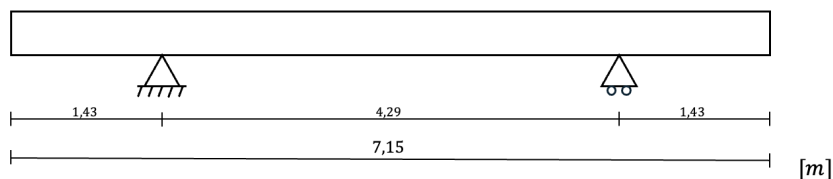
Dimensionering

I detta kapitlet ges en övergripande beskrivning av hur framtagandet av laster, beräkningsmodell samt preliminär dimensionering av bron har genomförts.

8.1 Laster och beräkningsmodell

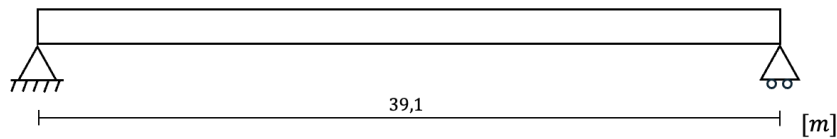
Permanent laster i form av egentygnd från konstruktionsdelar och beläggning, samt variabla laster i form av trafiklast enligt Lastmodell 1 i SS-EN 1991-2 har beräknats. Lasterna har kombinerats i brottgränstillstånd samt bruksgränstillstånd enligt SS-EN 1990 för att fastställa de dimensionerande snittkrafterna. Beräkningarna har utförts i brons tvärled respektive längdled. Detaljerade beräkningar, specifika last-placeringar och tillämpade anpassningsfaktorer redovisas i appendix A. Analysen begränsas till de vertikala lasterna från egentygnd och trafik. Horisontella laster såsom vindlast, bromskrafter, olyckslaster och temperaturlaster har ej beaktats.

I tvärled har broplattan modellerats som en kontinuerlig balk vilande på två stöd (I-balkarna), se figur 8.1. Trafiklasterna har placerats i de mest ogynnsamma lägena för att maximera snittkrafterna i plattan, samt bestämma fördelningsfaktorer för beräkningar i längdled.



Figur 8.1: Systemmodell för beräkningar i tvärled

I längdled har brons mest belastade balk inklusive tillhörande del av broplattan modellerats som ett samverkanstvärsnitt, se figur 8.2. Även dimensionerande snittkrafter i längdled för byggstadiet har fastställts. Detta för att kunna kontrollera om balkarna klarar av att bära egentygnderna samt bygglasterna innan betongen har härdat och samverkan uppstår.



Figur 8.2: Systemmodell för beräkningar i längdled

8.2 Preliminär dimensionering

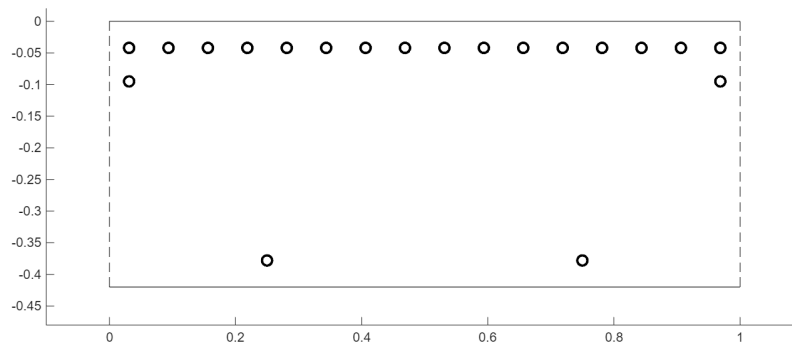
Utifrån de framtagna lasterna, se kapitel 8.1, har en preliminär dimensionering av bron tagits fram.

8.2.1 Tvärled

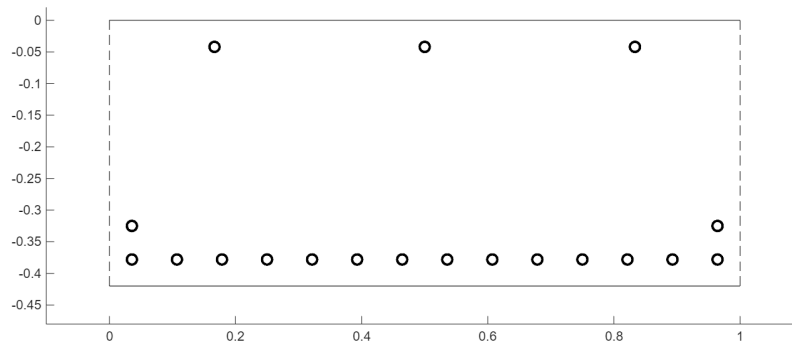
Tvärnitt av brobanan i tvärled har tagits fram genom kontroller i ULS och SLS. Nedan följer en beskrivning av de slutgiltiga tvärsnitten samt vilka kontroller som genomförts.

8.2.1.1 Slutgiltigt tvärnitt

De slutgiltiga tvärsnitten för brobanan i tvärled har dimensionerats med hänsyn till de lastfall som ger maximala moment- och tvärkrafter. Se figur 8.3 och 8.4 nedan för tvärnitt över stöd och för fält i tvärled. Se appendix A.2 för beräkningsunderlag.



Figur 8.3: Tvärnitt över stöd, tvärled



Figur 8.4: Tvärnitt i fält, tvärled

8.2.1.2 Kontroller i SLS

För beräkningar i bruksgränstillstånd har sprickmomentet tagits fram för att bekräfta att tvärsnittet spricker. Efter det har kontroller av betong- och stålpåkänningar, sprickavstånd och sprickbredd genomförts. Slutligen har nedböjningen analyserats. Alla kontroller har gjorts i fält och samtliga uppfyllde kraven. Kontrollerna görs i fält då det är här det största positiva momentet uppstår. Över stöd är momentet negativt och armeringsmängden högre. Största dragspänningarna och därmed sprickbredden förväntas därför uppstå i fält och kontrollerna görs därför här. Se appendix A.2.3 för beräkningsunderlag.

8.2.1.3 Kontroller i ULS

För beräkningar i brottgränstillstånd har tvärsnittets moment- och tvärkraftskapacitet tagits fram och kontrollerats. För tvärkraftskapacitet har kontroller gjorts för både livtrycksbrott och skjuvglidningsbrott. Alla kontroller uppfyllde kraven, förutom tvärkraftskapacitet för skjuvglidningsbrott. Därför har tvärkraftsarmering lagts till och kontrollerats. Ytteligare kontroller av innehåll och centrumavstånd för tvärkraftsarmeringen har även det genomförts. Slutligen har armeringsmängd och verknings sätt kontrollerats. Kontrollerna har gjorts för fält och över stöd. Här betraktas de två stålbalkarna under broplattan som stöd. Alla kontroller uppfyllde kraven. Se appendix A.2.1 och A.2.2 för beräkningsunderlag.

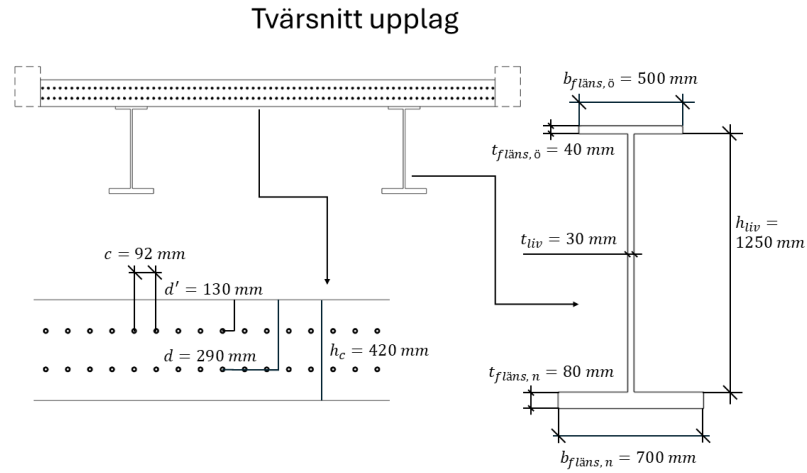
8.2.2 Längdled

Tvärsnitt av brobanan i längdled har tagits fram genom kontroller i ULS och SLS. Här har full samverkan mellan stålbalkarna och brobanan antagits. Nedan följer en beskrivning av det slutgiltiga tvärsnittet samt vilka kontroller som genomförts.

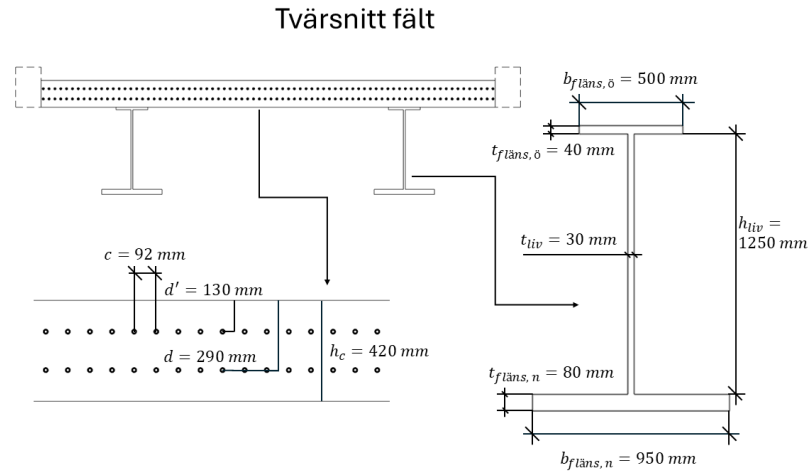
8.2.2.1 Slutgiltigt tvärsnitt

Nedan följer det slutgiltiga tvärsnittet för brobanan i längdled. Tvärsnittet har dimensionerats på samma sätt som i tvärled, dvs med hänsyn till maximala moment-

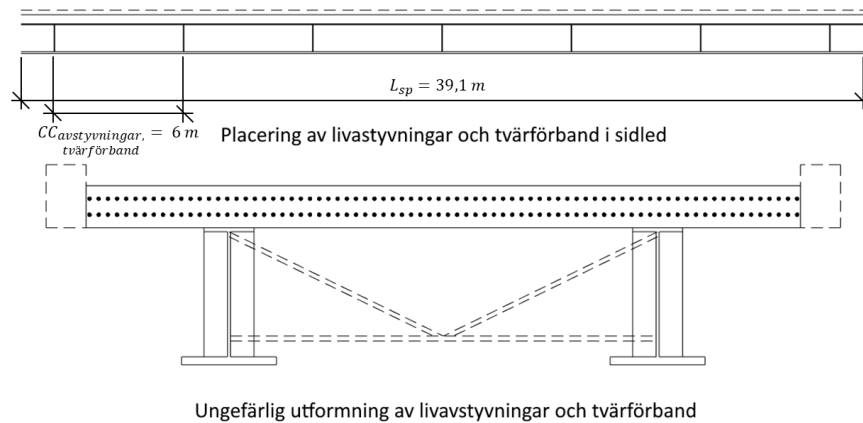
och tvärkrafterna. Brospannet är uppdelat i två delbalkar, en vid upplagen och en i fält med högre momentkapacitet. Bron är totalt 39,1 meter lång, varav fältbalken är 18 meter. Se figur 8.5 och figur 8.6 nedan för illustrationer av tvärsnittet. Se figur 8.7 för placering och ungefärlig utformning av livavstyvare och tvärstag. Se appendix A.4 för beräkningsunderlag.



Figur 8.5: Mått på upplagstvärsnittet i längdled



Figur 8.6: Mått på fälttvärsnittet i längdled



Figur 8.7: Mått på avstyvningar i längdled och konceptuell utformning i tvärled

8.2.2.2 Kontroller i ULS

Dimensionering av brotvärsnitt i längdled har genomförts för två olika tvärsnitt: upplag och fält, med hjälp av iterativa MATLAB-beräkningar.

Dimensionerande moment och tvärkrafter för upplags- och fälttvärsnitt har tagits fram från moment- och tvärkraftskurvor. Utifrån dessa dimensionerande belastningar har tvärsnittens geometri och mått för upplag och fält tagits fram.

Längdarmering i betongplattan har dimensionerats med hänsyn till sprickbreddskrav, täckskikt, minimiarmering och geometriska krav. Efter detta har plastisk momentkapacitet för samverkande tvärsnitt beräknats och kontrollerats mot dimensionerande moment i brottgränstillstånd. Även plastisk momentkapacitet för enbart stål balkarna under gjutskedet har kontrollerats.

Stabilitet mot vippning under gjutskedet har analyserats och kontrollerats med hänsyn till avstånd mellan vippningsavstyvningar. Tvärkraftskapacitet och risk för skjuvbuckling i livplåten har kontrollerats med hänsyn till livavstyvningar.

Samverkan mellan stål och betong har dimensionerats genom beräkning av svetsbultarnas kapacitet och placering.

8.2.2.3 Kontroller i SLS

Långtidseffekter i form av krypning och krympning har beaktats vid bestämning av effektiva tvärsnittskonstanter. Spänningskontroller i bruksgränstillstånd har därefter genomförts för betong, armering och stål med hänsyn till krympning och långtidseffekter. Denna data har sedan använts för att beräkna nedböjning i bruksstadiet. Samtliga verifieringar i både brottgräns- och bruksgränstillstånd uppfyllde kraven enligt tillämpade Eurokoder.

8.2.3 Detaljer

I dessa skrivs slutlig geometri/specifikationer, vilka kontroller som gjorts. Beräkningar och detaljer skrivs i appendix.

8.2.3.1 Svetsbultar

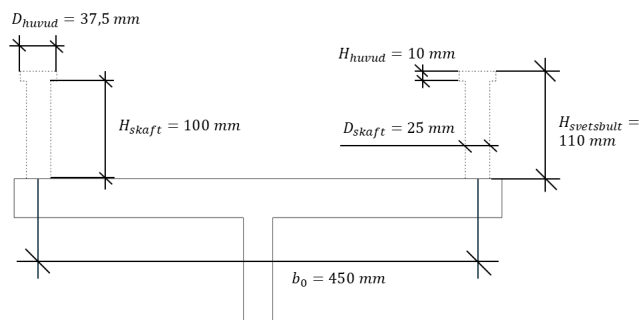
Svetsbultarnas geometri har valts utifrån eurokod-krav och kontrollerats med hänsyn till geometrikrav och kapacitet.

Kapaciteten hos en enskild svetsbult bestämdes genom att jämföra två brottmoder: brott i stålskaftet och brott i den omgivande betongen. Den dimensionerande kapaciteten för svetsbultarna sattes till det lägsta av dessa två värden.

Därefter bestämdes erforderligt centrumavstånd mellan svetsbultrader i längdled för både upplags- och fälttvärsnitt. Se figur 8.8 för utformningen av svetsbultar.

Radavstånd på upplagsbalk: 0,1465 m

Radavstånd på fältbalk: 0,2552 m



Figur 8.8: Mått på svetsbultarna sett i tvärled

8.2.3.2 Svetsar

Stumsvets som sammanfogar de 2 balkdelarna behöver ej beräknas då de antas fullt genomträngda och därmed starkare än grundmaterialet. Halssvetsarna mellan liv och fläns har därmed kontrollerats vilket gav a-måtten 10 mm för den övre svetsen och 15 mm för den undre svetsen. Se appendix A.4.6.3 för beräkningsunderlag.

8.2.3.3 Lager

Lagren har valts för att klara maximal vertikal kraft vid upplag i brottgränstillstånd som är 3,2 MN per balk. Utifrån produktblad från Spännteknik väljs Tobe FR4 Type 40, med frihetsgrader enligt 7.1.6 (Spännteknik SLF AB, 2011).

9

Diskussion

Projektet har undersökt och utvärderat olika brokoncept för en planerad bro över E4 vid Böksjö. Det slutgiltigt valda konceptet blev en samverkansbro. Urvalsprocessen bedöms ge en rimlig grund för jämförelse mellan koncepten, men bygger till stor del på litteratur, rekommendationer och kvalitativa bedömningar snarare än detaljerade numeriska analyser. Detta gör att jämförelsen kan ifrågasättas och att det är svårt att med säkerhet avgöra vilket koncept som faktiskt är mest optimalt för det studerade fallet och de fokusområden som prioriterats.

Samverkansbron bedöms ändå vara ett rimligt alternativ, särskilt då stor vikt lades vid att minimera trafikpåverkan under byggskedet. Prefabricerade stålbalkar möjliggör en snabb montering och begränsar behovet av arbete direkt i vägområdet. Samtidigt är det svårt att avgöra hur stor skillnaden i trafikpåverkan faktiskt hade blivit jämfört med andra brokoncept, eftersom någon mer detaljerad produktions- eller trafikstudie inte genomfördes.

Även viktningen och poängsystemet i urvalsprocessen innebär osäkerheter. Trafikpåverkan, investeringskostnad och arbetsmiljö viktades exempelvis exakt lika högt, vilket kan diskuteras om detta speglar deras faktiska betydelse i projektet eller främst är en följd av den använda viktmetoden. Poängsystemet visar dessutom främst relativa skillnader mellan koncepten och tar begränsad hänsyn till hur stora de faktiska skillnaderna är inom exempelvis kostnad, trafikpåverkan och estetik, samt om skillnaderna är tillräckligt stora för att motivera ett annat val av koncept.

För att öka tillförlitligheten i urvalsprocessen hade mer omfattande analyser av exempelvis kostnad, miljöpåverkan och trafikpåverkan därför behövt genomföras. Detta hade även krävt mer detaljerade tillverknings-, produktions- och underhållsplaner. Samtidigt kan det diskuteras hur rimligt detta är att genomföra i ett tidigt projekteringsskede, då alltför omfattande analyser och optimeringar riskerar att bli mycket tidskrävande utan att ge motsvarande nytta sett till projektets helhet.

Produktionsmetoden och byggbarheten för konceptet verifierades heller inte fullt ut. Även om grundplanerna bedöms vara rimliga genomfördes ingen detaljerad analys av exempelvis arbets- och etableringsytor, utrymme för montagekranar och för montering, eller möjligheten att leda om trafiken under byggskedet. Arbetet bygger generellt på begränsad platsdata och inga geotekniska undersökningar genomfördes, vilket innebär osäkerheter kring grundläggning och underbyggnad som kan ha stor påverkan på vilka lösningar som faktiskt är mest lämpliga för platsen.

Ytterligare en osäkerhet som uppstod under arbetets gång var bedömningen kring valet att undvika mellanstöd. Ett mellanstöd hade potentiellt kunnat minska spannlängden och därmed reducera materialåtgången i de bärande huvudelementen. Samtidigt hade det inneburit grundläggning i vägområdet samt potentiellt mer komplicerade arbetsmoment under byggskedet. Initialt bedömdes lösningen utan mellanstöd kunna förbättra siktförhållandena för trafikanter. I efterhand är det dock svårt att avgöra om siktupplevelsen faktiskt förbättrades, då det längre spannet krävde sidostöd relativt nära vägen och därmed begränsade möjligheten till mer öppna lösningar vid vägkanten.

När det gäller beräkningarna genomfördes dessa generellt på den säkra sidan. Exempelvis baserades egenviktslasten på den tyngre delen av balken samtidigt som dimensioneringen utgick från den del med lägst böjtröghetsmoment, vilket sannolikt medfört en viss överdimensionering. För vippningsstag och livstyvare gjordes dessutom flera förenklingar och ingen fullständig dimensionering genomfördes. Även geometrierna för stålbalkar och betongplatta hölls relativt enkla för att underlätta beräkningarna, trots att mer optimerade lösningar sannolikt hade kunnat minska materialåtgången.

Även om mer optimerade lösningar hade kunnat minska materialåtgången och förbättra utnyttjandegraden kan det samtidigt diskuteras om detta faktiskt hade inneburit den bästa helhetslösningen. En mer optimerad utformning kan skapa ökad komplexitet i tillverkning, montage och framtida underhåll, vilket i senare skeden kan ge större negativa effekter än den nytta som uppnås.

Sammanfattningsvis bedöms samverkansbron vara ett rimligt och genomförbart alternativ för det studerade fallet, men det går samtidigt inte att fastställa att det är den optimala lösningen. Arbetet visar tydligt att beställare, konstruktion, produktion och underhåll ofta prioriterar olika egenskaper, vilket gör det svårt att identifiera ett entydigt bästa alternativ. Samtidigt visar arbetet att alltför detaljerade analyser och optimeringar i tidiga projekteringsskeden inte alltid är försvarbara, eftersom de kan bli mycket tidskrävande utan att ge motsvarande nytta i slutändan.

10

Slutsats

Det slutliga brokonceptet för det studerade fallet valdes till en samverkansbro bestående av två stålbalkar av I-profil och en platsgjuten betongplatta i ett sammanhängande spann över E4. En avgörande faktor vid valet av brotyp var att minimera påverkan på den underliggande trafiken under byggskedet. Samverkansbron bedömdes därför vara ett lämpligt alternativ då prefabricerade stålbalkar möjliggör en snabb och effektiv montering med begränsad trafikpåverkan.

Genom att utforma bron utan mellanstöd kunde byggnation i vägområdet undvikas, vilket minskar både trafikstörningar och arbetsmiljörisker under produktionen. Initialt bedömdes även lösningen utan mellanstöd kunna ge bättre siktförhållanden för trafikanter. I efterhand är det däremot svårt att avgöra om siktupplevelsen faktiskt förbättrades, då det längre spannet medförde att stöden behövde placeras relativt nära vägen och möjligheten till mer öppna och sluttande sidoområden därmed begränsades.

Den preliminära dimensioneringen visar att det framtagna konceptet bedöms kunna uppfylla projektets krav avseende spännvidd, fri höjd och funktion. Arbetet utgör däremot inte ett fullständigt projekteringsunderlag och flera analyser återstår innan ett färdigt konstruktionsförslag kan fastställas.

För vidare arbete bör särskilt utmattning, horisontella laster såsom vind- och olyckslast, samt underbyggnad, tvärstag och grundläggning analyseras mer detaljerat. Även temperaturpåverkan, bromslaster och vidare dimensionering av konstruktionsdetaljer hade behövt studeras närmare, då samtliga av dessa delar kan påverka både dimensioneringen och konstruktionens slutliga utformning.

Även mer detaljerade studier av kostnad och miljöpåverkan genom LCC- och LCA-analyser hade varit intressanta för att jämföra det framtagna konceptet noggrannare med alternativa brotyper över hela livslängden.

Vidare arbete

- Fortsatt dimensionering och kontroller av konstruktionen
 - Horisontell dimensionering för vind- och olyckslast
 - Utmattningsberäkningar
 - Temperaturpåverkan
 - Vridstyvhet
 - Vidare dimensionering av konstruktionsdetaljer och infästningar

- FEM-analys
- Fortsatt optimering av konstruktionen
 - Avkortning av armering
 - Varierande balkhöjd
 - Utvärdering av optimeringens påverkan på produktion och montage
- Dimensionering av underbyggnad och grundläggning
- Detaljerad produktionsplan och trafikhantering under byggskedet
- Detaljerad underhållsplan med fokus på minimal trafikpåverkan
- Detaljerade LCC- och LCA-analyser

Litteraturförteckning

- Abed, J., Rayburg, S., Rodwell, J., & Neave, M. (2022). A review of the performance and benefits of mass timber as an alternative to concrete and steel for improving the sustainability of structures. *Sustainability*, 14(9), 5570. <https://doi.org/10.3390/su14095570>
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner Del 1*. Institutionen för Bygg- och miljöteknik Avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2014). *Bärande konstruktioner Del 2*. Institutionen för Bygg- och miljöteknik Avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola.
- Azizinamini, A., Boothby, T., Shekar, Y., & Barnhill, G. (1994). Old Concrete Slab Bridges. *Journal of Structural Engineering*, 120(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1994\)120:11\(3284\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1994)120:11(3284))
- Balázs, G. L., Farkas, G., & Kovács, T. (2011). Reinforced and Prestressed Concrete Bridges. I *Reinforced Concrete Design to Eurocodes*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1997-2_22
- Burström, P. G. (2021). *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper / 4:e upplagan*. Studentlitteratur.
- Chen, W.-F., & Duan, L. (Red.). (2014). *Bridge Engineering Handbook: Superstructure Design* (2. utg.). CRC Press.
- Collings, D. (2005). *Steel-Concrete Composite Bridges*. Thomas Telford Publishing.
- COWI. (2025). *Ostlänken* (tekn. rapport). Trafikverket.
- Folkbladet. (2024). Utgrävningar i Kolmården – en annan bild av stenåldern. *Folkbladet*. <https://www.folkbladet.se/nyheter/kolmarden/artikel/utgravningar-i-kolmarden-en-annan-bild-av-stenalderen/17e9gw1j>
- för Förbehandling och rostskyddsmålning, K. (2024). *Teknisk specifikation SIS/TS 44:2024* (tekn. rapport). Svenska Institutet för Standarder.
- Galustanian, N., Elshazli, M., Kaur, H., Elsis, A., & Orton, S. (2024). The Development of Continuous Connections for Multi-Span Precast Prestressed Girder Bridges: A Review. *Civil Engineering Design*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/civileng6020016>
- Hambly, E. C. (1991). *Bridge Deck Behaviour* (2. utg.). E & FN Spon.
- Hällmark, R. (2018). *Composite Bridges, Innovative ways of achieving composite action* [doktorsavhandling, Luleå University of Technology].
- Jáuregui, D. V., Licon-Lozano, A., & Kulkarni, K. (2010). Higher-Level Evaluation of a Reinforced Concrete Slab Bridge. *Journal of Bridge Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000047](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000047)

- Johnson, R. P. (2004). *Composite Structures of Steel and Concrete* (3. utg.). Blackwell Publishing.
- Johnson, R. P. (1994). *Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings* (2nd). Blackwell Scientific Publications.
- KTH. (2021). *Byggande i betong* [Hämtad 12 mars 2026]. <https://www.byv.kth.se/avd/betong/byggande-i-betong-1.25040>
- Labudkova, J. (2016). Comparing the Rigidity of the Prestressed and Non-Prestressed Foundation. *Jurnal Teknologi*, 78(5). <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8500>
- Lebet, J. P., & Hirt, M. A. (2013). *Steel bridges: Conceptual and Structural Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges*. EPFL Press.
- Leonhardt, F. (1999). *Bridges: Aesthetics and Design*. MIT Press.
- Maxstadh, P. (2018). *Förvaltning: En övergripande brohandledning*. Skogforsk, Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut.
- Morcous, G., Maguire, M., & Tadros, M. K. (2019). High Performance Materials for Concrete Bridge Construction. *Recent Research in Sustainable Structures*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34216-6_4
- Naturvårdsenheten, naturskyddsfunktionen. (2018). *Handlingsplan för grön infrastruktur i Östergötland* (Handlingsplan). Länsstyrelsen Östergötland.
- Saferoad Traffic AB. (2026). *Produktkatalog: broräcken* [Hämtad från Saferoads produkt databas]. <https://www.saferoad-rs.com/se/produkter/produktkatalog/?page=1&category=parapet&sort=name-asc>
- Santos, R., Carvalho, H., Santos, R., Bittencourt, T., & Caldas, R. (2019). Comparative Study of Steel–Concrete Composite Beams for Railway Bridges. *Engineering Structures*.
- Shan, L., m. fl. (2024). The Development of Continuous Connections for Multi-Span Precast Prestressed Girder Bridges: A Review. *Civil Engineering Design*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/civileng6020016>
- Spännteknik SLF AB. (2011). *TOBE FR4 potlager*. <https://www.spannteknik.se>
- SSAB. (u. å). *Nya regler för brobygge banar väg för SSABs rosttröga stål* [Hämtad 10 mars 2026]. <https://www.ssab.com/sv-se/varumarken-och-produkter/ssab-weathering/artiklar/trafikverkets-nya-regler-for-brobygge>
- Svenska institutet för standarder (SIS). (2000). *Brolager – Del 1: Allmänna regler för dimensionering* (tekn. rapport Nr SS-EN 1337-1). Svenska institutet för standarder (SIS).
- Svenska institutet för standarder (SIS). (2002a). *Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk* (tekn. rapport Nr SS-EN-1990:2002). Svenska institutet för standarder (SIS).
- Svenska institutet för standarder (SIS). (2026). *Eurokod 1 – Laster – Del 1-6: Last under byggskedet* (tekn. rapport Nr SS-EN-1991-1-6:2026). Svenska institutet för standarder (SIS).
- Svenska institutet för standarder (SIS). (2003). *Eurokod 1 : Laster på bärverk - Del 2: Trafiklast på broar* (tekn. rapport Nr SS-EN 1991-2: 2003). Svenska institutet för standarder (SIS).
- Svenska institutet för standarder (SIS). (2002b). *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-1: Allmänna laster – Tunghet, egentyngd, nyttig last förbyggnader* (tekn. rapport Nr SS-EN-1991-1-1:2002). Svenska institutet för standarder (SIS).

- Svenska institutet för standarder (SIS). (2005a). *Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader* (tekn. rapport Nr SS-EN 1992-1-1:2005). Svenska institutet för standarder (SIS).
- Svenska institutet för standarder (SIS). (2006). *Eurokod 3 : Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-5: Plåtbalkar* (tekn. rapport Nr SS-EN 1993-1-5:2006). Svenska institutet för standarder (SIS).
- Svenska institutet för standarder (SIS). (2005b). *Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader* (tekn. rapport Nr SS-EN 1993-1-1:2005). Svenska institutet för standarder (SIS).
- Svenska institutet för standarder (SIS). (2005c). *Eurokod 4 - Dimensionering av samverkanskonstruktioner i stål och betong - Del 2: Broar* (tekn. rapport Nr SS-EN 1994-2:2005). Svenska institutet för standarder (SIS).
- Svenskt Trä. (u. å). *Trä i infrastruktur - träbroar* [Hämtad 8 mars 2026]. <https://www.svensktrtra.se/bygg-med-tra/byggande/bygga-i-tra/tra-i-infrastruktur/>
- Svenskt Trä. (2019). *Träbroar* [Hämtad 8 mars 2026]. <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktionsexempel/trabroar/>
- Tekniska museet. (2021). *Metallbearbetning*. <https://www.tekniskamuseet.se/lar-dig-mer/100-innovationer/metallbearbetning/>
- Tomek, R. (2017). Advantages of Precast Concrete in Highway Infrastructure Construction [Creative Construction Conference 2017, CCC 2017, 19-22 June 2017, Primosten, Croatia]. *Procedia Engineering*, 196, 176–180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.188>
- Tonias, D. E., & Zhao, J. J. (2014). *Bridge Engineering* (4. utg.). McGraw-Hill Education.
- Trafikverket. (2014). *BaTMan – Kodförteckning och beskrivning av brotyper*.
- Trafikverket. (2022). *Broprojekteringshandbok utgåva 1*. Brosamverkan.
- Trafikverket. (2017, 13. februari). *Krav Brounderhåll TDOK 2013:0415 Version 3.0* (tekn. rapport). Trafikverket.
- Trafikverket. (2024a). *Ostlänken – StoryMap* [Hämtad 19 februari 2026]. <https://gis.trafikverket.se/portal/apps/storymaps/stories/22cfe872abe04ce6bedb296e7bc4b820>
- Trafikverket. (2024b). *Ostlänken – StoryMap* [Hämtad 19 februari 2026]. <https://gis.trafikverket.se/portal/apps/storymaps/stories/2e69b68623294455b1d8a03efb48104c>
- Trafikverket. (2025). *TRVINFRA-00227 Krav Version 6.0* (tekn. rapport). Trafikverket.
- Transportstyrelsen. (2018). *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder (TSFS 2018:57)* (tekn. rapport). Transportstyrelsen.
- Träguiden. (2015). *Hängvers- och sprängverksbroar*. <https://www.traguiden.se/planning/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/hangverks--och-sprangverksbroar/>
- World Economic Forum. (2022). *Here's how steel and cement could help turn climate change on its head*. <https://www.weforum.org/stories/2022/05/steel-and-cement-can-drive-the-decade-of-action-on-climate-change-this-is-how/>
- Vägverket. (1996). *Broprojektering - En handbok*.

Innehåll Appendix

Appendix A – Beräkningar	V
A.1 Laster i tvärled	IX
A.1.1 Fördelningsfaktorer	XII
A.2 Dimensionering i tvärled	XV
A.2.1 ULS-beräkningar i fält	XV
A.2.2 ULS-beräkningar över stöd	XXIV
A.2.3 SLS-beräkningar	XXXIII
A.3 Laster i längdled	XLIII
A.4 Dimensionering i längdled	XLVII
A.4.1 Materialegenskaper	XLVII
A.4.2 Dimensionerande laster	XLVIII
A.4.3 Tvärsnittens mått	XLVIII
A.4.4 Beräkningar brottgränstillstånd (ULS)	XLIX
A.4.5 Beräkningar bruksgränstillstånd (SLS)	LX
A.4.6 Detaljberäkningar	LXIII
Appendix B – MATLAB-skript	LXX
B.1 Indatafil med geometrier	LXX
B.2 Indatafil med materialdata	LXXV
B.3 Indata trafiklaster	LXXVIII
B.4 Fördelningsfaktor utbredd trafiklast	LXXIX
B.5 Fördelningsfaktor punktlaster från trafiklast	LXXXIV
B.6 Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last i fält	LXXXIX
B.7 Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last över stöd	XCVII
B.8 Maxmoment och maximal tvärkraft i brons längdled	CVI
B.9 Nedböjning i brons längdled	CX
B.10 ULS-beräkningar i fält - tvärled	CXIV
B.11 ULS-beräkningar över stöd - tvärled	CXXI
B.12 SLS-beräkningar - tvärled	CXXVIII
B.13 ULS- och SLS-beräkningar i längdled	CXXXIII
B.14 Svetsdimensionering	CLV
Appendix C – Teknisk beskrivning	CLIX
Appendix D – Ritningar	CCIX

Appendix A – Beräkningar

Beteckningar

Här följer en sammanställning av de viktigaste beteckningarna som används i rapporten.

Versaler

A_c	Betongplattans area	I_{sam}	Yttröghetsmoment för hela tvärsnittet
$A_{c,beff}$	Effektiv betongarea	I_{Ib}	Stålbalkens eget böjtröghetsmoment
A_{Ib}	Stålbalkens tvärsnittsarea	$I_{c,beff}$	Betongplattans eget tröghetsmoment
$A_{arm,ö},$ $A_{arm,n}$	Armeringsarea övre/nedre lager	I_{ef}	Effektivt tröghetsmoment med hänsyn till långtidseffekter
$A_{s,min}$	Minimiarmering	I_T	St. Venants vridtröghet
$A_{s,max}$	Maximiarmering	I_w	Välvtröghetsmoment
A_{ef}	Effektiv area med hänsyn till långtidseffekter	I_z	Tröghetsmoment kring svag axel
A_{sw}	Area tvärkraftsarmering	I_2	Tröghetsmoment i stadium 2
B_{kb}	Körbanebredd	L_e	Avstånd mellan momentnollpunkter
D_{skaft}	Skaftdiameter svetsbult	L_{cr}	Knäcklängd (vippning)
D_{huvud}	Huvuddiameter svetsbult	$L_{däck}$	Längd av lastfält för punktlast
E_s	Elasticitetsmodul stål	L_{upplag}	Upplagslängd
E_{cm}	Elasticitetsmodul betong (medelvärde)	M_{cr}	Kritiskt vippningsmoment
$E_{c,ef}$	Effektiv elasticitetsmodul betong med hänsyn till krypning	$M_{pl,Rd}$	Plastisk momentkapacitet (komposit)
$F_{cs,ö}, F_{cs,n}$	Krympkraft i övre/nedre armering	$M_{pl,Rd,gjut}$	Plastisk momentkapacitet stålbalk ensam
G_k	Skjuvmodul stål	$M_{b,Rd}$	Bärförmåga mot vippning
G_{tot}	Plattans totala egentygnd inkl. asfaltskikt	M_{Ed}	Dimensionerande moment
H_{skaft}	Skafthöjd svetsbult	M_{Rd}	Momentkapacitet
H_{huvud}	Huvudhöjd svetsbult	N_c	Betongens tryckkapacitet
$H_{svetsbult}$	Total höjd svetsbult	$N_{fläns,ö},$ $N_{fläns,n}$	Tryck-/dragkapacitet flänsar
$N_{liv,tryck},$ $N_{liv,drag}$	Tryck-/dragkapacitet liv	P	Förspänningslast, används ej
P_{Rd}	Kapacitet per svetsbult	P_{punkt}	Punktlast
Q_1	Lastfält 1 boggilast	Q_2	Lastfält 2 boggilast
R_A	Reaktionskraft vid stöd	S_c	Statiskt moment för betongplattan
V_{Ed}	Dimensionerande tvärkraft	$V_{bw,Rd}$	Tvärkraftsbärförmåga (skjuvbuckling)
$V_{Rd,max}$	Maximal tvärkraftskapacitet (livtrycksbrott)	$V_{Rd,c}$	Tvärkraftskapacitet utan armering (skjuvglidning)

Gemener

a	Svetsstorlek / livavstyvningarnas centrumavstånd	f_{yd}	Dimensionerande sträckgräns stål
$a_u, a_{\bar{o}}$	Svetsareal undre/övra svets	f_{yk}	Karakteristisk sträckgräns armering
b	Tvärsnittets bredd	f_{ywd}	Dimensionerande sträckgräns tvärkraftsarmering
b_0	Centrummått mellan yttre svetsbultar	h	Tvärsnittshöjd
b_{e1}, b_{e2}	Medverkande bredd vardera sida	h_c	Betongplattans tjocklek
b_{eff}	Effektiv medverkande betongbredd	h_{liv}	Livhöjd
$b_{fläns, \bar{o}}, b_{fläns, n}$	Bredd övre/nedre fläns	h_0	Effektiv tvärsnittstjocklek (krypning)
c	Utskjutande del av fläns (tvärsnittsklass)	h_s	Avstånd mellan flänsarnas tyngdpunkter
c_{nom}	Nominellt täckskikt	k_c	Faktor för minimiarmering (komposit)
c_{min}	Minsta täckskikt	n	Antal armeringsstänger
c_s	Centrumavstånd armering	q_1	Lastfält 1 utbredd trafiklast
$c_{sv, längd}$	Centrumavstånd svetsbultar i längdled	q_2	Lastfält 2 utbredd trafiklast
d	Avstånd betongöverkant till nedre dragarmering	q_{KB}	Last för kantbalk inkl. räck i dess centrum
d'	Avstånd betongöverkant till övre armering	q_{tot}	Total utbredd last
d_g	Största stenstorlek i ballast	s	Centrumavstånd tvärkraftsarmering
e_0, e_1, e_2, e_3	Avstånd mellan delarnas tyngdpunkter och komposit-tyngdpunkten	$t_{fläns, \bar{o}}, t_{fläns, n}$	Tjocklek övre/nedre fläns
f_{cd}	Dimensionerande tryckhållfasthet betong	t_{liv}	Livplåtens tjocklek
f_{ck}	Karakteristisk tryckhållfasthet betong	tp_{tot}	Sammansatt tyngdpunkt
f_{cm}	Medelvärde tryckhållfasthet betong	$v_{l, Ed}$	Elastisk skjuvkraft per löpmet
f_{ctm}	Medelvärde draghållfasthet betong	w_k	Karakteristisk sprickbredd
f_u	Brottgräns stål/svetsbult	x	Neutralaxelns läge
f_y	Sträckgräns stål	z	Inre momentarm / avstånd från neutralaxel

Övriga

$\alpha_{f_{egentyngd}}$	Fördelningsfaktor för egen- tyngder i längdledsberäkning- ar	χ_w	Reduktionsfaktor skjuvbuck- ling
$\alpha_{f_{punkt}}$	Fördelningsfaktor för trafik- punktlaster	χ_{LT}	Reduktionsfaktor vippning
$\alpha_{f_{utbredda}}$	Fördelningsfaktor för utbredda trafiklaster	ϕ_{LT}	Faktor vippning
α	Modulförhållande E_s/E_{cm}	γ_c	Partialkoefficient betong
α_{ef}	Effektivt modulförhållande med hänsyn till krypning	γ_s	Partialkoefficient armering
α_{LT}	Imperfektionsfaktor vippning	γ_V	Partialkoefficient svetsbult
α_{cc}, α_{ct}	Reduktionsfaktorer betong	γ_{M1}	Partialkoefficient stål (buck- ling)
α_{cw}	Faktor för normalkraftens in- verkan på tvärkraft	γ_{M2}	Partialkoefficient
$\alpha_{stål}$	Faktor för ekvivalent ståltvär- snitt	$\gamma_{G,j}$	Anpassningsfaktor för perma- nenta laster
$\bar{\lambda}_{LT}$	Relativ slankhet vippning	γ_Q	Anpassningsfaktor för variabla laster
$\bar{\lambda}_w$	Relativ slankhet skjuvbuckling	κ_τ	Skjuvbucklingsfaktor
β_i	Reduktionsfaktor medverkan- de bredd	ρ	Reduktionsfaktor moment- tvärkraftinteraktion
β_{LT}	Faktor i vippningsformel	ρ_s	Minimeringsgrad armering
β_w	Korrelationsfaktor för S355	ρ_w	Armeringsinnehåll tvär- kraftsarmering
ε	Töjning	$\rho_{w,min}$	Minsta armeringsinnehåll tvär- kraftsarmering
ε_{cs}	Total krympning	σ	Normalspänning
ε_{cd}	Torkkrympning	$\sigma_\perp, \tau_\perp, \tau_\parallel$	Svetsens spänningskomponen- ter
ε_{ca}	Autogen krympning	σ_{eq}	Ekvivalent svetsningsspänning
ε_{cu}	Brottöjning betong	θ	Tryckstrutens vinkel (tvär- kraft)
ε_{syd}	Flytöjning armering	η	Faktor för skjuvbuckling
φ	Kryptal	$\psi_{0,i}$	Reduktionsfaktor för variabla laster
ϕ	Armeringsdiameter	ξ_j	Reduktionsfaktor för perma- nenta laster

A.1

Laster i tvärled

Moment och tvärkraft har beräknats i flera lastkombinationer för både brottgränstillstånd (ULS) och bruksgränstillstånd (SLS) enligt SS-EN 1990. I de fall då egentyngheden utgör den dominerande lasten i brottgränstillstånd har ekvation 6.10a tillämpats, varvid de variabla lasterna har reducerats:

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

Vid trafiklast som huvudlast har ekvation 6.10b tillämpats, varvid egentyngheden reducerats:

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

I bruksgränstillstånd (SLS) har ekvation 6.14b använts för att beräkna den karakteristiska lastkombinationen:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

Ekvation 6.15b har tillämpats vid beräkning av den frekventa lastkombinationen i bruksgränstillstånd:

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

För den kvasipermanenta lastkombinationen i bruksgränstillstånd har ekvation 6.16b tillämpats:

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

Tabell A.1.1: Sammanställning av partialkoefficienter och kombinationsfaktorer från SS-EN 1990 samt TSFS:2018:57

Gränst.	Kombination	$\gamma_{G,stål}$	$\gamma_{G,betong}$	$\gamma_{G,gjut}$	$\gamma_{G,asf}$	γ_Q	ψ_{boggie}	$\psi_{utbredd}$
ULS	Trafik huvudlast	$0,89 \cdot 1,2$	$0,89 \cdot 1,35$	–	$0,89 \cdot 1,35$	1,5	1,0	1,0
ULS	Egentyngd huvudl.	1,2	1,35	–	1,35	1,5	0,75	0,40
ULS	Byggskedet	1,2	1,35	1,5	–	–	–	–
SLS	Karakteristisk	1,0	1,0	–	1,0	1,0	1,0	1,0
SLS	Frekvent	1,0	1,0	–	1,0	1,0	0,75	0,40
SLS	Kvasipermanent	1,0	1,0	–	1,0	1,0	0	0

Trafiklasterna har beräknats enligt lastmodell 1 (LM1) i SS-EN 1991-2. Trafiklasternas storheter är hämtade från SS-EN 1991-2, och anpassningsfaktorerna från *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder* (TSFS 2018:57). Tabell A.1.2 nedan redovisar värdena som använts i beräkningarna. Utöver trafiklasterna har egentyingderna för beräkning i brons tvärled tagits fram, de specifika värdena presenteras i tabell A.1.3. I tvärledsanalysen har stålets egentyngd exkluderats eftersom stålbalkarna fungerar som stöd.

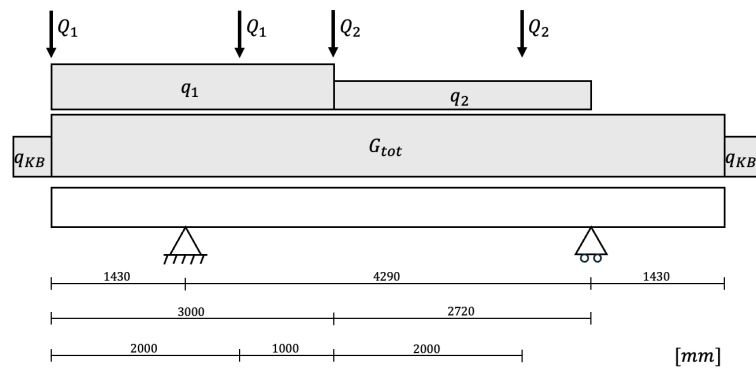
Tabell A.1.2: Indata för trafiklaster enligt Lastmodell 1 (LM1).

Område	Lasttyp	Symbol	Karakt. värde	Anpas. faktor	Dim. värde
Lastfält 1	Boggilast	Q_{1k}	300 kN	0,9	270,0 kN
	Utbredd last	q_{1k}	9,0 kN/m ²	0,8	7,2 kN/m²
Lastfält 2	Boggilast	Q_{2k}	200 kN	0,9	180,0 kN
	Utbredd last	q_{2k}	2,5 kN/m ²	1,0	2,5 kN/m²
Restyta	Utbredd last	q_{rk}	2,5 kN/m ²	1,0	2,5 kN/m²

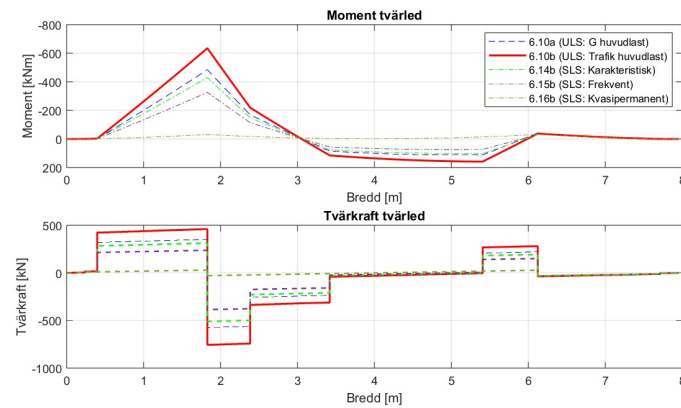
Tabell A.1.3: Sammanställning av permanenta laster och materialvärden i tvärled. Utbredd last från kantbalk och räcken har omräknats till punktlaster

Komponent	Tunghet	Lastvärde
Betongplatta	25 kN/m ³	10,5 kN/m
Asfaltskikt	25 kN/m ³	2,75 kN/m
Kantbalk	25 kN/m ³	6,30 kN
Broräcke	0,7 kN/m i längdled	0,70 kN

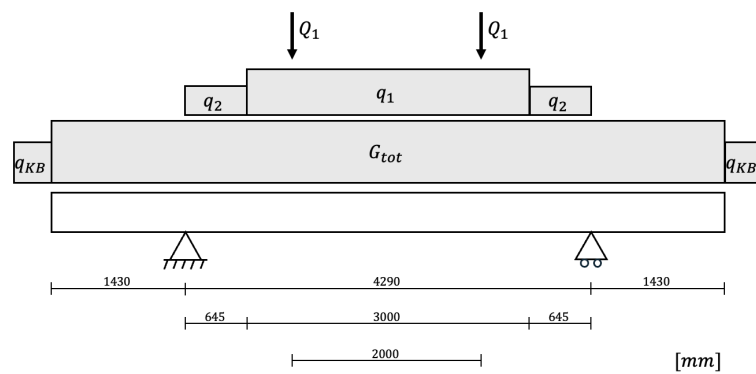
Broplattan har modellerats som en kontinuerlig balk vilande på två stöd (I-balkarna). Två olika fall har analyserats med hjälp av en CALFEM-modell i MATLAB för att fastställa maximalt moment och tvärkraft för de olika lastkombinationerna (se skript B.6 och B.7). Ett där de variabla lasterna är koncentrerade över stöd, och ett där de är koncentrerade i fält enligt figurerna A.1.1 respektive A.1.3. Resulterande snittkrafter samt plottar för respektive lastfall redovisas i figurer A.1.2, A.1.4 samt tabell A.1.4.



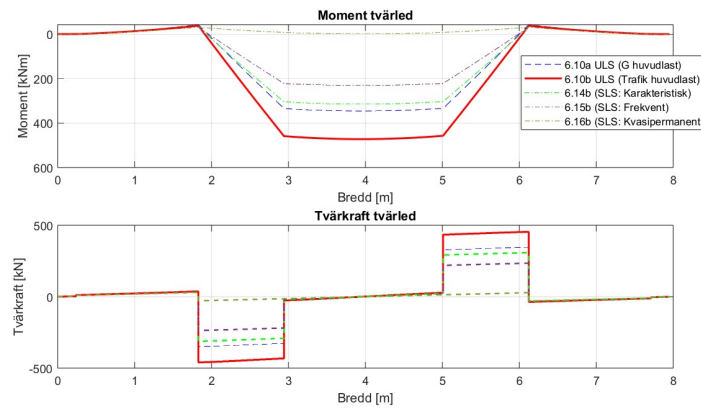
Figur A.1.1: Lastkombination för max last över stöd



Figur A.1.2: Moment och tvärkraft kopplat till lastplaceringarna enligt figur A.1.1



Figur A.1.3: Lastkombination för max last i fält



Figur A.1.4: Moment och tvärkraft kopplat till lastplaceringarna enligt figur A.1.3

I tabell A.1.4 redovisas samtliga dimensionerande snittkrafter som används i efterföljande kontroller. I enlighet med reduceringsregler i SS-EN 1992-1-1, har momentet vid upplagskant valts som dimensionerande värde vid lastfallet då maximal last placeras över stöd. Detta för att undvika den teoretiska momenttoppen över stödets centrum och erhålla ett mer realistiskt dimensioneringsvärde.

Tabell A.1.4: Dimensionerande snittkrafter i bruksgränstillstånd och brottgränstillstånd

Fall	SLS 6.14b		ULS 6.10b	
	M_{Ed} [kNm]	V_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	V_{Ed} [kN]
Max över stöd	429.90	508.91	526,28	755.04
Max i fält	314.60	311.60	472.20	459.06

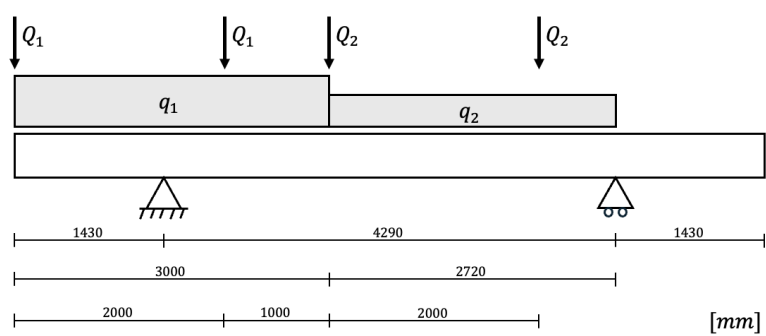
A.1.1 Fördelningsfaktorer

Genom en analys i brons tvärled, där trafiklasterna placerats i mest ogynnsamma läge för den ena stålbalken, har fördelningsfaktorer tagits fram. Faktorerna beskriver hur stor andel av trafikens punktlaster respektive utbredda laster som belastar den mest belastade balken. För egentyngderna antas lasten fördelas lika mellan balkarna eftersom beräkningsmodellen är symmetrisk.

$$\alpha_{fpunkt} = 0,820$$

$$\alpha_{futbredd} = 0,824$$

$$\alpha_{fegentyngd} = 0,5$$



Figur A.1.5: Trafiklasternas placering vid bestämning av fördelningsfaktorerna för punktlaster och utbredda laster

A.2

Dimensionering i tvärled

I detta kapitel visas beräkningar för kontroller av tvärsnittet i tvärled, både i bruksgräns -och brottgränstillstånd. Slutgiltiga mått är framtagna med hjälp av en iterativ process där olika tvärsnitt analyserats med hjälp av koder i MATLAB. Beräkningar görs i ett snitt i fält och ett snitt över stöd.

A.2.1 ULS-beräkningar i fält

Nedan redovisas kontrollerna för brottgränstillstånd för ett snitt i fält. Materialegenskaper och ekvationer är tagna från (Al-Emrani m. fl., 2013). Se appendix B.10 för tillhörande MATLAB-kod.

A.2.1.1 Materialegenskaper

Armering B500B

$$E_{armering} = 200 \text{ GPa} \quad (\text{B2-26})$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.11})$$

$$\gamma_s = 1,5$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad (\text{B2-25})$$

Betong C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.1})$$

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.1})$$

$$\alpha_{cc} = 1,0$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = 23,333 \text{ MPa} \quad (\text{B2-3})$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.2})$$

$$f_{ctk0.5} = 2,7 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.2})$$

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

$$f_{ctd} = 1,4667 \text{ MPa} \quad (\text{B2-10})$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa} \quad (\text{Tabell B2.3})$$

$$\gamma_{cE} = 1,2$$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}} = 28,333 \text{ GPa} \quad (\text{B2-15})$$

A.2.1.2 Dimensionerande Laster

Maxlaster i fält givet framtagna grafer.

$$V_{Ed,f} = 459,06 \text{ kN} \quad (\text{Tabell A.1.4})$$

$$M_{Ed,f} = 472,20 \text{ kNm} \quad (\text{Tabell A.1.4})$$

A.2.1.3 Armering

Diameter för drag -och tryckarmering samt tvärkraftsarmering - itereras fram

$$\phi = 0,016 \text{ m}$$

$$\phi_{tvar} = 0,008 \text{ m}$$

Minsta täckande betongskikt

$$\Delta c_{dev} = 0,01 \text{ m} \quad (\text{B4-26})$$

$$c_{min} = \phi \quad (\text{B4-25})$$

Nominellt mått på täckande betongskikt

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 0,026 \text{ m} \quad (\text{B4-24})$$

Minsta fria avstånd

$$d_g = 0,032 \text{ m} \quad (\text{COWI})$$

$$k_1 = 1,0 \quad (\text{B4-27})$$

$$k_2 = 0,005 \quad (\text{B4-27})$$

$$a_{min} = \max(\phi \cdot k_1, d_g + k_2, 0,02) = 0,037 \text{ m} \quad (\text{B4-27})$$

Maximalt antal stänger i ett lager, avrundat nedåt

$$n_{max} = \frac{1}{a_{min} + \phi} = 18 \text{ st}$$

A.2.1.4 Tvärsnittskonstanter

Tvärsnittets bredd och höjd

$$b = 1 \text{ m}$$

$$h = 0,42 \text{ m, itereras fram}$$

Avstånd mellan betongens överkant till dragarmeringens 1:a lager

$$d_1 = h - (c_{nom} + \phi_{tvar} + \frac{\phi}{2}) = 0,378 \text{ m}$$

Avstånd mellan betongens överkant till dragarmeringens 2:a lager

$$d_2 = h - (c_{nom} + \phi_{tvar} + a_{min} + \phi \cdot 1,5) = 0,325 \text{ m}$$

Avstånd mellan betongens överkant till tryckarmering

$$d' = (c_{nom} + \frac{\phi}{2} + \phi_{tvar}) = 0,042 \text{ m}$$

A.2.1.5 Armeringsmängd

Armeringsarea för en stång

$$A_{si} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 2,0106 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Uppskattad total armeringsmängd

$$z = 0,9 \cdot d_1 = 0,3402 \text{ m} \quad (\text{B4-14})$$

$$A_s = \frac{M_{Edf}}{f_{yd} \cdot z} = 0,0032 \text{ m}^2 \quad (\text{B4-16})$$

Totalt antal armeringsstänger i drag, avrundat uppåt

$$n_f = \frac{A_s}{A_{si}} = 16 \text{ st}$$

Antal stänger per rad, itereras fram

$$n_{f1} = 14 \text{ st, lager 1}$$

$$n_{f2} = 2 \text{ st, lager 2}$$

Area dragarmering

$$A_{s1} = A_{si} \cdot n_{f1} = 0,0028 \text{ m}^2, \text{ lager 1}$$

$$A_{s2} = A_{si} \cdot n_{f2} = 4,0212 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, \text{ lager 2}$$

A.2.1.6 Konstanter

$$\alpha = 0,81 \quad (\text{B5.1})$$

$$\beta = 0,416 \quad (\text{B5.1})$$

$$\epsilon_{cu} = 3,5 \cdot 10^{-3} \quad (\text{B2.4})$$

A.2.1.7 Behövs tryckarmering?

Antar att dragarmeringen flyter och att tryckarmeringen är linjärelastisk

Löser neutralaxeln utan tryckarmering

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = 0,0648 \text{ m} \quad (\text{B5-23})$$

Hittar kritiska momentet

$$M_{Rd1} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot (d_1 - \beta \cdot x) = 429,65 \text{ kNm} \quad (\text{B5-24})$$

Kontrollerar om tryckarmering behövs

$$M_{Rd1} < M_{Edf}$$

=> Tryckarmering behövs!

Tar fram restmomentet som måste tas upp av tryckarmeringen

$$\Delta M = M_{Edf} - M_{Rd1} = 42,553 \text{ kNm}$$

Antar linjärelastisk tryckarmering

$$\epsilon' = \frac{x - d'}{x} \cdot \epsilon_{cu} = 0,0012 \quad (\text{B5-25})$$

$$\sigma'_s = E_{armering} \cdot \epsilon' = 245,97 \text{ MPa}$$

Löser ut A'_s

$$A'_s = \frac{\Delta M}{\sigma'_s \cdot (d_1 - d')} = 5,1488 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{B5-24})$$

Antal stänger i tryckarmeringen, avrundat uppåt

$$n'_f = \frac{A'_s}{A_{si}} = 3 \text{ st}$$

A.2.1.8 Kontrollerar så att antagandet stämmer - Antar först att all armering flyter

Löser ut x

$$x_1 = \frac{f_{yd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) - f_{yd} \cdot A'_s}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = 0,0622 \text{ m} \quad (\text{B5-23})$$

Deformationsvillkor

$$\epsilon_{syd} = \frac{f_{yd}}{E_{armering}} = 0,0022 \quad (\text{B2-28a})$$

$$\epsilon'_1 = \left(\frac{x_1 - d'}{x_1} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0011 \quad (\text{B5-25})$$

$$\epsilon_1^1 = \left(\frac{d_1 - x_1}{x_1} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0178 \quad (\text{B5-26})$$

$$\epsilon_1^2 = \left(\frac{d_2 - x_1}{x_1} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0148 \quad (\text{B5-26})$$

Kontroll

$$\epsilon_1^1 > \epsilon_1^2 > \epsilon'_1 > \epsilon_{syd}$$

=> Kontrollen ej okej, all armering flyter inte vilket tyder på att antagandet med tryckarmeringen stämmer.

A.2.1.9 Antar att dragarmeringen flyter och tryckarmeringen är linjärelastisk

Löser ut x ur följande ekv.

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

$$x = 0,0669 \text{ m}$$

Deformationsvillkor

$$\epsilon_{syd} = \frac{f_{yd}}{E_{armering}} = 0,0022 \quad (\text{B2-28a})$$

$$\epsilon'_2 = \left(\frac{x_2 - d'}{x_2} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0013 \quad (\text{B5-25})$$

$$\epsilon^1_2 = \left(\frac{d_1 - x_2}{x_2} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0163 \quad (\text{B5-26})$$

$$\epsilon^2_2 = \left(\frac{d_2 - x_2}{x_2} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0135 \quad (\text{B5-26})$$

Kontroll

$$\epsilon^1_2 > \epsilon^2_2 > \epsilon_{syd}$$

$$\epsilon'_2 < \epsilon_{syd}$$

=> Kontrollen okej, antagandet stämmer. Använder den framtagna tryckarmeringen

A.2.1.10 Momentkapacitet

$$\begin{aligned} M_{Rdf} &= \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x_2 \cdot (d_1 - \beta \cdot x_2) + E_{armering} \cdot \epsilon'_2 \cdot A'_s \cdot (d_1 - d') \\ &- f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (d_1 - d_2) = 478,61 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (\text{B5-24})$$

Kontroll

$$M_{Edf} < M_{Rdf}$$

=> Momentkapacitet OK!

A.2.1.11 Tvärkraftskapacitet - Livtrycksbrott

$$b_w = b$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{\frac{f_{ck}}{1000000}}{250}\right) = 0,516 \quad (\text{B6-11})$$

$$V_{Rd_f} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d_1 = 2275,56 \text{ kN} \quad (\text{B6-11})$$

Kontroll

$$V_{Ed_f} < V_{Rd_f}$$

=> Tvärkraftskapacitet livtrycksbrott OK!

A.2.1.12 Tvärkraftskapacitet - Skjuvglidningsbrott

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (\text{B6-14})$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_1 \cdot 1000}} = 1,7274 \quad (\text{B6-14})$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1} + A_{s2}}{b_w \cdot d_1} = 0,0085 \quad (\text{B6-14})$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{1000000}\right)^{0,5} = 0,4701 \quad (\text{B6-14})$$

$$V_{Rd,cf} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{1000000}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d_1 \cdot 1000000 = 242,89 \text{ kN} \quad (\text{B6-14})$$

$$minkrav = v_{min} \cdot b_w \cdot d_1 \cdot 1000000 = 177,7 \text{ kN} \quad (\text{B6-14})$$

Kontroll

$$V_{Ed_f} > V_{Rd,cf}$$

=> Tvärkraftskapacitet skjuvglidningsbrott ej OK! - Tvärkraftsarmering behövs.

A.2.1.13 Dimensionering av tvärkraftsarmering

Kontroll kapacitet (Livtrycksbrott)

$$\alpha_{cw} = 1 \quad (\text{B6-19})$$

$$v_1 = v \quad (\text{B6-19})$$

$$\theta = 30 \quad (\text{B6-16})$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 1773,6 \text{ kN} \quad (\text{B6-19})$$

$$V_{Ed_f} < V_{Rd,max}$$

=> Kapacitet OK!

Kontroll innehåll

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = 4,3478 \cdot 10^8$$

$$A_{sw} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \phi_{tvar}^2}{4} = 1.0053 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{B6-25})$$

$$\alpha_{tvar} = 90$$

$$s = \frac{z \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha_{tvar})) \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw} \cdot \sin(\alpha_{tvar})}{V_{Ed_f}} = 0,0561 \quad (\text{B6-22})$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 9,4657 \cdot 10^{-7} \quad (\text{B6-24})$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha_{tvar})} = 0,0018 \quad (\text{B6-25})$$

$$\rho_w > \rho_{w,min}$$

=> Innehåll OK!

Kontroll centrumavstånd

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d_1 \cdot (1 + \cot(\alpha_{tvar})) = 0,2835 \text{ m} \quad (\text{B6-26})$$

$$s_{l,max} > s$$

Centrumavstånd OK!

A.2.1.14 Kontroll armeringsmängd

Minimumarmering

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \cdot b \cdot d_1 = 6,2899 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{B4-21})$$

$$A_{s,minmin} = 0,0013 \cdot b \cdot b_1 = 4,914 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{B4-21})$$

$$A_{s,min} > A_{s,minmin} \Rightarrow \text{Använder } A_{s,min}$$

Maximumarmering

$$A_c = b \cdot h = 0,42 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,0168 \text{ m}^2 \quad (\text{B4-22})$$

Kontroll

$$A_{s,min} < (A_{s1} + A_{s2}) < A_{s,max}$$

$\Rightarrow$ Armeringsmängd OK!

A.2.1.15 Kontroll segt verkningsätt

Hållf.klass < C50/60

$$Verkningsatt = 0,025 \cdot d_1 = 0,0945 \quad (\text{B5-22})$$

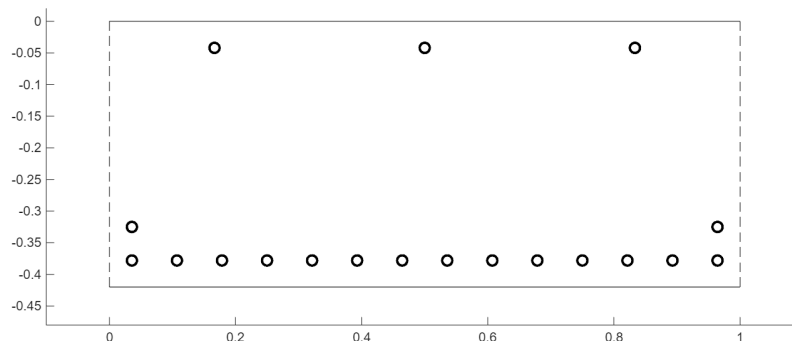
Kontroll

$$x \leq verkningsatt$$

Verkningsätt OK!

A.2.1.16 Slutgiltigt tvärsnitt

Utifrån beräkningarna har följande tvärsnitt tagits fram för fält i tvärled.



Figur A.2.1: Tvärnitt i fält, tvärled

A.2.2 ULS-beräkningar över stöd

Nedan redovisas kontrollerna för brottgränstillstånd för ett snitt över stöd. Här betraktas stålbalkarna under broplattan som stöd. Materialegenskaper och ekvationer är tagna från (Al-Emrani m. fl., 2013). Se appendix B.11 för tillhörande MATLAB-kod.

A.2.2.1 Materialegenskaper

Armering B500B

$$E_{armering} = 200 \text{ GPa} \quad (\text{B2-26})$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.11})$$

$$\gamma_s = 1,5$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad (\text{B2-25})$$

Betong C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.1})$$

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.1})$$

$$\alpha_{cc} = 1,0$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = 23,333 \text{ MPa} \quad (\text{B2-3})$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.2})$$

$$f_{ctk0.5} = 2,7 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.2})$$

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

$$f_{ctd} = 1,4667 \text{ MPa} \quad (\text{B2-10})$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa} \quad (\text{Tabell B2.3})$$

$$\gamma_{cE} = 1,2$$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}} = 28,333 \text{ GPa} \quad (\text{B2-15})$$

A.2.2.2 Dimensionerande Laster

Lasterna över stöd är negativa, men eftersom dimensioneringen här utgår från samma tvärsnittskonstanter som för beräkningarna i fält (d_1 , d_2 och d') så är lasterna positiva i denna beräkningen. I slutändan vänds sedan tvärsnittet så att dragarmering är i överkant och tryckarmering i underkant.

Maxlaster över stöd givet framtagna grafer.

$$V_{Ed,s} = 755,04 \text{ kN} \quad (\text{Tabell A.1.4})$$

$$M_{Ed,s} = 526,28 \text{ kNm} \quad (\text{Tabell A.1.4})$$

A.2.2.3 Armering

Diameter för drag -och tryckarmering samt tvärkraftsarmering - itereras fram

$$\phi = 0,016 \text{ m}$$

$$\phi_{tvar} = 0,008 \text{ m}$$

Minsta täckande betongskikt

$$\Delta c_{dev} = 0,01 \text{ m} \quad (\text{B4-26})$$

$$c_{min} = \phi \text{ m} \quad (\text{B4-25})$$

Nominellt mått på täckande betongskikt

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 0,026 \text{ m} \quad (\text{B4-24})$$

Minsta fria avstånd

$$d_g = 0,032 \text{ m} \quad (\text{COWI})$$

$$k_1 = 1,0 \quad (\text{B4-27})$$

$$k_2 = 0,005 \quad (\text{B4-27})$$

$$a_{min} = \max(\phi \cdot k_1, d_g + k_2, 0,02) = 0,037 \text{ m} \quad (\text{B4-27})$$

Maximalt antal stänger i ett lager, avrundat nedåt

$$n_{max} = \frac{1}{a_{min} + \phi} = 18 \text{ st}$$

A.2.2.4 Tvärsnittskonstanter

Tvärsnittets bredd och höjd

$$b = 1 \text{ m}$$

$$h = 0,42 \text{ m, itereras fram}$$

Avstånd mellan betongens överkant till dragarmeringens 1:a lager

$$d_1 = h - (c_{nom} + \phi_{tvar} + \frac{\phi}{2}) = 0,378 \text{ m}$$

Avstånd mellan betongens överkant till dragarmeringens 2:a lager

$$d_2 = h - (c_{nom} + \phi_{tvar} + a_{min} + \phi \cdot 1,5) = 0,325 \text{ m}$$

Avstånd mellan betongens överkant till tryckarmering

$$d' = (c_{nom} + \frac{\phi}{2} + \phi_{tvar}) = 0,042 \text{ m}$$

A.2.2.5 Armeringsmängd

Armeringsarea för en stång

$$A_{si} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 2,0106 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Uppskattad total armeringsmängd

$$z = 0,9 \cdot d_1 = 0,3402 \text{ m} \quad (\text{B4-14})$$

$$A_s = \frac{M_{Edf}}{f_{yd} \cdot z} = 0,0036 \text{ m}^2 \quad (\text{B4-16})$$

Totalt antal armeringsstänger i drag, avrundat uppåt

$$n_s = \frac{A_s}{A_{si}} = 18 \text{ st}$$

Antal stänger per rad, itereras fram

$$n_{s1} = 16 \text{ st, lager 1}$$

$$n_{s2} = 2 \text{ st, lager 2}$$

Area dragarmering

$$A_{s1} = A_{si} \cdot n_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2, \text{ lager 1}$$

$$A_{s2} = A_{si} \cdot n_{f2} = 4,0212 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, \text{ lager 2}$$

A.2.2.6 Konstanter

$$\alpha = 0,81 \quad (\text{B5.1})$$

$$\beta = 0,416 \quad (\text{B5.1})$$

$$\epsilon_{cu} = 3,5 \cdot 10^{-3} \quad (\text{B2.4})$$

A.2.2.7 Behövs tryckarmering?

Antar att dragarmeringen flyter och att tryckarmeringen är linjärelastisk

Löser neutralaxeln utan tryckarmering

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = 0,074 \text{ m} \quad (\text{B5-23})$$

Hittar kritiska momentet

$$M_{Rd1} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot (d_1 - \beta \cdot x) = 485,64 \text{ kNm} \quad (\text{B5-24})$$

Kontrollerar om tryckarmering behövs

$$M_{Rd1} < M_{Eds}$$

=> Tryckarmering behövs!

Tar fram restmomentet som måste tas upp av tryckarmeringen

$$\Delta M = M_{Eds} - M_{Rd1} = 40,637 \text{ kNm}$$

Antar linjärelastisk tryckarmering

$$\epsilon' = \frac{x - d'}{x} \cdot \epsilon_{cu} = 0,0015 \quad (\text{B5-25})$$

$$\sigma'_s = E_{armering} \cdot \epsilon' = 302,73 \text{ MPa}$$

Löser ut A'_s

$$A'_s = \frac{\Delta M}{\sigma'_s \cdot (d_1 - d')} = 3,9952 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{B5-24})$$

Antal stänger i tryckarmeringen, avrundat uppåt

$$n'_s = \frac{A'_s}{A_{si}} = 2 \text{ st}$$

A.2.2.8 Kontrollerar så att antagandet stämmer - Antar först att all armering flyter

Löser ut x

$$x_1 = \frac{f_{yd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) - f_{yd} \cdot A'_s}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = 0,0741 \text{ m} \quad (\text{B5-23})$$

Deformationsvillkor

$$\epsilon_{syd} = \frac{f_{yd}}{E_{armering}} = 0,0022 \quad (\text{B2-28a})$$

$$\epsilon'_1 = \left(\frac{x_1 - d'}{x_1} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0015 \quad (\text{B5-25})$$

$$\epsilon_1^1 = \left(\frac{d_1 - x_1}{x_1} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0144 \quad (\text{B5-26})$$

$$\epsilon_1^2 = \left(\frac{d_2 - x_1}{x_1} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0119 \quad (\text{B5-26})$$

Kontroll

$$\epsilon_1^1 > \epsilon_1^2 > \epsilon'_1 > \epsilon_{syd}$$

=> Kontrollen ej okej, all armering flyter inte vilket tyder på att antagandet stämmer.

A.2.2.9 Antar att dragarmeringen flyter och tryckarmeringen är linjärelastisk

Löser ut x ur följande ekv.

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

$$x = 0,0766 \text{ m}$$

Deformationsvillkor

$$\epsilon_{syd} = \frac{f_{yd}}{E_{armering}} = 0,0022 \quad (\text{B2-28a})$$

$$\epsilon'_2 = \left(\frac{x_2 - d'}{x_2} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0016 \quad (\text{B5-25})$$

$$\epsilon^1_2 = \left(\frac{d_1 - x_2}{x_2} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0138 \quad (\text{B5-26})$$

$$\epsilon^2_2 = \left(\frac{d_2 - x_2}{x_2} \right) \cdot \epsilon_{cu} = 0,0114 \quad (\text{B5-26})$$

Kontroll

$$\epsilon^1_2 > \epsilon^2_2 > \epsilon_{syd}$$

$$\epsilon'_2 < \epsilon_{syd}$$

=> Kontrollen okej, antagandet stämmer

A.2.2.10 Momentkapacitet

$$\begin{aligned} M_{Rd_s} &= \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x_2 \cdot (d_1 - \beta \cdot x_2) + E_{armering} \cdot \epsilon'_2 \cdot A'_s \cdot (d_1 - d') \\ &- f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (d_1 - d_2) = 534,12 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (\text{B5-24})$$

Kontroll

$$M_{Ed_s} < M_{Rd_s}$$

=> Momentkapacitet OK!

A.2.2.11 Tvärkraftskapacitet - Livtrycksbrott

$$b_w = b$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{1000000}\right) = 0,516 \quad (\text{B6-11})$$

$$V_{Rd_s} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d_1 = 2275,56 \text{ kN} \quad (\text{B6-11})$$

Kontroll

$$V_{Ed_s} < V_{Rd_s}$$

=> Tvärkraftskapacitet livtrycksbrott OK!

A.2.2.12 Tvärkraftskapacitet - Skjuvglidningsbrott

$$C_{Rd_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (\text{B6-14})$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_1 \cdot 1000}} = 1,7274 \quad (\text{B6-14})$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1} + A_{s2}}{b_w \cdot d_1} = 0,0085 \quad (\text{B6-14})$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{1000000}\right)^{0,5} = 0,4701 \quad (\text{B6-14})$$

$$V_{Rd,cs} = C_{Rd_c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{1000000}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d_1 \cdot 1000000 = 242,89 \text{ kN} \quad (\text{B6-14})$$

$$minkrav = v_{min} \cdot b_w \cdot d_1 \cdot 1000000 = 177,7 \text{ kN} \quad (\text{B6-14})$$

Kontroll

$$V_{Ed_s} > V_{Rd,cs}$$

=> Tvärkraftskapacitet skjuvglidningsbrott ej OK! - Tvärkraftsarmering behövs.

A.2.2.13 Dimensionering av tvärkraftsarmering

Kontroll kapacitet (Livtrycksbrott)

$$\alpha_{cw} = 1 \quad (\text{B6-19})$$

$$v_1 = v \quad (\text{B6-19})$$

$$\theta = 30 \quad (\text{B6-16})$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 1773,6 \text{ kN} \quad (\text{B6-19})$$

$$V_{Ed_f} < V_{Rd,max}$$

=> Kapacitet OK!

Kontroll innehåll

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 4,3478 \cdot 10^8$$

$$A_{sw} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \phi_{tvar}^2}{4} = 1,0053 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{B6-25})$$

$$\alpha_{tvar} = 90$$

$$s = \frac{z \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha_{tvar})) \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw} \cdot \sin(\alpha_{tvar})}{V_E d_s} = 0,0341 \quad (\text{B6-22})$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 9,4657 \cdot 10^{-7} \quad (\text{B6-24})$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha_{tvar})} = 0,0029 \quad (\text{B6-25})$$

$$\rho_w > \rho_{w,min}$$

=> Innehåll OK!

Kontroll centrumavstånd

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d_1 \cdot (1 + \cot(\alpha_{tvar})) = 0,2835 \text{ m} \quad (\text{B6-26})$$

$$s_{l,max} > s$$

Centrumavstånd OK!

A.2.2.14 Kontroll armeringsmängd

Minimumarmering

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \cdot b \cdot d_1 = 6,2899 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{B4-21})$$

$$A_{s,minmin} = 4,914 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot b_1 = 4,914 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{B4-21})$$

$$A_{s,min} > A_{s,minmin} \Rightarrow \text{Använder } A_{s,min}$$

Maximumarmering

$$A_c = b \cdot h = 0,42 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,0168 \text{ m}^2 \quad (\text{B4-22})$$

Kontroll

$$A_{s,min} < (A_{s1} + A_{s2}) < A_{s,max}$$

$\Rightarrow$ Armeringsmängd OK!

A.2.2.15 Kontroll segt verkningsätt

Hållf.klass < C50/60

$$Verkningsatt = 0,025 \cdot d_1 = 0,0945 \quad (\text{B5-22})$$

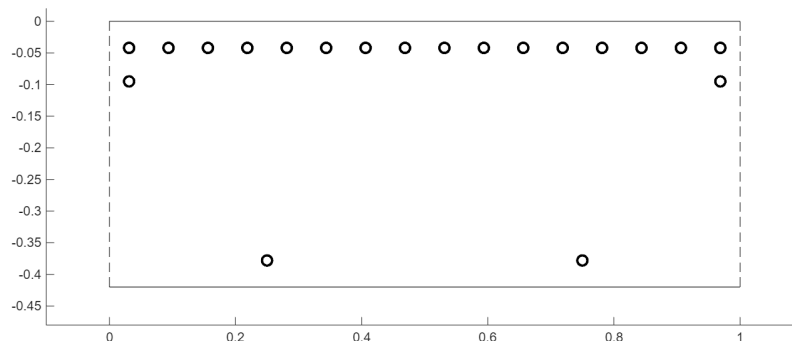
Kontroll

$$x \leq verkningsatt$$

Verkningsätt OK!

A.2.2.16 Slutgiltigt tvärsnitt

Utifrån beräkningarna har följande tvärsnitt tagits fram över stöd i tvärled.



Figur A.2.2: Tvärsnitt över stöd, tvärled

A.2.3 SLS-beräkningar

Nedan redovisas kontrollerna för bruksgränstillstånd för ett snitt i fält. Materialegenskaper och ekvationer är tagna från (Al-Emrani m. fl., 2013) och (Al-Emrani m. fl., 2014). Se appendix B.12 för tillhörande MATLAB-kod.

A.2.3.1 Materialegenskaper

Armering B500B

$$E_{armering} = 200 \text{ GPa} \quad (\text{B2-26})$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.11})$$

$$\gamma_s = 1,5$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad (\text{B2-25})$$

Betong C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.1})$$

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.1})$$

$$\alpha_{cc} = 1,0$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = 23,333 \text{ MPa} \quad (\text{B2-3})$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.2})$$

$$f_{ctk0.5} = 2,7 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.2})$$

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

$$f_{ctd} = 1,4667 \text{ MPa} \quad (\text{B2-10})$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa} \quad (\text{Tabell B2.3})$$

$$\gamma_{cE} = 1,2$$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}} = 28,333 \text{ GPa} \quad (\text{B2-15})$$

A.2.3.2 Dimensionerande Laster

Maxlaster i fält givet framtagna grafer.

$$V_{Ed,f} = 311,60 \text{ kN} \quad (\text{Tabell A.1.4})$$

$$M_{Ed,f} = 314,60 \text{ kNm} \quad (\text{Tabell A.1.4})$$

A.2.3.3 Armering

Diameter för drag -och tryckarmering samt tvärkraftsarmering - itereras fram

$$\phi = 0,016 \text{ m}$$

$$\phi_{tvar} = 0,008 \text{ m}$$

Minsta täckande betongskikt

$$\Delta c_{dev} = 0,01 \text{ m} \quad (\text{B4-26})$$

$$c_{min} = \phi \text{ m} \quad (\text{B4-25})$$

Nominellt mått på täckande betongskikt

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 0,026 \text{ m} \quad (\text{B4-24})$$

Minsta fria avstånd

$$d_g = 0,032 \text{ m} \quad (\text{COWI})$$

$$k_1 = 1,0 \quad (\text{B4-27})$$

$$k_2 = 0,005 \quad (\text{B4-27})$$

$$a_{min} = \max(\phi \cdot k_1, d_g + k_2, 0,02) = 0,037 \text{ m} \quad (\text{B4-27})$$

Maximalt antal stänger i ett lager, avrundat nedåt

$$n_{max} = \frac{1}{a_{min} + \phi} = 18 \text{ st}$$

A.2.3.4 Tvärsnittskonstanter

Tvärsnittets bredd och höjd

$$b = 1 \text{ m}$$

$$h = 0,42 \text{ m, itereras fram}$$

Avstånd mellan betongens överkant till dragarmeringens 1:a lager

$$d_1 = h - (c_{nom} + \phi_{tvar} + \frac{\phi}{2}) = 0,378 \text{ m}$$

Avstånd mellan betongens överkant till dragarmeringens 2:a lager

$$d_2 = h - (c_{nom} + \phi_{tvar} + a_{min} + \phi \cdot 1,5) = 0,325 \text{ m}$$

Avstånd mellan betongens överkant till tryckarmering

$$d' = (c_{nom} + \frac{\phi}{2} + \phi_{tvar}) = 0,042 \text{ m}$$

A.2.3.5 Armeringsmängd

Armeringsarea för en stång

$$A_{si} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 2,0106 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Antal stänger per rad, taget från ULS-beräkningarna

$$n_{f1} = 14 \text{ st, lager 1}$$

$$n_{f2} = 2 \text{ st, lager 2}$$

$$n' = 3 \text{ st}$$

Area dragarmering

$$A_{s1} = A_{si} \cdot n_{f1} = 0,0032 \text{ m}^2, \text{ lager 1}$$

$$A_{s2} = A_{si} \cdot n_{f2} = 4,0212 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, \text{ lager 2}$$

$$A' = A_{si} \cdot n' = 6,0319 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, \text{ lager 2}$$

A.2.3.6 Sprickbildning

Betongens yttröghetsmoment

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,0062 \text{ m}^4$$

Stadie 1, osprucket och armeringen försummad

$$z = \frac{h}{2} = 0,21 \text{ m}$$

$$k = 1,6 - h = 1,18 \quad (\text{B3-22})$$

$$f_{ctfl} = k \cdot f_{ctm} = 3,778 = \sigma_c \text{ MPa} \quad (\text{B3-22})$$

Kritiska momentet, Naviers formel

$$M_{cr} = \frac{f_{ctfl} \cdot I_c}{z} = 111,01 \text{ kNm} \quad (\text{B7-9})$$

Kontroll

$$M_{Edf} > M_{cr}$$

=> Tvärsnittet spricker

A.2.3.7 Hitta x ur jämviktsekvation

$$\alpha = \frac{E_{armering}}{E_{cm}} = 5,8824 \quad (\text{B7-34})$$

Rektangulärt tvärsnitt utan normalkraft -

Löser ut x ur följande ekv.

$$b \cdot x \cdot \frac{x}{2} + (\alpha - 1) \cdot A'_s \cdot (x - d') = \alpha \cdot A_{s1} \cdot (d_1 - x) + \alpha \cdot A_{s2} \cdot (d_2 - x) \quad (\text{Kaptiel B7.2.3})$$

$$\Rightarrow x = 0,1399 \text{ m} = x_{tp}$$

Yttröghetsmoment i stadium 2

$$I_2 = \frac{b \cdot x^3}{3} + (\alpha - 1) \cdot A'_s \cdot (x - d')^2 + \alpha \cdot A_{s1} \cdot (d_1 - x)^2 + \alpha \cdot A_{s2} \cdot (d_2 - x)^2 = 0,003 \text{ m}^4 \quad (\text{Kapitel B7.2.3})$$

A.2.3.8 Betongpåkänningar

Maximal betongpåkänning

$$z_2 = -x_{tp} = -0,1399 \text{ m}$$

$$\sigma_{cc} = \frac{M_{Edf}}{I_2} \cdot z_2 = -11,46 \text{ MPa} \quad (\text{B7-21a})$$

Kontroll enligt (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005a) kap. 7.2

$$abs(\sigma_{cc}) < 0,45 \cdot f_{ck}$$

$\Rightarrow$ Betongpåkänning OK!

A.2.3.9 Stålpåkänningar

Betongpåkänning tryckarmeringens nivå

$$z_3 = -(x_{tp} - d') = -0,0979 \text{ m}$$

$$\sigma_{cs,tryck} = \frac{M_{Edf}}{I_2} \cdot z_3 = -10,217 \text{ MPa} \quad (\text{B7-21a})$$

Betongpåkänning dragarmeringens nivå

$$z_4 = -(x_{tp} - d_1) = -0,2381 \text{ m}$$

$$\sigma_{cs,drag} = \frac{M_{Edf}}{I_2} \cdot z_4 = 24,852 \text{ MPa} \quad (\text{B7-21a})$$

Stålpåkänning tryckarmering

$$\sigma_{s,tryck} = \alpha \cdot \sigma_{cs,tryck} = -60,099 \text{ MPa} \quad (\text{B7-54})$$

Stålpåkänning dragarmering

$$\sigma_{s,drag} = \alpha \cdot \sigma_{cs,drag} = 146,19 \text{ MPa} \quad (\text{B7-54})$$

Kontroller enligt (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005a)

$$\sigma_{s,tryck} < 0,8 \cdot f_{yk}$$

=> Stålpåkänning i tryckarmeringen OK!

$$\sigma_{s,drag} < 0,8 \cdot f_{yk}$$

=> Stålpåkänning i dragarmeringen OK!

A.2.3.10 Sprickavstånd

Effektiv höjd

$$d_{medel} = \frac{n_1 \cdot d_1 + n_2 \cdot d_2}{n_1 + n_2} = 0,3714 \text{ m}$$

$$h_{c,ef} = \min(2,5 \cdot (h - d_{medel}), \frac{h - x}{3}, \frac{h}{2}) = 0,0934 \text{ m} \quad (\text{B9-13})$$

Betongarea mellan sprickorna

$$A_{c,ef} = h_{c,ef} \cdot b = 0,0934 \text{ m}^2$$

Sprickavstånd

$$k_1 = 0,8 \quad (\text{B9-11})$$

$$k_2 = 0,5 \quad (\text{B9-12})$$

$$k_3 = 3,4 \quad (\text{B9-11})$$

$$k_4 = 0,425 \quad (\text{B9-11})$$

$$c = c_{nom}$$

$$\rho_{p,ef} = \frac{A_{s1} + A_{s2}}{A_{c,ef}} = 0,0904 \quad (\text{B9-11})$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,ef}} = 0,1321 \text{ m} \quad (\text{B9-11})$$

A.2.3.11 Sprickbredd

Skillnad mellan stålets och betongens medeltöjning

$$k_t = 0,4 \text{ (långtidslast)} \quad (\text{B9-19})$$

$$\epsilon_m = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,ef}} \cdot (1 + \alpha \cdot \rho_{p,ef})}{E_{armering}} = 6,2252 \cdot 10^{-4} \quad (\text{B9-19})$$

$$\epsilon_{m,min} = 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_{armering}} = 4,3856 \cdot 10^{-4} \quad (\text{B9-19})$$

$$\epsilon_m > \epsilon_{m,min} \Rightarrow \text{Använder } \epsilon_m$$

Karakteristisk sprickbredd

$$w_k = s_{r,max} \cdot \epsilon_m = 8,2219 \cdot 10^{-5} \text{ m} \quad (\text{B9-18})$$

Kontroll enligt (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005a), Tabell 7.1N

$$w_{k,max} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$w_k < w_{k,max}$$

Sprickbredd OK!

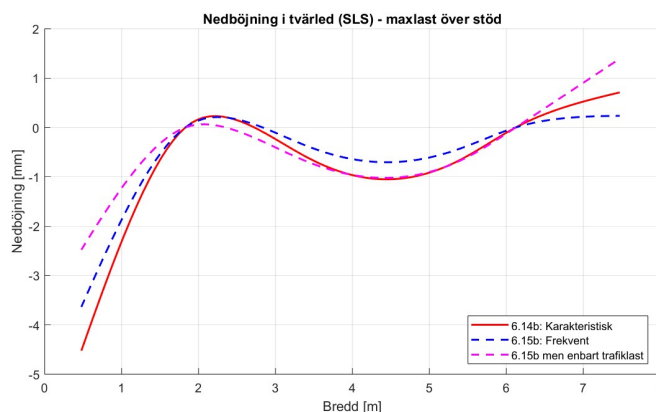
Alla kontroller uppfyller kraven - tvärsnittet är OK!

A.2.3.12 Vertikal deformation

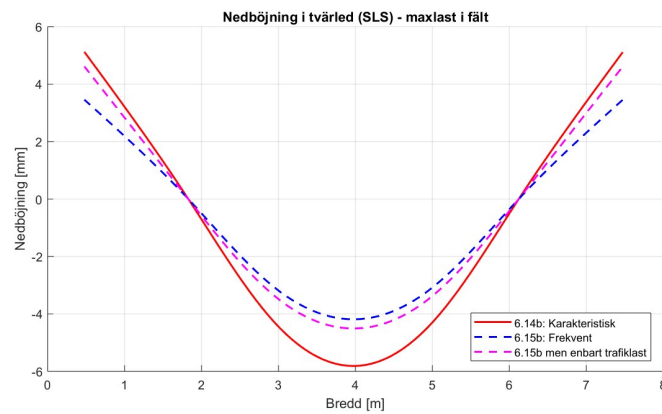
De vertikala deformationerna i betongplattans tvärled har beräknats med hjälp av en CALFEM-modell i MATLAB (se skripten B.6 och B.7 i Appendix B). Beräkningarna omfattar de två kritiska lastfallen: maximal last placerad över stöd respektive maximal last i fält (se figurer A.1.1 och A.1.3). Enligt TRVINFRA-00227 ska den vertikala deformationen vid frekvent trafiklast ej överstiga 5 mm i konsoländarna eller $L/400$ i fält, där L utgör spännvidden mellan stålbalkarna ($L = 4.29$ m). Tillåten deformation i fält motsvarar 10.72 mm. Resultaten sammanställs i tabell A.2.1 och visas grafiskt i figurerna A.2.3 och A.2.4. Kraven klaras både i fält och vid konsoländarna.

Tabell A.2.1: Beräknade vertikala deformationer vid frekvent trafiklast jämfört med gränsvärden enligt TRVINFRA-00227

Lastfall	Def. i fält [mm]	Def. konsolände [mm]	Gränsvärde konsol [mm]	Gränsvärde fält [mm]
Max last över stöd	1,02	2,47	5,0	10,72
Max last i fält	4,50	4,62	5,0	10,72



Figur A.2.3: Vertikal deformation i brons tvärled då maximal last placerats över stöd enligt figur A.1.1



Figur A.2.4: Vertikal deformation i brons tvärled då maximal last placerats i fält enligt figur A.1.3

A.3

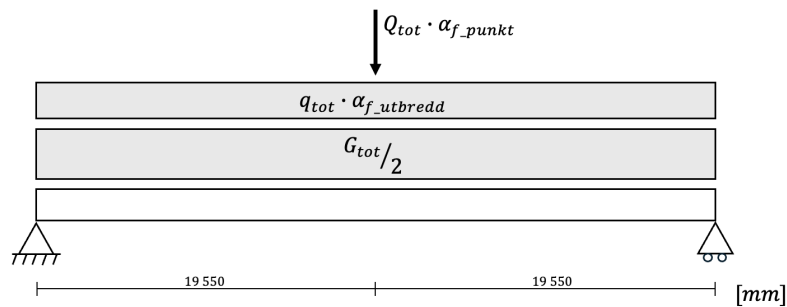
Laster i längdled

Nedan redovisas de egentyngder som använts i beräkningarna. Värdena är angivna som last per balk och har baserats på SS-EN-1991-1-1. Egentyngd för broräcken har bestämts utifrån geometriska data för ett H2 broräcke från leverantören Saferoad Traffic AB.

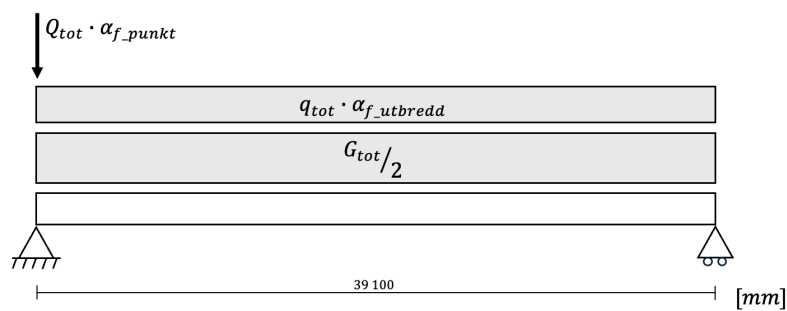
Tabell A.3.1: Egentyngder per balk för beräkningar i brons längdled.

Kategori	Lastelement	Värde [kN/m]
<i>Byggskede</i>	Stålbalk	10.48
	Färsk betong	39.04
	Bygglast	3.58
<i>Färdig bro</i>	Härdad betongplatta	37.54
	Kantbalk	6.3
	Beläggning (gjutasfalt)	9.83
	Broräcke och detaljer	0.7

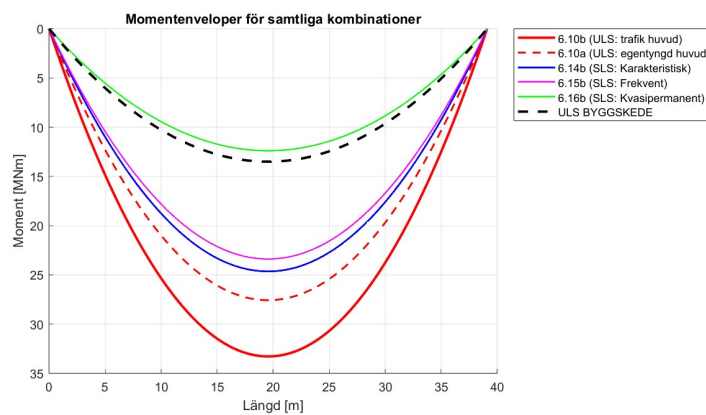
Fördelningsfaktorerna (se avsnitt A.1.1) har använts i beräkningarna i längdled för att bestämma påverkan från trafiklasterna på den mest belastade balken. Moment och tvärkraft har beräknats med hjälp av MATLAB (se Appendix B). Brobalken har modellerats som en fritt upplagd balk med spännvidden $L=39,1$ m. Genom att låta punktlasterna vandra över bron har omslutningskurvor för moment och tvärkraft genererats, där de maximala värdena i varje snitt har bestämts. Lastplaceringar för de kritiska snitten samt resulterande moment- och tvärkraftsdiagram presenteras i figurerna A.3.1, A.3.2, A.3.3 och A.3.4. I tabell A.3.2 visas de dimensionerande snittkrafterna.



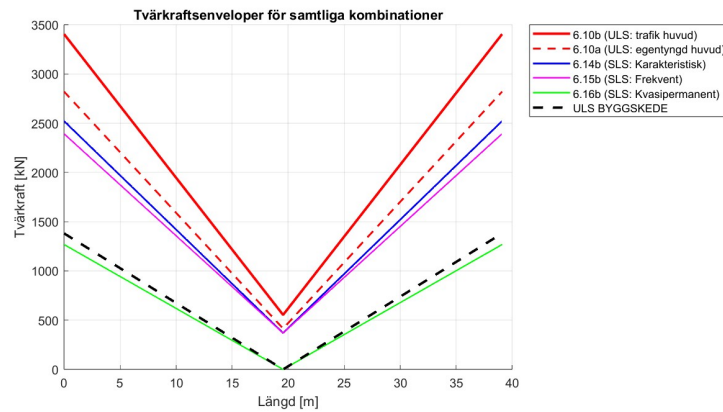
Figur A.3.1: Lastplacering för maxmoment



Figur A.3.2: Lastplacering för maximal tvärkraft



Figur A.3.3: Plot av momentet i längdled över bron



Figur A.3.4: Plot av tvärkrafterna i längdled över bron

Tabell A.3.2: Sammanställning av dimensionerande snittkrafter

Lastfall	$M_{\max}$ [MNm]	$V_{\max}$ [kN]
6.10b (ULS: trafik huvudlast)	33.27	3404.04
6.10a (ULS: egentygnd huvudlast)	27.57	2820.07
6.14b (SLS: karakteristisk)	24.64	2520.86
6.15b (SLS: frekvent)	23.38	2392.09
6.16b (SLS: kvasipermanent)	12.39	1267.79
ULS byggske	13.50	1381.03

A.4

Dimensionering i längdled

I detta kapitel visas beräkningar för kontroller av tvärsnittet i längdled. Slutgiltiga mått är framtagna med hjälp av en iterativ process där olika tvärsnitt analyserats av generell kod i matlab. Beräkningarna genomfördes på två tvärsnitt med olika mått, ett för upplagsbalken och ett för fält. Detta beror på att bron utsätts för olika belastningar beroende på tvärsnittets placering i brospannet. Beräkningarna bygger på antagandet att betongplattan alltid är tryckt, och att tvärsnittet således alltid befinner sig i stadium 1. Detta innebär att ingen sprickbildning sker till följd av böjsprickor i betongen.

A.4.1 Materialegenskaper

Konstruktionsstål S355

Stålkvalitet S355 används för samtliga stålbalkar. Sträckgränsen f_y och brottgränsen f_u varierar med plåttjocklek enligt SS-EN 1993-1-1:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005b), tabell 3.1, och bestäms för liv och flänsar separat:

$$\begin{aligned} t \leq 40 \text{ mm} : \quad & f_y = 355 \text{ MPa}, \quad f_u = 510 \text{ MPa} \\ t > 40 \text{ mm} : \quad & f_y = 335 \text{ MPa}, \quad f_u = 470 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Övriga stålkonstanter:

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$G_k = 81 \text{ GPa}$$

Armering B500B

$$E_s = 200 \text{ GPa} \tag{B2-26}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \tag{Tabell B2.11}$$

$$\gamma_s = 1,5$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78 \text{ MPa} \tag{B2-25}$$

Betong C35/45

Exponeringsklass XD3 och XF4 enligt SS-EN 1992-1-1: (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005a), tabell E.1N. Samma exponeringsklass antas för hela bron. Data från eurokod och *Bärande konstruktioner - Del 1* (Al-Emrani m. fl., 2013).

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.1})$$

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.1})$$

$$\alpha_{cc} = 1,0, \quad \gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 23,33 \text{ MPa} \quad (\text{B2-3})$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa} \quad (\text{Tabell B2.2})$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa} \quad (\text{Tabell B2.3})$$

Svetsbultar

$$f_u = 500 \text{ MPa}$$

A.4.2 Dimensionerande laster

Eftersom bron är uppdelad i två delbalkar/delfält upplever upplag- och fältbalkarna olika dimensionerande belastningar. De två upplagsbalkarna är 10,55 meter långa och fältbalken är 18 meter lång. Utifrån momentkurvan A.3.3 och tvärkraftskurvan A.3.4 kan motsvarande maximala laster för varje delbalk utläsas.

Maxtvärkraft för upplag/fält

$$V_{\text{Ed, upplag}} = 3404,14 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed, fält}} = 2000 \text{ kN}$$

Maxmoment för upplag/fält

$$M_{\text{Ed, upplag}} = 25 \text{ MNm}$$

$$M_{\text{Ed, fält}} = 33,27 \text{ MNm}$$

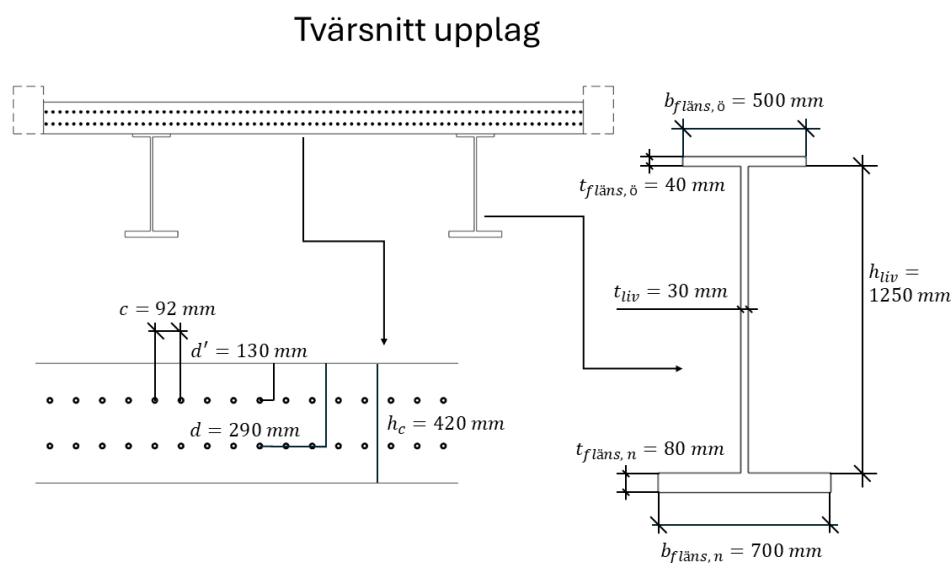
Maxmoment gjutskede upplag/fält

$$M_{\text{Ed, gjut, upplag}} = 10,3 \text{ MNm}$$

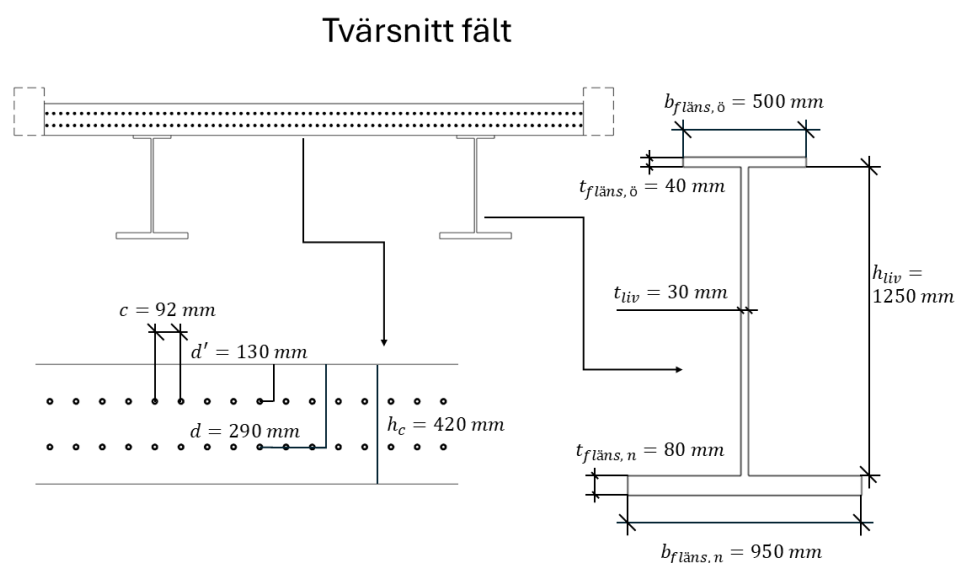
$$M_{\text{Ed, gjut, fält}} = 13,5 \text{ MNm}$$

A.4.3 Tvärsnittens mått

Nedan följer illustrationer och förteckningar av tvärsnittets mått. Se figur A.4.1 för mått i upplagstvärsnittet och figur A.4.2 för mått i fälttvärsnittet



Figur A.4.1: Illustration och måttförteckning över upplagstvärsnittet



Figur A.4.2: Illustration och måttförteckning över fälttvärsnittet

A.4.4 Beräkningar brottgränstillstånd (ULS)

Beräkningen av den medverkande flänsbredden syftar till att räkna ut hur mycket av den tryckta betongplattans bredd som medverkar i tvärsnittet. Beräkningarna är utförda enligt SS-EN 1994-2:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005c), kapitel 5.4.1.2.

Betongplattans effektiva medverkande bredd ges av:

Fältmitt eller innerstöd:

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei} \quad (5.3)$$

Ändupplag:

$$b_{eff} = b_0 + \sum \beta_i \cdot b_{ei} \quad (5.4)$$

där:

b_0 är maximalt centrummått mellan yttre svetsbultar på stålbakens överfläns, antagen diameter 25 mm, enligt SS-EN 1994-2:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005c), kapitel 6.6.5.6.

b_{ei} är bredden på vardera sida om flänsarna. Definieras som värdet $\frac{L_e}{8}$ men inte större än den verkliga betongbredden b_i

b_i är avstånd till fri kant (utsidan av balken) eller till mittpunkten mellan två liv (insidan av balken).

L_e är approximativa avståndet mellan momentnollpunkter i längdled, i vårt fall samma som spannlängden.

$$\text{och } \beta_i = (0,55 + 0,025 \cdot \frac{L_e}{b_{ei}}) \leq 1,0 \quad (5.5)$$

Vilket ger:

$$b_0 = b_{\text{fläns, ö}} - 0,025 \cdot 2 = 0.45 \text{ m}$$

$$L_e = 39,1 \text{ m}$$

$$b_{e1} = 1,205 \text{ m}$$

$$b_{e2} = 1,920 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 1$$

$$\beta_2 = 1$$

$$b_{\text{eff, upplag}} = 3.575 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff, fält}} = 3.575 \text{ m}$$

A.4.4.1 Areor

Beräkningar av areor är nödvändiga för senare steg. För stålbalkarna beräknas två olika areor eftersom stålbalkarna är olika utformade för upplag och fält.

Effektiv betongarea:

$$A_c = b_{\text{eff}} \cdot h_c = 1,502 \text{ m}^2$$

Stålbalkarnas area:

$$A_{\text{Ib}} = h_{\text{liv}} \cdot t_{\text{liv}} + t_{\text{fläns, ö}} \cdot b_{\text{fläns, ö}} + t_{\text{fläns, n}} \cdot b_{\text{fläns, n}}$$

Vilket ger:

$$A_{\text{Ib, upplag}} = 0,1135 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Ib, fält}} = 0,1335 \text{ m}^2$$

Armeringsarea:

Mängden armeringsstänger är känd på grund av senare beräkningar. Vid första iterationen måste denna mängd baseras på ett antagande, ca 1% av betongens area. Anledningen till att antal armeringsstänger är känd i denna uträkning är att koden har körts i flera iterationer. Kontroll av armeringsarea sker i ett senare skede. Formler gällande ekvivalent tvärsnitt är tagen från *Bärande konstruktioner - Del 2* (Al-Emrani m. fl., 2014)

$$A_{\text{armering}} = n \cdot \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_{\text{armering, ö}} = 0,0157 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{armering, n}} = 0,0157 \text{ m}^2$$

Sammanlagd area:

$$A_{\text{tot}} = A_c + \alpha \cdot A_{\text{Ib}} + (\alpha - 1) \cdot (A_{\text{armering, ö}} + A_{\text{armering, n}}) \quad (\text{B7-4})$$

där:

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = 5,88 \quad (\text{B7-1})$$

$$A_{\text{tot, upplag}} = 2,246 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tot, fält}} = 2,363 \text{ m}^2$$

A.4.4.2 Yttyngdpunkter

Tyngdpunkter beräknas som positiv neråt från betongplattans ovankant. Syftet med denna kontroll innan hänsyn tagits till långtidseffekter är att säkerställa att tyngdpunkten av tvärsnittet inte befinner sig i betongplattan, eftersom vidare antagande om att bron befinner sig i stadium 1 annars inte skulle stämma.

Betongplattans tyngdpunkt:

$$tp_c = \frac{h_c}{2}$$

I-balkarnas tyngdpunkt:

Lokal tyngdpunkt:

$$\bar{tp}_{\text{Ib}} = \frac{b_{\text{fläns, ö}} \cdot t_{\text{fläns, ö}} \cdot \frac{t_{\text{fläns, ö}}}{2} + t_{\text{liv}} \cdot h_{\text{liv}} \cdot (t_{\text{fläns, ö}} + \frac{h_{\text{liv}}}{2}) + b_{\text{fläns, n}} \cdot t_{\text{fläns, n}} \cdot (t_{\text{fläns, ö}} + h_{\text{liv}} + \frac{t_{\text{fläns, n}}}{2})}{A_{\text{Ib}}}$$

Global tyngdpunkt:

$$tp_{\text{Ib}} = h_c + \bar{tp}_{\text{Ib}}$$

Armeringens tyngdpunkter:

$$tp_{\text{armering, ö}} = d'$$

$$tp_{\text{armering, n}} = d$$

Total tyngdpunkt:

$$tp_{\text{tot}} = \frac{A_c \cdot tp_c + \alpha \cdot A_{\text{Ib}} \cdot tp_{\text{Ib}} + (\alpha - 1) \cdot A_{\text{armering, ö}} \cdot d' + (\alpha - 1) \cdot A_{\text{armering, n}} \cdot d}{A_{\text{tot}}}$$

Vilket ger:

$$tp_{\text{tot, upplag}} = 0,5339 \text{ m} \geq 0,42 \text{ m, OK!}$$

$$tp_{\text{tot, fält}} = 0,5994 \text{ m} \geq 0,42 \text{ m, OK!}$$

A.4.4.3 Böjtröghetsmoment

Böjtröghetsmomentet för komposittvärsnittets beräknas med Steiner-andelen för varje del kring den sammansatta tyngdpunkten. Stålbalken och armeringen omvandlas till ekvivalent betongarea med modulförhållandet $\alpha = E_s/E_{cm}$. Betongplattans eget tröghetsmoment kring sin egen tyngdpunkt:

$$I_{c,\text{beff}} = \frac{b_{\text{eff}} \cdot h_c^3}{12}$$

Det sammansatta böjtröghetsmomentet för komposittvärsnitt i ULS (utan hänsyn till krypning):

$$I_{\text{sam}} = \underbrace{I_{c,\text{beff}} + A_{c,\text{beff}} \cdot e_0^2}_{\text{betongplatta}} + \underbrace{\alpha \cdot I_{\text{Ib}} + \alpha \cdot A_{\text{Ib}} \cdot e_1^2}_{\text{stålbalk}} + \underbrace{(\alpha - 1) (A_{\text{arm,n}} \cdot e_2^2 + A_{\text{arm,ö}} \cdot e_3^2)}_{\text{armering}}$$

där avstånden e_0 – e_3 mäts mellan de berörda delarnas tyngdpunkter och komposittvärsnittets tyngdpunkt:

$$e_0 = tp_{\text{tot}} - tp_c \quad (\text{platta till sammansatt})$$

$$e_1 = tp_{\text{Ib}} - tp_{\text{tot}} \quad (\text{balk till sammansatt})$$

$$e_2 = tp_{\text{tot}} - d \quad (\text{nedre armering till sammansatt})$$

$$e_3 = tp_{\text{tot}} - d' \quad (\text{övre armering till sammansatt})$$

Stålbalkens eget böjtröghetsmoment I_{Ib} kring balkens egen svaga axel beräknas som summan av respektive dels bidrag:

$$I_{\text{Ib}} = \frac{b_{\text{fläns,ö}} \cdot t_{\text{fläns,ö}}^3}{12} + b_{\text{fläns,ö}} \cdot t_{\text{fläns,ö}} \cdot \bar{e}_{\text{fläns,ö}}^2 + \frac{t_{\text{liv}} \cdot h_{\text{liv}}^3}{12} + t_{\text{liv}} \cdot h_{\text{liv}} \cdot \bar{e}_{\text{liv}}^2 + \frac{b_{\text{fläns,n}} \cdot t_{\text{fläns,n}}^3}{12} + b_{\text{fläns,n}} \cdot t_{\text{fläns,n}} \cdot \bar{e}_{\text{fläns,n}}^2$$

där $\bar{e}$ är varje dels avstånd till balkens egen tyngdpunkt $\bar{t}_{p_{lb}}$.
Vilket ger:

$$I_{\text{sam, upplag}} = 0,7722 \text{ m}^4$$

$$I_{\text{sam, fält}} = 0,9376 \text{ m}^4$$

A.4.4.4 Kontroll av tvärsnittsklass

För att plastisk momentkapacitet ska få användas krävs att stålbalkens delar tillhör tvärsnittsklass 1 eller 2. Kontroll görs enligt SS-EN 1993-1-1:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005b), tabell 5.2, med hjälp av parametern:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Flänsar

Utskjutande flänsars slankhet kontrolleras som:

$$c = \frac{b_{\text{fläns}} - t_{\text{liv}} - 2 \cdot a\sqrt{2}}{2}$$

där a är svetsstorleken. Gränserna för tvärsnittsklass är:

$$\frac{c}{t_{\text{fläns}}} \leq 9\varepsilon \quad \Rightarrow \quad \text{Klass 1, plastisk analys OK}$$

$$\frac{c}{t_{\text{fläns}}} \leq 10\varepsilon \quad \Rightarrow \quad \text{Klass 2, plastisk analys OK (ingen rotationskapacitet)}$$

$$\frac{c}{t_{\text{fläns}}} > 10\varepsilon \quad \Rightarrow \quad \text{Klass 3 eller högre, plastisk analys ej tillämplig}$$

Kontrollen görs separat för övre och nedre fläns vid upplag respektive fält, eftersom flänsarnas dimensioner varierar.

Livplåt

Livplåtens slankhet kontrolleras mot tvärsnittsklasserna med nettolivhöjd:

$$d = h_{\text{liv}} - 2 \cdot a\sqrt{2}$$

$$\frac{d}{t_{\text{liv}}} \leq 72\varepsilon \quad \Rightarrow \quad \text{Klass 1, plastisk analys OK}$$

$$\frac{d}{t_{\text{liv}}} \leq 83\varepsilon \quad \Rightarrow \quad \text{Klass 2, plastisk analys OK (ingen rotationskapacitet)}$$

$$\frac{d}{t_{\text{liv}}} > 83\varepsilon \quad \Rightarrow \quad \text{Klass 3 eller högre, plastisk analys ej tillämplig}$$

Resultat

Kontrollen sammanfattas i tabell A.4.1.

Tabell A.4.1: Kontroll av tvärsnittsklass

Tvärsnitt	Del	c/t eller d/t	Gräns klass 1	Gräns klass 2	Klass
Upplag	Övre fläns	5,5214	$9\varepsilon = 7,3225$	$10\varepsilon = 8,1362$	1
Upplag	Nedre fläns	4,0107	$9\varepsilon = 7,5380$	$10\varepsilon = 8,3755$	1
Upplag	Liv	40,7239	$72\varepsilon = 58,5804$	$83\varepsilon = 67,5302$	1
Fält	Övre fläns	5,5214	$9\varepsilon = 7,3225$	$10\varepsilon = 8,1362$	1
Fält	Nedre fläns	5,5732	$9\varepsilon = 7,5380$	$10\varepsilon = 8,3755$	1
Fält	Liv	40,7239	$72\varepsilon = 58,5804$	$83\varepsilon = 67,5302$	1

Samtliga delar uppfyller krav för tvärsnittsklass 1, varför plastisk momentkapacitet får tillämpas.

A.4.4.5 Utformning av armering

Betongplattan armeras i längdled för att begränsa sprickbildning. Eftersom betongplattan befinner sig i tryckzon under brukslast behövs ingen bärande dragarmering, armeringen dimensioneras istället mot minimiarmering och sprickkrav. Beräkningarna följer SS-EN 1994-2:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005c), kapitel 5.5.1 samt SS-EN 1992-1-1:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005a), kapitel 7.3.3.

Val av armeringsparametrar

Karakteristisk sprickbredd väljs till $w_k = 0,2$ mm för att prioritera lång livslängd på betongkonstruktionen. Med antagen armeringsspänning vid sprickbildning $\sigma_s \approx 250$ MPa ger detta enligt tabell 7.2N och 7.3N i SS-EN 1992-1-1:2005 kapitel 7.3.3:

Stavdiameter: $\phi = 16$ mm

Maximalt centrumavstånd: $c_s = 200$ mm

Placering av armering

Armeringen placeras i två lager, ett övre och ett nedre, i betongplattans längdled. Täcksiktet bestäms enligt *Bärande konstruktioner - Del 1* (Al-Emrani m. fl., 2013):

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad (\text{B4-26})$$

$$c_{min} = \phi = 16 \text{ mm} \quad (\text{B4-25})$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 26 \text{ mm} \quad (\text{B4-24})$$

Minsta fria avstånd mellan stängerna kontrolleras enligt:

$d_g = 32 \text{ mm}$ (största stenstorlek i ballasten)

$$a_{min} = \max(\emptyset \cdot k_1, d_g + k_2, 20 \text{ mm}) = \max(16, 37, 20) = 37 \text{ mm} \quad (\text{B4-27})$$

där $k_1 = 1,0$ och $k_2 = 5 \text{ mm}$. Armeringens avstånd från betongplattans överkant bestäms med hänsyn till täckskikt, tvärarmeringens diameter, drag-/tryck armeringens diameter i tvärled samt längdarmeringens diameter, eftersom vår längsgående drag/tryckarmering placeras längst in.

$$d' = c_{nom} + \emptyset_{tvärkraftsarmering} + \emptyset_{drag-/tryckarmering \text{ tvärled}} + \frac{\emptyset}{2} = 130 \text{ mm} \quad (\text{övre lager})$$

$$d = h_c - \emptyset_{tvärkraftsarmering} - \emptyset_{drag-/tryckarmering \text{ tvärled}} - \frac{\emptyset}{2} = 290 \text{ mm} \quad (\text{nedre lager})$$

Centrumavståndet för $n = 78$ stänger per rad över körbanebredden $B_{kb} = 7,15 \text{ m}$:

$$c_s = \frac{B_{kb} - 2 \cdot c_{nom} - \emptyset}{n - 1} = 92 \text{ mm}$$

Centrumavståndet överstiger a_{min} , geometrikontroll OK.

Antal stänger och armeringsarea

Antal stänger per rad beräknas inledningsvis utifrån den effektiva betongbredden och valt maximalt centrumavstånd, avrundat uppåt:

$$n_{stänger} = \frac{b_{eff}}{c_s}$$

Armeringsarea per halvt tvärsnitt (en balk och dess effektiva del av körbanan):

$$A_s = 2 \cdot n_{stänger} \cdot \frac{\emptyset^2 \cdot \pi}{4}$$

Faktorn 2 beaktar att armering placeras i både övre och nedre lager.

Kontroll mot minimiarmering

Minimiarmering beräknas enligt SS-EN 1994-2:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005c), kapitel 5.5.1 och 7.4.2:

$$k_c = \min\left(\frac{1}{1 + h_c/(2e_0)} + 0,3, 1,0\right) \quad (7.2)$$

$$\rho_s = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{f_y}{235}} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot \sqrt{k_c} \quad (5.8)$$

$$A_{s,min} = \rho_s \cdot A_{c,beff} \quad (5.7)$$

där e_0 är avståndet mellan komposittvärsnittets tyngdpunkt och betongplattans tyngdpunkt, och f_{ctm} är betongens medelvärde för draghållfasthet.

Om $A_s \geq A_{s,\min}$ gäller vald armering. Annars dimensioneras antalet stänger om utifrån $A_{s,\min}$.

Resultat

Armeringsberäkningarna sammanfattas i tabell A.4.2.

Tabell A.4.2: Utformning och kontroll av längdarmering i betongplatta

Tvärsnitt	$n_{\text{stänger}}$	A_s [cm ²]	k_c [-]	ρ_s [-]	$A_{s,\min}$ [cm ²]	Status
Upplag	78	156.83	0.907	0.01013	152.05	OK
Fält	78	156.83	0.947	0.01035	155.37	OK

Tabellen anger armering per halvt tvärsnitt (en balk). Totalt för hela brobanan är antalet stänger det dubbla.

A.4.4.6 Plastisk momentkapacitet för sammansatta tvärsnittet

Vid brottgränstillstånd används plastisk momentkapacitet. Detta innebär att tvärsnittets plastiska neutralaxel beräknas genom att beräkna var jämvikt mellan tryckta och dragta delar uppstår om allt material uppnår flytgräns. Den plastiska momentkapaciteten beräknas enligt SS-EN 1994-2:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005c), kapitel 6.2.1.2.

Betongens tryckkapacitet, multipliceras med 0,85 enligt antagande d).

$$N_{c, \text{pl}} = b_{eff} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

Överflänsens totala tryck/dragkapacitet:

$$N_{\text{fläns, ö, pl}} = b_{\text{fläns, ö}} \cdot t_{\text{fläns, ö}} \cdot f_{yd, \text{fläns, ö}}$$

Livets totala tryck/dragkapacitet:

$$N_{\text{liv, pl}} = t_{\text{liv}} \cdot h_{\text{liv}} \cdot f_{yd, \text{liv}}$$

Nedre flänsens totala tryck/dragkapacitet:

$$N_{\text{fläns, n, pl}} = b_{\text{fläns, n}} \cdot t_{\text{fläns, n}} \cdot f_{yd, \text{fläns, n}}$$

Armeringslagrens totala tryck/dragkapacitet:

$$N_{\text{armering, ö, pl}} = A_{\text{armering, ö}} \cdot f_{sd}$$

$$N_{\text{armering, n, pl}} = A_{\text{armering, n}} \cdot f_{sd}$$

När alla dragkapaciteter är kända kan man beräkna var den plastiska neutralaxeln befinner sig med hjälp av horisontell kraftjämvikt. Se matlab-kod för exakta beräkningar.

Vi får:

$PNA_{\text{upplag}} = 0,6753 \text{ m}$ (Mätt från betongöverkant)

Plastiska neutralaxeln ligger inte i betongplattan, kontroll OK!

$PNA_{\text{fält}} = 1,3044 \text{ m}$ (Mätt från betongöverkant)

Plastiska neutralaxeln ligger inte i betongplattan, kontroll OK!

När den plastiska neutralaxelns läge är känt beräknas den plastiska momentkapaciteten som summan av varje delkrafts bidrag kring PNA. Varje del antas ha uppnått sin flytgräns, tryckt eller dragen beroende på läge relativt PNA. I vårt fall ligger PNA i livet på stålbalkarna för både upplag- och fältbalkarna. Beräkningarna följer SS-EN 1994-2:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005c), kapitel 6.2.1.2. Delkrafterna och deras armar beräknas som:

$$N_c = b_{\text{eff}} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$z_c = \left| PNA - \frac{h_c}{2} \right|$$

$$N_{\text{fläns, ö}} = b_{\text{fläns, ö}} \cdot t_{\text{fläns, ö}} \cdot f_{yd, \text{ fläns, ö}}$$

$$z_{\text{fläns, ö}} = \left| PNA - \left(h_c + \frac{t_{\text{fläns, ö}}}{2} \right) \right|$$

$$N_{\text{liv, tryck}} = t_{\text{liv}} \cdot h_{\text{tryck}} \cdot f_{yd, \text{ liv}}, \quad h_{\text{tryck}} = PNA - h_c - t_{\text{fläns, ö}}$$

$$z_{\text{liv, tryck}} = \left| PNA - \left(h_c + t_{\text{fläns, ö}} + \frac{h_{\text{tryck}}}{2} \right) \right|$$

$$N_{\text{liv, drag}} = t_{\text{liv}} \cdot h_{\text{drag}} \cdot f_{yd, \text{ liv}}, \quad h_{\text{drag}} = h_{\text{liv}} - h_{\text{tryck}}$$

$$z_{\text{liv, drag}} = \left| PNA - \left(h_c + t_{\text{fläns, ö}} + h_{\text{tryck}} + \frac{h_{\text{drag}}}{2} \right) \right|$$

$$N_{\text{fläns, n}} = b_{\text{fläns, n}} \cdot t_{\text{fläns, n}} \cdot f_{yd, \text{ fläns, n}}$$

$$z_{\text{fläns, n}} = \left| PNA - \left(h_c + t_{\text{fläns, ö}} + h_{\text{liv}} + \frac{t_{\text{fläns, n}}}{2} \right) \right|$$

Den totala plastiska momentkapaciteten ges av:

$$M_{\text{pl,Rd}} = N_c \cdot z_c + N_{\text{fläns, ö}} \cdot z_{\text{fläns, ö}} + N_{\text{liv, tryck}} \cdot z_{\text{liv, tryck}} + N_{\text{liv, drag}} \cdot z_{\text{liv, drag}} + N_{\text{fläns, n}} \cdot z_{\text{fläns, n}}$$

Kommentar: Den tryckta armeringens bidrag får försummas enligt kapitel 6.2.1.2, antagande c)

Vilket ger:

$$M_{\text{pl,Rd, upplag}} = 41,636 \text{ MNm} \geq M_{\text{Ed, upplag}} = 25,0 \text{ MNm} \quad \text{OK!}$$

$$M_{\text{pl,Rd, fält}} = 54,746 \text{ MNm} \geq M_{\text{Ed, fält}} = 33,27 \text{ MNm} \quad \text{OK!}$$

A.4.4.7 Plastisk momentkapacitet för enbart stålbalkar (gjutskede)

Under gjutskedet är betongplattan ännu inte hårdnad och därför sker inte någon samverkan mellan stålbalkar och betong. Momentkapaciteten beräknas enbart för stålbalkarna med samma princip som tidigare avsnitt, men utan betong och armering.

Den plastiska neutralaxelns läge för enbart stålbalkarna, PNA_{gjut} , bestäms av kraftjämvikt i ståltvårsnittets delar och mäts från stålbalkens överkant. Tre fall kontrolleras: PNA i övre fläns, liv respektive nedre fläns.

Momentkapaciteten beräknas sedan med det sammansatta tvärsnittet:

$$M_{pl,Rd,gjut} = N_{fläns, ö} \cdot z_{fläns, ö} + N_{liv, tryck} \cdot z_{liv, tryck} + N_{liv, drag} \cdot z_{liv, drag} + N_{fläns, n} \cdot z_{fläns, n}$$

Vilket ger:

$$M_{pl,Rd,gjut, upplag} = 18,024 \text{ MNm} \geq M_{Ed,gjut, upplag} = 10,3 \text{ MNm} \quad \text{OK!}$$

$$M_{pl,Rd,gjut, fält} = 18,315 \text{ MNm} \geq M_{Ed,gjut, fält} = 13,5 \text{ MNm} \quad \text{OK!}$$

A.4.4.8 Kontroll av vippning (gjutskede)

Under gjutskedet är stålbalkens överfläns inte inspänd av betongplattan och vippning måste kontrolleras. Vippning är även en faktor för den färdiga bron, men gjutskedet borde vara det dimensionerande fallet för vippning då det fallet är mindre gynnsamt. Således beräknas inte vippning enligt eurokod utan istället används ekvation från *Bärande konstruktioner - Del 1* (Al-Emrani m.fl., 2013). Bärförmågan mot vippning $M_{b,Rd}$ beräknas enligt SS-EN 1993-1-1:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005b), kapitel 6.3.2.

Det kritiska vippningsmomentet M_{cr} beräknas med:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L_{cr}} \sqrt{E_s \cdot I_z \left(G_k \cdot I_T + \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot I_w}{L_{cr}^2} \right)} \quad (\text{S4-34})$$

där:

L_{cr} är knäcklängden, satt lika med c/c-avstånd för laterala stöd (vippningsavstyvningar).

I_z är tröghetsmomentet kring balkens svaga axel.

I_T är St. Venants vridtröghet.

I_w är välvtröghetsmomentet, beräknat för I-tvärsnitt med olika flänsar som:

$$I_w = \frac{I_{z, fläns, ö} \cdot I_{z, fläns, n} \cdot h_s^2}{I_z}$$

där h_s är avståndet mellan flänsarnas tyngdpunkter och $I_{z, fläns}$ är respektive fläns bidrag till I_z .

Den relativa slankheten definieras som:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rd,gjut}}{M_{cr}}} \quad (6.56)$$

Reduktionsfaktorn χ_{LT} bestäms med imperfektionsfaktor $\alpha_{LT} = 0,76$ (kurva d, svet-sad I-sektion med stor höjd/bredd-kvot) och nationellt bestämda värden $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ och $\beta_{LT} = 0,75$ enligt SS-EN 1993-1-1:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005b), tabell 6.3 och 6.5:

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta_{LT} \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \\ \chi_{LT} &= \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta_{LT} \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \min \left(1,0 ; \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \right) \end{aligned} \quad (6.57)$$

Bärförmågan med hänsyn till vippning ges av:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,gjut} \quad (6.55)$$

Vilket ger:

$$\begin{aligned} M_{b,Rd, \text{ upplag}} &= 13,4865 \text{ MNm} \geq M_{Ed,gjut, \text{ upplag}} = 10,3 \text{ MNm}, \quad \text{OK!} \\ M_{b,Rd, \text{ fält}} &= 14,6712 \text{ MNm} \geq M_{Ed,gjut, \text{ fält}} = 13,5 \text{ MNm}, \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

A.4.4.9 Tvärkraftskapacitet och kontroll av skjuvbuckling

Tvärkraftskapaciteten bärs enbart av stålbalkens livplåt. Kontroll av om skjuvbuckling behöver beaktas görs enligt SS-EN 1993-1-5:2006 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2006), kapitel 5.1. Skjuvbuckling behöver kontrolleras om:

$$\frac{h_w}{t_w} > \frac{31}{\eta} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\kappa_\tau}$$

där $\eta = 1,2$ antas och $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$. Korrektionsfaktorn κ_τ beror på förhållandet mellan panelens höjd och livavstyvningarnas centrumavstånd a :

$$\kappa_\tau = \begin{cases} 5,34 + 4 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 & \text{om } a/h_w \geq 1 \\ 4 + 5,34 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 & \text{om } a/h_w < 1 \end{cases} \quad (A.5)$$

Om skjuvbuckling måste kontrolleras beräknas livets slankhet och reduktionsfaktor:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\kappa_\tau}} \quad (5.6)$$

$$\chi_w = \begin{cases} \eta & \bar{\lambda}_w < 0,8/\eta \\ 0,83/\bar{\lambda}_w & 0,8/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08 \\ 1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w) & \bar{\lambda}_w \geq 1,08 \end{cases} \quad (\text{Tabell 5.1})$$

Tvärkraftsbärförmågan ges av:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (5.2)$$

Interaktion mellan tvärkraft och moment beaktas enligt SS-EN 1994-2:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005c), kapitel 6.2.2.4. Om $V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{Rd}$ reduceras livets sträckgräns med faktorn $(1 - \rho)$, där:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.5)$$

Den reducerade momentkapaciteten $M_{V,M,Rd}$ beräknas med samma formel som $M_{pl,Rd}$ men med den reducerade livhållfastheten $f_{yd,liv,red} = f_{yd,liv} \cdot (1 - \rho)$. Positionen för PNA ändras ej.

Vilket ger:

$$V_{bw,Rd, \text{ upplag}} = 10825 \text{ kN} \geq V_{Ed, \text{ upplag}} = 3404,1 \text{ kN}, \quad \text{OK!}$$

$$V_{bw,Rd, \text{ fält}} = 10825 \text{ kN} \geq V_{Ed, \text{ fält}} = 2000,0 \text{ kN}, \quad \text{OK!}$$

A.4.5 Beräkningar bruksgränstillstånd (SLS)

A.4.5.1 Krypning

Krypning i betong minskar den effektiva elasticitetsmodulen och ökar deformationerna på lång sikt. Kryptalet φ beräknas enligt *Bärande konstruktioner - Del 1* (Al-Emrani m. fl., 2013).

Effektiv tvärsnittstjocklek för betongplattan:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} \quad (\text{B2-19})$$

där u är omgivningens omkrets (exponerade sidor). Kryptalet beräknas som:

$$\varphi = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (\text{B2-23})$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot h_0^{1/3}} \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,7} \right) \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,2}$$

där relativ fuktighet $RH = 80\%$, $\beta(f_{cm}) = 2,56$ (Tabell B2.9) och $\beta(t_0) = 0,488$ (figur B2.20) (betongens ålder vid lastpåläggning 28 dygn).

Den effektiva elasticitetsmodulen för betong med hänsyn till enligt *Bärande konstruktioner - Del 2* (Al-Emrani m. fl., 2014):

$$E_{c,ef} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} \quad (B7-65)$$

$$\alpha_{ef} = \frac{E_s}{E_{c,ef}} \quad (B7-67)$$

A.4.5.2 Krympning

Krympning ger upphov till egenspanningar i komposittvärsnittets delar. Den totala krympningen beräknas enligt *Bärande konstruktioner - Del 1* (Al-Emrani m. fl., 2013).

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \quad (B2-17)$$

Torkkrympningen ges av:

$$\varepsilon_{cd} = k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad (B2-18)$$

där k_h interpoleras ur tabellvärden, tabell B2.7, som funktion av h_0 , $\beta_{RH} = 0,756$ för $RH = 80\%$ enligt tabell B2.6 och $\varepsilon_{cd,0} = 0,335 \cdot 10^{-3}$ (cementtyp N) enligt tabell B2.5. Autogen krympning för aktuell betongtyp: $\varepsilon_{ca} = 0,0625 \cdot 10^{-3}$ enligt tabell B2.8.

Krympningen ger upphov till dragkrafter i armeringen:

$$F_{cs,\ddot{o}} = E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot A_{arm,\ddot{o}} \quad (B7-61)$$

$$F_{cs,n} = E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot A_{arm,n}$$

A.4.5.3 Tvärsnittskonstanter med hänsyn till långtidseffekter

Tvärsnittets effektiva area och tyngdpunkt beräknas med α_{ef} istället för α i ULS-beräkningarna:

$$A_{ef} = A_{c,beff} + \alpha_{ef} \cdot A_{Ib} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot (A_{arm,\ddot{o}} + A_{arm,n})$$

$$tp_{ef} = \frac{A_{c,beff} \cdot tp_c + \alpha_{ef} \cdot A_{Ib} \cdot tp_{Ib} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_{arm,\ddot{o}} \cdot d' + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A_{arm,n} \cdot d}{A_{ef}}$$

Det effektiva tröghetsmomentet:

$$I_{ef} = \alpha_{ef} \cdot I_{Ib} + \alpha_{ef} \cdot A_{Ib} \cdot e_{1,ef}^2 + I_{c,beff} + A_{c,beff} \cdot e_{0,ef}^2 + (\alpha_{ef} - 1) \cdot (A_{arm,n} e_{2,ef}^2 + A_{arm,\ddot{o}} e_{3,ef}^2)$$

A.4.5.4 Spänningskontroll i bruksgränstillstånd

Spänningsfördelningen bestäms med hänsyn till krympningskrafter och applicerat moment. Spänningen vid en punkt på avstånd z från den effektiva neutralaxeln (positiv neråt från tyngdpunkten):

$$\sigma = \frac{F_{cs,n} + F_{cs,\ddot{o}}}{A_{ef}} + \frac{-F_{cs,n} \cdot e_{2,ef} - F_{cs,\ddot{o}} \cdot e_{3,ef} + M_{Ed}}{I_{ef}} \cdot z$$

För stål- och armeringsdelar multipliceras spänningen med α_{ef} och för armeringen adderas dessutom bidraget från krympkraften direkt i stålet:

$$\sigma_{\text{arm, } \ddot{o}} = -\frac{F_{cs,\ddot{o}}}{A_{\text{arm, } \ddot{o}}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma(z_{\text{arm, } \ddot{o}})$$

$$\sigma_{\text{arm, n}} = -\frac{F_{cs,n}}{A_{\text{arm, n}}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma(z_{\text{arm, n}})$$

$$\sigma_{\text{fläns, n}} = \alpha_{ef} \cdot \sigma(z_{\text{fläns, n}})$$

Kontroll görs mot följande gränsvärden:

$$\sigma_{\text{betong, tryck}} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$\sigma_{\text{armering}} \leq 0,8 \cdot f_{yk}$$

$$\sigma_{\text{stål}} \leq 0,8 \cdot f_y$$

Alla spänningskontroller uppfylldes. Resultterande spänningar och utnyttjandegrader sammanfattas i tabell A.4.3.

Tabell A.4.3: Spänningskontroll i bruksgränstillstånd för upplag och fält

Tvärsnitt	Del	σ [MPa]	Gräns [MPa]	Utnyttj. [%]	Status
Upplag	Betong, tryck	-11.07	$0,45f_{ck} = 15.8$	70.3	OK
	Övre armering	-212.96	$0,8f_{yk} = 400.0$	53.2	OK
	Nedre armering	-172.45	$0,8f_{yk} = 400.0$	43.1	OK
	Nedre fläns	256.51	$0,8f_{y,\text{fläns,n}} = 268.0$	95.7	OK
Fält	Betong, tryck	-13.96	$0,45f_{ck} = 15.8$	88.7	OK
	Övre armering	-259.90	$0,8f_{yk} = 400.0$	65.0	OK
	Nedre armering	-213.85	$0,8f_{yk} = 400.0$	53.5	OK
	Nedre fläns	267.14	$0,8f_{y,\text{fläns,n}} = 268.0$	99.7	OK

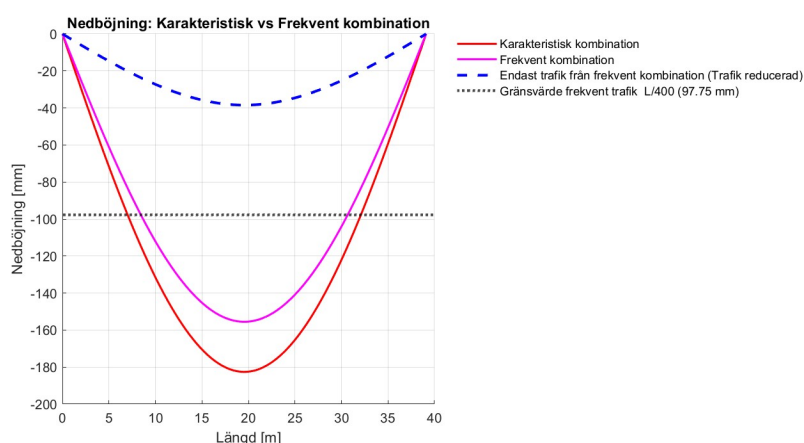
A.4.5.5 Vertikal deformation

Den vertikala deformationen i längdled har beräknats med hjälp av en CALFEM-modell i MATLAB (se skript B.9) Beräkningen avser den mest belastade huvudbalken inklusive tillhörande del av plattan. Materialegenskaperna och tvärsnittskonstanterna (E , I och A) har bestämts utifrån ett samverkanstvärsnitt som omräknats till ett ekvivalent betongtvärsnitt.

I-balkarnas tvärsnitt har optimerats utefter momentbehovet för att optimera materialanvändningen. Det innebär att balken har ett tyngre tvärsnitt i fält jämfört med vid upplag. Vid beräkning av de vertikala deformationerna har tvärsnittet med lägst tröghetsmoment använts över hela spännvidden. Detta har kombinerats med egentyingden från det tyngsta tvärsnittet för att erhålla ett konservativt resultat. Deformation från permanenta laster som egentyingd planeras att byggas bort genom förhöjning (pilhöjd). Däremot behöver nedböjning från den frekventa trafiklasten kontrolleras mot kraven enligt TRVINFRA-00227, avsnitt 7.2.1.1.4.2.2. Resultaten visas i Tabell A.4.4 och Figur A.4.3 nedan.

Tabell A.4.4: Beräknad maximal vertikal deformation i längdled jämfört med gränsvärde enligt TRVINFRA-00227.

Analys	Beräknad def. [mm]	Gränsvärde ($L/400$) [mm]
Längdled (huvudbalk)	38,47	97,75

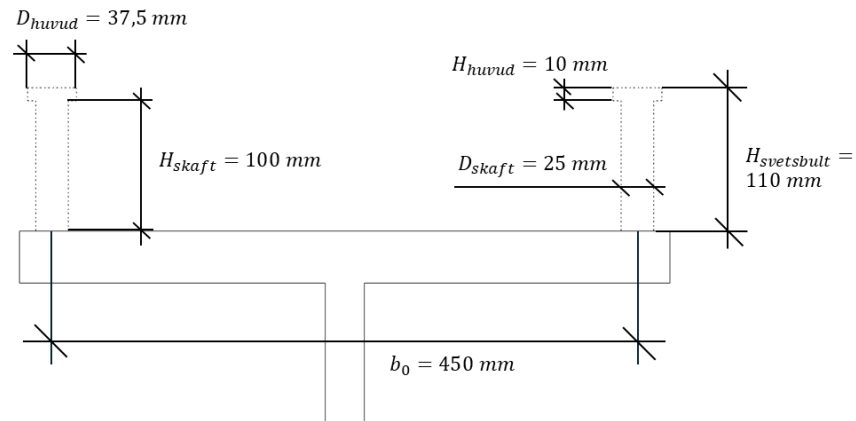


Figur A.4.3: Vertikala deformationen i brons längdled. Den blå-streckade linjen motsvarar nedböjningen från enbart trafiken i den frekventa lastkombinationen.

A.4.6 Detaljberäkningar

A.4.6.1 Dimensionering av svetsbultar

Svetsbultarna överför horisontell skjuvkraft mellan betongplattan och stålbalken. Beräkningarna följer SS-EN 1994-2:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005c), kapitel 6.6.3.1. Se figur A.4.4 för slutgiltig utformning



Figur A.4.4: Valda mått på svetsbultarna, sett i tvärled

Val av svetsbultarnas dimensioner

Svetsbultarnas mått väljs enligt de geometriska krav som ställs i SS-EN 1994-2:2005 (Svenska institutet för standarder (SIS), 2005c), kapitel 6.6.5.7. Skaftdiametern väljs till det maximalt tillåtna måttet:

$$D_{skaft} = 25 \text{ mm}$$

$$D_{huvud} = 37,5 \text{ mm} \geq 1,5 \cdot D_{skaft} = 37,5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$H_{huvud} = 10 \text{ mm} \geq 0,4 \cdot D_{skaft} = 10 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$H_{skaft} = 100 \text{ mm} \geq 3 \cdot D_{skaft} = 75 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Enligt kapitel 6.6.5.1 ska den yta som upptar separationskrafter (huvudets undersida) ligga minst 30 mm över underkantsarmeringens överyta. Med valt täckskikt och armeringsdiametrar uppfylls detta krav. Minsta tillåtna centrumavstånd kontrolleras:

$$c_{sv,längd,min} = 5 \cdot D_{skaft} = 125 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$c_{sv,sido,min} = 2,5 \cdot D_{skaft} = 62,5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Svetsbultarnas totala höjd ges av $H_{svetsbult} = H_{huvud} + H_{skaft} = 110 \text{ mm}$, vilket ger förhållandet $H_{svetsbult}/D_{skaft} = 4,4 > 4$, varför $\alpha = 1$ används vid kapacitetsberäkningen.

Kontroll av svetsbultarnas kapacitet

Den elastiska skjuvkraften per löpmeter bestäms av:

$$v_{l,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_c}{I_{sam}}$$

där $S_c = A_{c,beff} \cdot e_0$ är statiska momentet för betongplattans area kring komposittvärsnittets neutralaxel och I_{sam} är komposittvärsnittets tröghetsmoment (redan omräknat till ekvivalent betongtvärsnitt, varför α ej förekommer i nämnaren). Kapaciteten per svetsbult beräknas som det minsta av betong- och stålbrott:

$$P_{Rd} = \min\left(\frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi D_{skaft}^2 / 4}{\gamma_V}; \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot D_{skaft}^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_V}\right) \quad (6.18, 6.19)$$

där $\alpha = 0,2(H_{svetsbult}/D_{skaft} + 1)$ för $3 \leq H_{svetsbult}/D_{skaft} \leq 4$, annars $\alpha = 1$. Kapaciteten multipliceras med 2 eftersom det antas placeras två svetsbultar per rad i tvärsnittet, i enlighet med antagandena för effektiv bredd. Nödvändigt antal rader per meter och c/c-avstånd i längdled:

$$n_{rader/m} = \frac{v_{l,Ed}}{P_{Rd}}$$

$$c_{sv,längd} = \frac{1}{n_{rader/m}}$$

Vilket ger:

$$c_{sv,längd, upplag} = 0,1465 \text{ m}$$

$$c_{sv,längd, fält} = 0,2552 \text{ m}$$

A.4.6.2 Dimensionering av svetsar

Stumsvets som sammanfogar de 2 balkdelarna behöver ej beräknas då de antas starkare än grundmaterialet. Halssvetsarna mellan I-balkarnas flänsar och liv behöver däremot kontrolleras.

A.4.6.3 Halssvetsar

Kontroll för svetsar görs vid stöd där svetsarna utsätts för maximal belastning. Hela tvärsnittet, alltså både betongplattan och stålbalken används för tvärsnittskonstanterna I och S. Ekvationer är hämtade från (Al-Emrani m. fl., 2014).

Laster och indata:

$$V_{Ed} = 3404 \text{ kN}$$

$$R_A = 3404 \text{ kN}$$

$$Q_{punkt} = 1107 \text{ kN}$$

$$q_{egen} = 113,6 \text{ kN/m}$$

$$I_{sam} = 0.7723 \text{ m}^4$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad (\text{S9-13})$$

Stålkvalitet : S355

$$\beta_w = 0,9 \quad (\text{Tabell S9.1})$$

Undre svets

Undre svetsen belastas av reaktionskraften vid stöd. Upplagslängden är baserad på bredden av brons minsta lager.

$$a_u = 0,015 \text{ m}$$

$$L_{upplag} = 0,47 \text{ m}$$

$$f_{u,n} = 470 \text{ MPa}$$

Vinkelräta spänningar:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{R_a}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot L_{upplag} \cdot a_u} = 171 \text{ MPa} \quad (\text{S9-3})$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_{u,n}}{\gamma_{M2}} = 338 \text{ MPa} \quad \text{Kontroll OK!} \quad (\text{S9-13})$$

Parallell skjuvspänning:

$$S_u = \frac{h_{Ibalk}}{2} \cdot A_{flans,u} = 0,0681 \text{ m}^3$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed} \cdot S_u}{I \cdot 2 \cdot a_u} = 10 \text{ MPa} \quad (\text{S9-11})$$

Ekvivalent spänning

$$\sigma_{eq,n} = \sqrt{\sigma_{\perp,n}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp,n}^2 + \tau_{\parallel,n}^2)} = 342 \text{ MPa} \quad (\text{S9-12})$$

$$\sigma_{eq} \leq \frac{f_{u,n}}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = 417 \text{ MPa} \quad \text{Kontroll OK!} \quad (\text{S9-12})$$

$$\text{Nyttjandegrad} = 82\%$$

Övre svets

Övre svetsen belastas av utbredd last av brons egenvikt samt punktlast placerad vid stöd. Punktlastens spänningsfördelning antas konservativt 1:1 från farbanan till

svetsen. Svetslängden ansätts därav till bredden av punktlastens lastfält.

$$a_o = 0,010 \text{ m}$$

$$L_{dack} = 0,4 \text{ m}$$

$$f_{u,o} = 510 \text{ MPa}$$

$$Q_{egen} = q_{egen} \cdot L_{dack} = 45 \text{ kN}$$

$$Q_{tot} = Q_{punkt} + Q_{egen} = 1152 \text{ kN}$$

Vinkelräta spänningar:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{Q_{tot}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot L_{dack} \cdot a_o} \quad (\text{S9-3})$$

$$= 87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_{u,o}}{\gamma_{M2}} = 367 \text{ MPa} \quad \text{Kontroll OK!} \quad (\text{S9-13})$$

Ekvivalent stålarea platta:

$$\alpha_s = \frac{E_{cm}}{E_s} = 0,17$$

$$A_{betong,ekv} = \alpha_s \cdot A_{betong} = 0,972 \text{ m}^2$$

Statiskt moment för övre fläns och platta:

$$S_{samv} = A_{fläns,o} \cdot d_{fläns} + A_{betong,ekv} \cdot d_{platta} = 0,974 \text{ m}^3$$

(d är avstånd mellan konstruktionsdelens tyngdpunkt och tvärsnittets neutrallager)

Parallell skjuvspänning:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed} \cdot S_u}{I \cdot 2 \cdot a_u} = 239 \text{ MPa} \quad (\text{S9-11})$$

Ekvivalent spänning

$$\sigma_{eq,o} = \sqrt{\sigma_{\perp,n}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp,o}^2 + \tau_{\parallel,o}^2)} = 410 \text{ MPa} \quad (\text{S9-12})$$

$$\sigma_{eq} \leq \frac{f_{u,o}}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = 453 \text{ MPa} \quad \text{Kontroll OK!} \quad (\text{S9-12})$$

$$\text{Nyttjandegrad} = 91\%$$

Appendix B – MATLAB-skript

B.1

Indatafil med geometrier

```
%% Indata - Geometri bro och element
% Brons övergripande mått
Sp = 37.5 + 0.8*2; % Spännvidd, + avstånd till mitten lager
B_kb = 7.15; % Bredd körbana
B_kantb = 0.4; %Höftat värde, kontrollera!!!
B_tot = B_kb + 2*B_kantb;
L_Pl = 38; %total längd platta, höftat kontrollera!!!

Balk_cc = 0.6*B_kb; % Cc-mått mellan balkarna i tvärlängd
Konsol = (B_tot-Balk_cc)/2;
Konsol_exkl_kantnalk = (B_kb-Balk_cc)/2;
Laterala_stod_cc = [6, 6]; % cc-mått mellan stöd under bron
    som förhindrar vippning av stål balkarna

%% I-balkarna
% Allmänna
L_Ib = Sp; % Totallängd I-balk

% Värden uppdelade enligt:
%      = [Upplag, fält]

Liv_H = [1.25, 1.25]; % Livhöjd
Liv_T = [0.03, 0.03]; % Livtjocklek
Flans_B_U = [0.5, 0.5]; % Flänsbredd övre sidan
Flans_B_N = [0.7, 0.95]; % Flänsbredd nedre sidan
Flans_T_U = [0.04, 0.04]; % Flänstjocklek uppe
Flans_T_N = [0.08, 0.08]; % Flänstjocklek nere
Livavstyvning_cc = [6,6]; % Avstånd mellan
    livavstyvningar

% Halssvets
a_matt = 0.01; % Behöver ändras till rätt/rimligt!

% Area
A_Ib = Liv_H .* Liv_T + Flans_B_U .* Flans_T_U + Flans_B_N .*
    Flans_T_N; % Tvärsnittsarea för 1 balk [m^2]

% Tyngdpunkt:
Xtp_Ib = (Flans_B_U.*Flans_T_U.*Flans_T_U./2 + Liv_T.*Liv_H
    .*(Flans_T_U+Liv_H./2) + Flans_B_N.*Flans_T_N.*(Flans_T_U+
    Liv_H+Flans_T_N./2)) ./ A_Ib;

% Yttröghetsmoment
I_Ib = Flans_B_U.*Flans_T_U.^3./12 + Flans_B_U.*Flans_T_U.*(
    Flans_T_U./2-Xtp_Ib).^2 + Liv_T.*Liv_H.^3./12 + Liv_H.*
```

```

Liv_T.*(Flans_T_U+Liv_H./2 - Xtp_Ib).^2 + Flans_B_N.*
Flans_T_N.^3./12 + Flans_B_N.*Flans_T_N.*(Flans_T_U+Liv_H+
Flans_T_N./2-Xtp_Ib).^2;

%% Betongplatta

H_Pl = 0.42; % Höjden av plattan, höftat v
ärde just nu (utan kantbalk)
Bf_Pl = 4.29; % Bredden mellan balkarna, fä
ltet
Bk_Pl = (B_kb-Bf_Pl)/2; % Bredden av konsolerna

B_kantbalk = 0.400;
H_kantbalk = H_Pl+0.210;
A_kantbalk = B_kantbalk*H_kantbalk;

A_Pl = H_Pl*B_kb; %Arean av plattans tvärsnitt för två
rssnittsberäkningar
A_egenvikt = A_Pl + 2*A_kantbalk; % Total area med kantbalkar
, för egenviktsberäkningar

VBalk_mitt = (B_kb-Bf_Pl)/2; % balkars
position
HBalk_mitt = ((B_kb-Bf_Pl)/2)+Bf_Pl;

% Armering längsled

D_armering = 0.016; % Armeringens
diameter
A_armeringsstang = ((D_armering^2)*pi)/4; % En
armeringsstavs area (Övre)

%% PLACERING AV ARMERING

%Täckskikt
Dcdev = 0.01; %[m] [B4-26]
cmin = D_armering; %[m] [B4-25]

cnom = cmin+Dcdev; %Nominellt mått på täckande betongskikt [m
] [B4-24]

%Centrumavstånd
dg = 0.032; %[m] största stenstorlek i ballasten [COWI]
k1 = 1.0;
k2 = 0.005; %[m]

amin = max([D_armering*k1, dg+k2, 0.02]); %[B4-27]

```

```

Tackskikt = cnom;

n = 79; % Antal
    armeringsjärn i plattans nederkant
n_prim = 79; % Antal
    armeringsjärn i plattans överkant
c_avstand_min = amin; % Minsta
    tillåtna centrumavstånd
c_avstand = (B_kb-2*Tackskikt-D_armering)/(n-1); %
    Centrumavstånd nere

if c_avstand < c_avstand_min
    fprintf('\nVARNING GEOMETRI: Avstånd mellan armering är f
        ör liten\n');
end

A_armering_U = n*A_armeringsstang; % Övre
    armeringsradens area
A_armering_N = n_prim*A_armeringsstang; % Nedre
    armeringsradens area
d = H_P1-Tackskikt-0.016-0.08-D_armering/2; % Avstånd frå
    n ovkant betong till den nedre armeringen
d_prim = Tackskikt+0.016+0.08+D_armering/2; % Avstånd frå
    n ovkant betong till övre armeringen

% Armering tvärled

D_armering_U2 = 0.020;
D_armering_N2 = 0.020; %
    Armeringens diameter
A_armeringsstang_U2 = ((D_armering_U2^2)*pi)/4; % En
    armeringsstavs area (Övre)
A_armeringsstang_N2 = ((D_armering_N2^2)*pi)/4; % En
    armeringsstav area (Nedre)

Tackskikt2 = 0.060; % Avstånd
    mellan betongens yta armeringens yta
n2 = 15; % Antal
    armeringsjärn i plattans nederkant
n_prim2 = 20; % Antal
    armeringsjärn i plattans överkant
c_avstand_min2 = 0.040; % Minsta
    tillåtna centrumavstånd
c_avstand_2 = (3-2*Tackskikt2-D_armering_U2)/(n_prim2-1);
    % Centrumavstånd uppe och nere

if c_avstand_2 < c_avstand_min2

```

```

    fprintf('\nVARNING GEOMETRI: Avstånd mellan armering är f
        ör liten\n');
end

A_armering_U2 = n2*A_armeringsstang_U2; % Övre
    armeringsradens area
A_armering_N2 = n_prim2*A_armeringsstang_N2; % Nedre
    armeringsradens area
d2 = H_P1-Tackskikt2-D_armering_N2/2; % Avstånd
    från ovankant betong till den nedre armeringen
d_prim2 = Tackskikt2+D_armering_U2/2; % Avstå
    nd från ovankant betong till övre armeringen

%% Svetsbultar

% Måttkrav enligt SS-EN 1994-2:2005 6.6.5.7

D_svetsbult = 0.025; % Antar maximala tillåtna måttet!
D_svetsbult_huvud = 0.0375;
H_svetsbult_huvud = 0.010;
H_svetsbult_skaft = 0.1;
c_avstand_svetsbult_min_langsled = 0.125;
c_avstand_svetsbult_min_sidled = 0.0625;
H_svetsbult = H_svetsbult_huvud + H_svetsbult_skaft;

% 6.6.5.1 anger vidare att den yta hos en förbindare som
    upptar
% separationskrafter (t ex huvudets undersida på en svetsbult
    ) bör ligga
% minst 30 mm över underkantsarmeringens överyta, se figur
    6.14.

% Lade till en liten marginal -1e-6 eftersom villkoret utlö
    stes annars

if D_svetsbult_huvud < 1.5*D_svetsbult - 1e-6
    fprintf('\nVARNING GEOMETRI: Svetsbultens huvud har för
        liten diameter\n');
end
if H_svetsbult_huvud < 0.4*D_svetsbult - 1e-6
    fprintf('\nVARNING GEOMETRI: Svetsbultens huvud har för
        liten höjd\n');
end
if H_svetsbult_skaft < 3*D_svetsbult-H_svetsbult_huvud - 1e-6
    || H_svetsbult_skaft < Tackskikt+D_armering+0.030
    fprintf('\nVARNING GEOMETRI: Svetsbultens skaft har för
        liten höjd\n');
end

```

```
if c_avstand_svetsbult_min_langsled < 5*D_svetsbult
    fprintf('\nVARNING GEOMETRI: Avstånd mellan svetsbultar ä
           r för liten i längdled\n');
end
if c_avstand_svetsbult_min_sidled < 2.5*D_svetsbult
    fprintf('\nVARNING GEOMETRI: Avstånd mellan svetsbultar ä
           r för liten i sidled\n');
end
```

B.2

Indatafil med materialdata

```
%% Indata - Materialdata
Geometri

%% Stålet - S355
% Fy och Fu, för livet
for j=1:2

    if Liv_T(j) <= 0.040
        Fy_liv(j) = 355e6;
        Fu_liv(j) = 510e6;
    else
        Fy_liv(j) = 335e6;
        Fu_liv(j) = 470e6;
    end

    % Fy och Fu, för flänsar
    % Uppe
    if Flans_T_U(j) <= 0.040
        Fy_flans_U(j) = 355e6;
        Fu_flans_U(j) = 510e6;
    else
        Fy_flans_U(j) = 335e6;
        Fu_flans_U(j) = 470e6;
    end

    % Nere

    if Flans_T_N(j) <= 0.040
        Fy_flans_N(j) = 355e6;
        Fu_flans_N(j) = 510e6;
    else
        Fy_flans_N(j) = 335e6;
        Fu_flans_N(j) = 470e6;
    end
end

rho_stal = 7800;           % kg/m3
E_stal = 200e9;           % Pa
Gk_stal = 81e9;           % Pa, skjuvmodul

Tunghet_stal = 78.5e3; % Eurokod 1 [N/m3]
G_stal = Tunghet_stal * A_Ib(2); % Egenvikt stål, per balk [N
/m]
```

```
%% Betongen (Flytande)

rho_c_flyt = 26e3;    % kN/m^3 enligt Eurocode 1
G_betong_farsk = 26e3 * A_P1; % [N/m] i längsled!

% Betong fast (C35/45, XD3 och XF4, [SS-EN 1992-1-1, Tabell E
    .1N] ) väljer
% samma exp.klass för hela bron för enkelhetens skull
% OBS: Tsfs och trv-infra har information, se över faktiska v
    ärden!

% Armering B500B

E_armering = 200e9; %[B2-26]
f_yk = 500e6; %[B2.11]
y_s = 1.5;
f_yd = 434.78e6; %[B2-25]

% Svetsbult

fu_svetsbult = 500*1e6;

%% betong C35/45

f_ck = 35e6; %[B2.1]
f_cm = 43e6; %[B2.1]

alpha_cc = 1.0;
y_c = 1.5;
f_cd = alpha_cc*(f_ck/y_c); %[B2-3]

f_ctm = 3.2e6; %[B2.2]
f_ctk05 = 2.2e6; %[B2.2]

alpha_ct = 1.0;
f_ctd = alpha_ct * (f_ctk05/y_c); %[B2-10]

E_cm = 34e9; %[B2.26]
y_cE = 1.2;
E_cd = E_cm/y_cE; %[B2-15]

rho_c_P1 = 25000; %kg/m^3, Densitet för armerad betong enligt
    Eurocode 1
y = 1.35;    %Dimensionerande värde för ULS

Tunghet_betong_fast = 25e3; %inklusive armering [N/m3]
G_betong_fast = Tunghet_betong_fast * H_P1 * B_kb; % [N/m3]
```

```
%% Samlar alla egenvikter
% Tungheter
Tunghet_stal = 78.5e3;          % Eurokod 1 [N/m3]
rho_c_flyt = 26e3;             % [N/m^3] enligt Eurokod 1
Tunghet_betong_fast = 25e3;    % Inklusive armering [N/m3]
Tunghet_gjutasfalt = 25e3;    % Eurokod [N/m3]

% Egenvikter för längsleksberäkningar
G_stal = A_Ib(2)*Tunghet_stal; % För en I-balk [N/m]
G_betong_farsk = rho_c_flyt * A_Pl; % Hela plattan [N/m]
q_bygglast = 1e3 * B_kb; % Arbetare, verktyg, gjutformar etc
[N/m] SS-EN 1991-1-6:2026
G_betong_fast = Tunghet_betong_fast * A_Pl; % Hela plattan [N
/m]
G_kantbalk = Tunghet_betong_fast * A_kantbalk; % För en
kantbalk [N/m]
G_asfalt = Tunghet_gjutasfalt * 0.11 * B_kb; % För hela
asfaltskiktet [n/m]
G_racken = 0.7e3; % Hämtat från Nordic Road Safety.Räcke:
Nordic-SF-H2-High [N/m]
% + 10 kg/m extra för god marginal för olika
detaljutförningar som bultar,
% nät, etc.

%Sa mmanställer all utbredd last till svetsberäkningar (per
balk)
All_utbredd_last = q_tot * Fordelningsfaktor_utbredd_last +
G_betong_fast/2 + G_stal + G_asfalt/2 + G_racken +
G_kantbalk;
P_tot_per_balk = Q_tot * Fordelningsfaktor_punktlaster;
```

B.3

Indata trafiklaster

```
% Beräknar antal lastfält + restytan
w = 7.15;           % Körbanebredd [m]
wl = 3;            % Bredd per lastfält [m]
n = floor(w/3);     % Antal lastfält -> 2 st
restyta = w - 3*n;  % Bredd restyta [m]

% Laster - Hämtat från SS-EN 1991-2 samt TSFS 2018
Q1k = 300e3;        % Axellast i lastfält 1
Q2k = 200e3;        % Axellast i lastfält 2
alfa_Q1k = 0.9;     % anpassningsfaktor för axellast 1 - Tabell
                    % 11.1 i TSFS
alfa_Q2k = 0.9;     % anpassningsfaktor för axellast 2

q1k = 9e3;          % utbredd last i LF 1 [N/m2]
q2k = 2.5e3;        % utbredd last i LF2 och restyta [N/m2]
alfa_q1 = 0.8;      % anpassningsfaktor för utbredd last i LF1
alfa_q2 = 1;        % anpassningsfaktor för utbredd last i LF2
alfa_qr = 1;        % anpassningsfaktor för utbredd last i
                    % restytan

% Utbredda arealasterna räknade med anpassningsfaktorerna
q1 = q1k*alfa_q1;   % [N/m2]
q2 = q2k*alfa_q2;   % [N/m2]
qr = q2;            % [N/m2]

% Linjelaster i brons längdled
q1_linje = wl*q1;   % [N/m]
q2_linje = wl*q2;   % [N/m]
qr_linje = restyta*qr; % [N/m]
q_tot = (q1_linje + q2_linje + qr_linje); % total linjelast
                    % brons längdled [N/m]

% Axellasterna räknade med anpassningsfaktorerna (
                    % punktlasterna)
Q1 = Q1k*alfa_Q1k; % Värdet på punktlasterna i LF1
Q2 = Q2k*alfa_Q2k; % Värdet på punktlasterna i LF2
Q_tot = 2*(Q1+Q2); % Totala värdet på punktlasterna
```

B.4

Fördelningsfaktor utbredd trafiklast

```
%% Skript som beräknar fördelningsfaktor för
% maximal andel av utbredda trafiklaster till en balk

% Indata från andra filer
addpath(genpath(pwd))
Geometri
Materialdata
Trafiklaster_indata
clc, close all

% Elementindelning
nel = 100;           % Antal element totalt
nno = nel + 1;       % Antal noder

% Generera nodkoordinater (jämnt fördelade)
x = linspace(0, B_kb, nno)';
Coord = [x, zeros(nno, 1)]; % coord = [x y], koordinatmatris

% Skapa elementtopologi
Edof = zeros(nel, 7); % topologimatris
for i = 1:nel
    Edof(i, :) = [i, (i-1)*3+1, (i-1)*3+2, (i-1)*3+3, ...
                  i*3+1, i*3+2, i*3+3];
end

% Elementegenskaper (beam2e)
I_platta = B_kb*H_Pl^3/12;
ep = [E_cm, A_Pl, I_platta];

% Identifiera stödnoder (stålbalkarnas position)
pos_stal_1 = Konsol_exkl_kantnalk;
pos_stal_2 = Konsol_exkl_kantnalk + Balk_cc;

[~, nod_stal_1] = min(abs(x - pos_stal_1));
[~, nod_stal_2] = min(abs(x - pos_stal_2));

% Sätter upp randvillkor
% Frihetsgrader per nod: [u, v, theta] (axial, vertikal,
% rotation)
% Låser vertikalt vid stålbalkarna (v = 0)
bc = [
    (nod_stal_1-1)*3 + 2, 0; % Stålbalk 1: v = 0
    (nod_stal_2-1)*3 + 2, 0; % Stålbalk 2: v = 0
```

```

    1, 0; % Vänster kant: u = 0 (fö
        rhindra stelkroppsrörelse)
];

% Definierar laster
ndof = nno * 3;
f = zeros(ndof, 1);

for e = 1:nel
    x1 = x(e);
    x2 = x(e+1);
    Le = x2 - x1;
    mid = (x1 + x2)/2; % Elementets mittpunkt används för att
        välja last

    % Bestäm vilken last q som gäller för detta element
    if mid >= 0 && mid <= 3.0
        q_eff = q1;
    elseif mid > 3.0 && mid <= 5.72
        q_eff = q2;
    else
        q_eff = 0;
    end

    % Beräkna statistiskt ekvivalenta nodkrafter (hälften till
        varje nod)
    fe = q_eff * Le / 2;

    % Addera till globala kraftvektorn f (vertikala
        frihetsgrader)
    f((e-1)*3 + 2) = f((e-1)*3 + 2) + fe; % Vänster nod
    f((e)*3 + 2) = f((e)*3 + 2) + fe; % Höger nod
end

% Assemblerar styvhetsmatris
K = zeros(ndof, ndof);

for i = 1:nel
    % Elementkoordinater
    ex = [Coord(i, 1), Coord(i+1, 1)];
    ey = [Coord(i, 2), Coord(i+1, 2)];

    % Beräkna elementstyvhetsmatris
    Ke = beam2e(ex, ey, ep);

    % Assemblera
    K = assem(Edof(i,:), K, Ke);
end

```

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

% Beräkna snittkrafter i varje element
Ed = extract_ed(Edof, a); % Elementförskjutningar

M = zeros(nel, 2); % Moment vid varje elements ändnoder
V = zeros(nel, 2); % Tvärkraft vid varje elements ändnoder

for i = 1:nel
    ex = [Coord(i, 1), Coord(i+1, 1)];
    ey = [Coord(i, 2), Coord(i+1, 2)];

    ed = Ed(i, :);

    % Beräkna snittkrafter
    es = beam2s(ex, ey, ep, ed);

    % es = [N1 V1 M1; N2 V2 M2] för beam2s
    V(i, :) = es(:, 2)';
    M(i, :) = es(:, 3)';
end

% Skapa x-koordinater för plottning
x_plot = zeros(2*nel, 1);
M_plot = zeros(2*nel, 1);
V_plot = zeros(2*nel, 1);

for i = 1:nel
    x_plot(2*i-1) = Coord(i, 1);
    x_plot(2*i) = Coord(i+1, 1);

    M_plot(2*i-1) = M(i, 1);
    M_plot(2*i) = M(i, 2);

    V_plot(2*i-1) = V(i, 1);
    V_plot(2*i) = V(i, 2);
end

% Plottar resultat
figure('Position', [100, 100, 1000, 600]);

% Momentdiagram
subplot(2, 1, 1);
fill([x_plot; x_plot(1)], [M_plot; 0]/1e3, [0.8 0.9 1], 'EdgeColor', 'b', 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(x_plot, M_plot/1e3, 'b-', 'LineWidth', 2);
yline(0, 'k-', 'LineWidth', 0.5);
```

```
xline(x(nod_stal_1), 'r--', 'LineWidth', 1.5, 'Label', 'Stålbalk 1');
xline(x(nod_stal_2), 'r--', 'LineWidth', 1.5, 'Label', 'Stålbalk 2');
xlabel('Position i tvärled [m]');
ylabel('Moment [kNm]');
title('Böjmoment i betongplattan (tvärled)');
grid on;

% Tvärkraftsdiagram
subplot(2, 1, 2);
fill([x_plot; x_plot(1)], [V_plot; 0]/1e3, [1 0.9 0.8], 'EdgeColor', [0.8 0.4 0], 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(x_plot, V_plot/1e3, 'Color', [0.8 0.4 0], 'LineWidth', 2);
yline(0, 'k-', 'LineWidth', 0.5);
xline(x(nod_stal_1), 'r--', 'LineWidth', 1.5);
xline(x(nod_stal_2), 'r--', 'LineWidth', 1.5);
xlabel('Position i tvärled [m]');
ylabel('Tvärkraft [kN]');
title('Tvärkraft i betongplattan (tvärled)');
grid on;

% Skriv ut stödreaktioner
R1 = Q((nod_stal_1-1)*3 + 2);
R2 = Q((nod_stal_2-1)*3 + 2);

L_q1 = 3.0;
L_q2 = 5.72 - 3.0;

Fordelningsfaktor_utbredd_last = R1/(R1+R2);

fprintf('\n--- Stödreaktioner och andel till värsta balken\n');
fprintf('Stålbalk 1: R = %.2f kN\n', -R1/1e3);
fprintf('Stålbalk 2: R = %.2f kN\n', -R2/1e3);
fprintf('Summa: %.2f kN (Total last: %.2f kN)\n', -(R1+R2)/1e3, -(L_q1*q1 + L_q2*q2)/1e3);
fprintf('Fördelningsfaktor utbredda trafiklast = %.3f \n', Fordelningsfaktor_utbredd_last);
fprintf('Andel av utbredda lasten som går till värsta balken\n', Fordelningsfaktor_utbredd_last*q_tot/1000);

--- Stödreaktioner och andel till värsta balken ---
Stålbalk 1: R = 23.41 kN
Stålbalk 2: R = 5.00 kN
Summa: 28.41 kN (Total last: -28.40 kN)
Fördelningsfaktor utbredda trafiklast = 0.824
```

Andel av utbredda lasten som går till värsta balken 26.346
kNm

B.5

Fördelningsfaktor punktlaster från trafiklast

```
% Skript som beräknar fördelningsfaktorn för
% maximal andel av punktlaster till en av balkarna

% Indata från andra filer
addpath(genpath(pwd))
Geometri
Materialdata
Trafiklaster_indata
clc, close all

% Elementindelning
nel = 100; % Antal element totalt
nno = nel + 1; % Antal noder

% Generera nodkoordinater (jämnt fördelade)
x = linspace(0, B_kb, nno)';
Coord = [x, zeros(nno, 1)]; % coord = [x y], koordinatmatrixis

% Skapa elementtopologi
Edof = zeros(nel, 7); % topologimatrixis
for i = 1:nel
    Edof(i, :) = [i, (i-1)*3+1, (i-1)*3+2, (i-1)*3+3, ...
                  i*3+1, i*3+2, i*3+3];
end

% Elementegenskaper (beam2e)
I_platta = B_kb*H_Pl^3/12;
ep = [E_cm, A_Pl, I_platta];

% Identifiera stödnoder (stålbalkarnas position)
pos_stal_1 = Konsol_exkl_kantnalk;
pos_stal_2 = Konsol_exkl_kantnalk + Balk_cc;
[~, nod_stal_1] = min(abs(x - pos_stal_1));
[~, nod_stal_2] = min(abs(x - pos_stal_2));

% Sätter upp randvillkor
% Frihetsgrader per nod: [u, v, theta] (axial, vertikal,
% rotation)
% Läser vertikalt vid stålbalkarna (v = 0)
bc = [
    (nod_stal_1-1)*3 + 2, 0; % Stålbalk 1: v = 0
    (nod_stal_2-1)*3 + 2, 0; % Stålbalk 2: v = 0
    1, 0; % Vänster kant: u = 0 (fö
```

```
        rhindra stelkroppsrörelse)
];

% Definierar laster
ndof = nno * 3;
f = zeros(ndof, 1);

% Punktlaster lastposition och storlek
P1 = -270e3;           % Last 1 [N] (negativ = nedåtriktad)
x_P1 = 0;              % Position last 1 [m från vänster kant
    ]

P2 = -270e3;           % Last 2 [N]
x_P2 = 2;              % Position last 2 [m]

P3 = -180e3;
x_P3 = 3;

P4 = -180e3;
x_P4 = 5;

% Hitta närmaste nod och applicera last
[~, nod_P1] = min(abs(x - x_P1));
[~, nod_P2] = min(abs(x - x_P2));
[~, nod_P3] = min(abs(x - x_P3));
[~, nod_P4] = min(abs(x - x_P4));

f((nod_P1-1)*3 + 2) = P1; % Vertikal last vid nod
f((nod_P2-1)*3 + 2) = P2;
f((nod_P3-1)*3 + 2) = P3;
f((nod_P4-1)*3 + 2) = P4;

fprintf('\nLast %.0f kN vid x = %.2f m (nod %d)\n', P1/1e3, x(
    nod_P1), nod_P1);
fprintf('Last %.0f kN vid x = %.2f m (nod %d)\n', P2/1e3, x(
    nod_P2), nod_P2);
fprintf('Last %.0f kN vid x = %.2f m (nod %d)\n', P3/1e3, x(
    nod_P3), nod_P3);
fprintf('Last %.0f kN vid x = %.2f m (nod %d)\n', P4/1e3, x(
    nod_P4), nod_P4);

% Assemblerar styvhetsmatris
K = zeros(ndof, ndof);

for i = 1:nel
    % Elementkoordinater
    ex = [Coord(i, 1), Coord(i+1, 1)];
    ey = [Coord(i, 2), Coord(i+1, 2)];
```

```

    % Beräkna elementstyvhetsmatris
    Ke = beam2e(ex, ey, ep);

    % Assemblera
    K = assem(Edof(i,:), K, Ke);
end

% Lös ekvationssystemet
[a, Q] = solveq(K, f, bc);

% Beräkna snittkrafter i varje element
Ed = extract_ed(Edof, a); % Elementförskjutningar

M = zeros(nel, 2); % Moment vid varje elements ändnoder
V = zeros(nel, 2); % Tvärkraft vid varje elements ändnoder

for i = 1:nel
    ex = [Coord(i, 1), Coord(i+1, 1)];
    ey = [Coord(i, 2), Coord(i+1, 2)];

    ed = Ed(i, :);

    % Beräkna snittkrafter
    es = beam2s(ex, ey, ep, ed);

    % es = [N1 V1 M1; N2 V2 M2] för beam2s
    V(i, :) = es(:, 2)';
    M(i, :) = es(:, 3)';
end

% Skapa x-koordinater för plottning
x_plot = zeros(2*nel, 1);
M_plot = zeros(2*nel, 1);
V_plot = zeros(2*nel, 1);

for i = 1:nel
    x_plot(2*i-1) = Coord(i, 1);
    x_plot(2*i) = Coord(i+1, 1);

    M_plot(2*i-1) = M(i, 1);
    M_plot(2*i) = M(i, 2);

    V_plot(2*i-1) = V(i, 1);
    V_plot(2*i) = V(i, 2);
end

% Plottar resultat
figure('Position', [100, 100, 1000, 600]);

```

```
% Momentdiagram
subplot(2, 1, 1);
fill([x_plot; x_plot(1)], [M_plot; 0]/1e3, [0.8 0.9 1], '
    EdgeColor', 'b', 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(x_plot, M_plot/1e3, 'b-', 'LineWidth', 2);
yline(0, 'k-', 'LineWidth', 0.5);
xline(x(nod_stal_1), 'r--', 'LineWidth', 1.5, 'Label', 'Stå
    lbalk 1');
xline(x(nod_stal_2), 'r--', 'LineWidth', 1.5, 'Label', 'Stå
    lbalk 2');
xlabel('Position i tvärled [m]');
ylabel('Moment [kNm]');
title('Böjmoment i betongplattan (tvärled)');
grid on;
set(gca, 'YDir', 'reverse'); % Positiv moment nedåt (
    konvention)

% Tvärkraftsdiagram
subplot(2, 1, 2);
fill([x_plot; x_plot(1)], [V_plot; 0]/1e3, [1 0.9 0.8], '
    EdgeColor', [0.8 0.4 0], 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(x_plot, V_plot/1e3, 'Color', [0.8 0.4 0], 'LineWidth',
    2);
yline(0, 'k-', 'LineWidth', 0.5);
xline(x(nod_stal_1), 'r--', 'LineWidth', 1.5);
xline(x(nod_stal_2), 'r--', 'LineWidth', 1.5);
xlabel('Position i tvärled [m]');
ylabel('Tvärkraft [kN]');
title('Tvärkraft i betongplattan (tvärled)');
grid on;

% Skriv ut stödreaktioner
R1 = Q((nod_stal_1-1)*3 + 2);
R2 = Q((nod_stal_2-1)*3 + 2);

% Fördelningsfaktor till balk A
Fördelningsfaktor_punktlaster = R1/(R1+R2);

fprintf('\n--- Stödreaktioner och andel till värsta balken
    ---\n');
fprintf('Stålbalk 1: R = %.2f kN\n', -R1/1e3);
fprintf('Stålbalk 2: R = %.2f kN\n', -R2/1e3);
fprintf('Summa: %.2f kN (Total last: %.2f kN)\n', -(R1+R2)/
    e3, -(P1+P2+P3+P4)/1e3);
fprintf('Fördelningsfaktor punktlaster = %.3f \n',
    Fördelningsfaktor_punktlaster);
fprintf('Andel av punktlasterna till värsta balken %.3f kN\n'
```

```
, Fordelningsfaktor_punktlaster*Q_tot/1000);  
  
--- Stödreaktioner och andel till värsta balken ---  
Stålbalk 1: R = -738.00 kN  
Stålbalk 2: R = -162.00 kN  
Summa: -900.00 kN (Total last: 900.00 kN)  
Fördelningsfaktor punktlaster = 0.820  
Andel av punktlasterna till värsta balken 738.000 kN
```

B.6

Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last i fält

```
%% Lastkombinationer
% Mmax och Vmax i brons tvärled då lasterna koncentrerats i f
  ält.
% Nedböjning för frekvent- och karkateristisk
  lastkombinations

% Indata från andra filer
addpath(genpath(pwd))
SLS_platta
Geometri
Materialdata
Krypning
egenvikt
Trafiklaster_indata
clc, close all

%% Geometri och material
B_tot = B_kb + 2*B_kantbalk;
overhang = (B_tot-Balk_cc)/2;
E_betong = 34e9;
I_II = I2; % I för en en-meter remsa
ep_kort = [E_betong, A_Pl, I_II];
ep_lang = [E_eff, A_Pl, I_II]; % Tar hänsyn till krypning

% Element, noder och matriser
nel = 100; % antal element
nno = nel + 1; % antal noder
ndof = nno * 3; % antal frihetsgrader (tre per nod)
x = linspace(0, B_tot, nno)';
Coord = [x, zeros(nno, 1)];

Edof = zeros(nel, 7);
for i = 1:nel
    Edof(i, :) = [i, (i-1)*3+1, (i-1)*3+2, (i-1)*3+3, i*3+1,
                  i*3+2, i*3+3];
end

% Stödpositioner
pos_stal_1 = overhang; pos_stal_2 = overhang + Balk_cc;
[~, nod_stal_1] = min(abs(x - pos_stal_1));
[~, nod_stal_2] = min(abs(x - pos_stal_2));
```

B.6. Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last i fält

```
% Styvhetsmatris K
K_kort = zeros(ndof, ndof);
K_lang = zeros(ndof, ndof);

for i = 1:nel
    ex = [Coord(i, 1), Coord(i+1, 1)];

    Ke_kort = beam2e(ex, [0 0], ep_kort);
    Ke_lang = beam2e(ex, [0 0], ep_lang);

    K_kort = assem(Edof(i,:), K_kort, Ke_kort);
    K_lang = assem(Edof(i,:), K_lang, Ke_lang);
end

% Randvillkor
bc = [(nod_stal_1-1)*3 + 2, 0; (nod_stal_2-1)*3 + 2, 0; 1,
      0];

% Definierar laster
f_betong = zeros(ndof, 1); % Betongplattan
f_kantbalkar = zeros(ndof, 1); % Kantbalkara + räcken
f_stal = zeros(ndof, 1); % Stålbalkar egentyngd
f_asfalt = zeros(ndof, 1); % Egentyngd asfaltlager
f_q = zeros(ndof, 1); % Utbredd trafiklast
f_p = zeros(ndof, 1); % Punktlaster trafiklast

P_kantbalk = A_kantbalk*1*Tunghet_betong_fast; % N
P_racke = 0.7e3*1; % N
P_kant = -(P_kantbalk + P_racke); % Gör punktlaster av
      kantbalkarna +räcken [N]
pos_vanster = 0.20; % Mitten av vänster kantbalk
pos_hoger = B_tot - 0.20; % Mitten av höger kantbalk

q_asfalt = -25e3*0.11; % linjelast i tvärled N/m
q_enbart_betong = -(Tunghet_betong_fast*H_P1); % N/m i tvä
      rled
q_enbart_stal = 0;

q_trafik_v = [-7.2e3, -2.5e3];
P_data = [2.975, -270e3; 4.975, -270e3];
P_kant_data = [pos_vanster, P_kant;
               pos_hoger, P_kant];

% Loop för utbredda laster
for e = 1:nel
    mid = (x(e) + x(e+1))/2; Le = x(e+1) - x(e);
```

```
% Egentyngd Betong
fe_betong = q_enbart_betong * Le / 2;
f_betong((e-1)*3+2) = f_betong((e-1)*3+2) + fe_betong;
f_betong(e*3+2) = f_betong(e*3+2) + fe_betong;

% Egentyngd Stål
fe_stal = q_enbart_stal * Le / 2;
f_stal((e-1)*3+2) = f_stal((e-1)*3+2) + fe_stal;
f_stal(e*3+2) = f_stal(e*3+2) + fe_stal;

% Egentyngd Asfalt
start_asf = 0.4;
slut_asf = B_tot - 0.4;

if mid >= start_asf && mid <= slut_asf
    fe_asfalt = q_asfalt * Le / 2;
    f_asfalt((e-1)*3+2) = f_asfalt((e-1)*3+2) + fe_asfalt;
    f_asfalt(e*3+2) = f_asfalt(e*3+2) + fe_asfalt;
end

% Trafiklaster
if mid >= 2.075 && mid <= 5.075
    q_eff = q_trafik_v(1);
elseif (mid >= 1.43 && mid < 2.075) || (mid > 5.075 &&
    mid <= 5.72)
    q_eff = q_trafik_v(2);
else
    q_eff = 0;
end

% Fördela lasten till noderna
fe_q = q_eff * Le / 2;
f_q((e-1)*3+2) = f_q((e-1)*3+2) + fe_q;
f_q(e*3+2) = f_q(e*3+2) + fe_q;
end

% Punktlaster
for i = 1:size(P_data, 1)
    [~, nod_idx] = min(abs(x - P_data(i,1)));
    f_p((nod_idx-1)*3 + 2) = f_p((nod_idx-1)*3 + 2) + P_data(
        i,2);
end

for i = 1:size(P_kant_data, 1)
    [~, nod_idx] = min(abs(x - P_kant_data(i,1)));
    f_kantbalkar((nod_idx-1)*3 + 2) = f_kantbalkar((nod_idx
        -1)*3 + 2) + P_kant_data(i,2);
end
```

B.6. Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last i fält

```
% Lös och kombinera
[a_betong, Q_betong] = solveq(K_kort, f_betong, bc);
[a_kantbalkar, Q_kantbalkar] = solveq(K_kort, f_kantbalkar,
    bc);
[a_stal, Q_stal] = solveq(K_kort, f_stal, bc);
[a_q, Q_q] = solveq(K_kort, f_q, bc);
[a_p, Q_p] = solveq(K_kort, f_p, bc);
[a_asfalt, Q_asfalt] = solveq(K_kort, f_asfalt, bc);

% ----- Lastfallskombinationer Brottsgräns (ULS) -----
yd = 1.0; % Säkerhetsfaktor för säkerhetsklass 3
xi = 0.89; % faktor för reduktion av egentyngd i ULS

% LF1: 6.10a (Egentyngd huvudlast, Trafik reducerad)
% gG_betong=1.35, gG_stal=1.20, gAsf=1.35, Trafik reduceras
% med psi (0.4/0.75)
a_LF1 = yd*(1.35*a_betong + 1.20*a_stal + 1.35*a_asfalt +
    1.35*a_kantbalkar) + yd*1.5*(0.40*a_q + 0.75*a_p);
Q_LF1 = yd*(1.35*Q_betong + 1.20*Q_stal + 1.35*Q_asfalt +
    1.35*Q_kantbalkar) + yd*1.5*(0.40*Q_q + 0.75*Q_p);

% LF2: 6.10b (Trafik huvudlast, G reduceras med xi=0.89)
% G_betong = 0.89*1.35, G_stal = 0.89*1.20, G_asf =
% 0.89*1.35, Trafik = 1.5
a_LF2 = yd*xi*(1.35*a_betong + 1.20*a_stal + 1.35*a_asfalt +
    1.35*a_kantbalkar) + yd*1.5*(1.0*a_q + 1.0*a_p);
Q_LF2 = yd*xi*(1.35*Q_betong + 1.20*Q_stal + 1.35*Q_asfalt +
    1.35*Q_kantbalkar) + yd*1.5*(1.0*Q_q + 1.0*Q_p);

% ----- Lastfallskombinationer Bruksgräns (SLS) -----
psi_1 = 0.75; % Frekvent faktor boggilast trafik
psi_2 = 0.40; % Frekvent faktor utbredd trafik
psi_3 = 0.0; % Kvasipermanent faktor (för trafik)

% LF3: Karakteristisk kombination (Trafik huvudlast)
% Formel: 1.0*G + 1.0*G_asf + 1.0*Q_trafik
a_LF3 = 1.0*a_betong + 1.0*a_stal + 1.0*a_asfalt + 1.0*
    a_kantbalkar + 1.0*a_q + 1.0*a_p;
Q_LF3 = 1.0*Q_betong + 1.0*Q_stal + 1.0*Q_asfalt + 1.0*
    Q_kantbalkar + 1.0*Q_q + 1.0*Q_p;

% LF4: Frekvent kombination
% Formel: 1.0*G + 1.0*G_asf + psi_1,2 * Q_trafik
a_LF4 = 1.0*a_betong + 1.0*a_stal + 1.0*a_asfalt + 1.0*
    a_kantbalkar + psi_2*a_q + psi_1*a_p;
Q_LF4 = 1.0*Q_betong + 1.0*Q_stal + 1.0*Q_asfalt + 1.0*
    Q_kantbalkar + psi_2*Q_q + psi_1*Q_p;

% LF5: Kvasipermanent kombination
```

```
% Formel: 1.0*G + 1.0*G_asf + psi_3 * Q_trafik
a_LF5 = 1.0*a_betong + 1.0*a_stal + 1.0*a_asfalt + 1.0*
    a_kantbalkar + psi_3*a_q + psi_3*a_p;
Q_LF5 = 1.0*Q_betong + 1.0*Q_stal + 1.0*Q_asfalt + 1.0*
    Q_kantbalkar + psi_3*Q_q + psi_3*Q_p;

% Extraherar moment och tvärkraft
M_LF1 = zeros(2*nel, 1); M_LF2 = zeros(2*nel, 1); M_LF3 =
    zeros(2*nel, 1);
M_LF4 = zeros(2*nel, 1); M_LF5 = zeros(2*nel, 1);
V_LF1 = zeros(2*nel, 1); V_LF2 = zeros(2*nel, 1); V_LF3 =
    zeros(2*nel, 1);
V_LF4 = zeros(2*nel, 1); V_LF5 = zeros(2*nel, 1);
x_plot = zeros(2*nel, 1);
ep = ep_kort;

Ed1 = extract_ed(Edof, a_LF1);
Ed2 = extract_ed(Edof, a_LF2);
Ed3 = extract_ed(Edof, a_LF3);
Ed4 = extract_ed(Edof, a_LF4);
Ed5 = extract_ed(Edof, a_LF5);

for i = 1:nel
    ex = [x(i) x(i+1)];
    es1 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed1(i,:));
    es2 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed2(i,:));
    es3 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed3(i,:));
    es4 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed4(i,:));
    es5 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed5(i,:));

    x_plot(2*i-1:2*i) = ex';
    M_LF1(2*i-1:2*i) = es1(:,3); M_LF2(2*i-1:2*i) = es2(:,3);
        M_LF3(2*i-1:2*i) = es3(:,3);
    M_LF4(2*i-1:2*i) = es4(:,3); M_LF5(2*i-1:2*i) = es5(:,3);
    V_LF1(2*i-1:2*i) = es1(:,2); V_LF2(2*i-1:2*i) = es2(:,2);
        V_LF3(2*i-1:2*i) = es3(:,2);
    V_LF4(2*i-1:2*i) = es4(:,2); V_LF5(2*i-1:2*i) = es5(:,2);
end

% ----- Plottar -----
% moment
figure('Name', 'Dimensionerande snittkrafter i fält');
subplot(2,1,1);
plot(x_plot, M_LF1/1e3, 'b--', 'DisplayName', '6.10a ULS (G
    huvudlast)'); hold on;
plot(x_plot, M_LF2/1e3, 'r-', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName',
    '6.10b ULS (Trafik huvudlast)');
plot(x_plot, M_LF3/1e3, 'g-.', 'DisplayName', '6.14b (SLS:
    Karakteristisk)');
```

```
plot(x_plot, M_LF4/1e3, '-.', 'DisplayName', '6.15b (SLS: Frekvent)');
plot(x_plot, M_LF5/1e3, '-.', 'DisplayName', '6.16b (SLS: Kvasipermanent)');
set(gca, 'YDir', 'reverse'); grid on; ylabel('Moment [kNm]');
xlabel('Bredd [m]');
legend; title('Moment tvärled');

% tvärkraft
subplot(2,1,2);
plot(x_plot, V_LF1/1e3, 'b--'); hold on;
plot(x_plot, V_LF2/1e3, 'r-', 'LineWidth', 1.5);
plot(x_plot, V_LF3/1e3, 'g--', 'LineWidth', 1.2);
plot(x_plot, V_LF4/1e3, '-- ', 'LineWidth', 1.2);
plot(x_plot, V_LF5/1e3, '-- ', 'LineWidth', 1.2);
grid on; ylabel('Tvärkraft [kN]'); xlabel('Bredd [m]');
title('Tvärkraft tvärled');

% Stödreaktioner
R1 = Q_LF2((nod_stal_1-1)*3 + 2);
R2 = Q_LF2((nod_stal_2-1)*3 + 2);

% Maxmoment och max tvärkraft
M_max_pos_SLS = max(M_LF3); M_max_neg_SLS = min(M_LF3);
V_max_pos_SLS = max(V_LF3); V_max_neg_SLS = min(V_LF3);
M_max_pos_ULS = max(M_LF2); M_max_neg_ULS = min(M_LF2);
V_max_pos_ULS = max(V_LF2); V_max_neg_ULS = min(V_LF2);

fprintf('\n--- BRUKSGRÄNS (SLS) ---\n');
fprintf('Max moment i bruks (positivt): %.2f kNm\n',
    M_max_pos_SLS/1e3);
fprintf('Max moment i bruks (negativt): %.2f kNm\n',
    M_max_neg_SLS/1e3);
fprintf('Max tvärkraft i bruks (positivt): %.2f kN\n',
    V_max_pos_SLS/1e3);
fprintf('Max tvärkraft i bruks (negativt): %.2f kN\n',
    V_max_neg_SLS/1e3);

fprintf('\n--- BROTTGRÄNS (ULS) ---\n');
fprintf('Max moment i brotts (positivt): %.2f kNm\n',
    M_max_pos_ULS/1e3);
fprintf('Max moment i brotts (negativt): %.2f kNm\n',
    M_max_neg_ULS/1e3);
fprintf('Max tvärkraft i brotts (positivt): %.2f kN\n',
    V_max_pos_ULS/1e3);
fprintf('Max tvärkraft i brotts (negativt): %.2f kN\n',
    V_max_neg_ULS/1e3);

%% ----- Nedböjning i SLS -----
```

```
% Här används K_lang för permanenta laster och K_kort för
variabla
[a_betong_def] = solveq(K_lang, f_betong, bc);
[a_kantbalkar_def] = solveq(K_lang, f_kantbalkar, bc);
[a_stal_def] = solveq(K_lang, f_stal, bc);
[a_asfalt_def] = solveq(K_lang, f_asfalt, bc);
[a_q_def] = solveq(K_kort, f_q, bc);
[a_p_def] = solveq(K_kort, f_p, bc);

% Karakteristisk
a_LF3_def = 1.0*a_betong_def + 1.0*a_stal_def + 1.0*
    a_asfalt_def + 1.0*a_kantbalkar_def + 1.0*a_q_def + 1.0*
    a_p_def;

% Frekvent
a_LF4_def = 1.0*a_betong_def + 1.0*a_stal_def + 1.0*
    a_asfalt_def + 1.0*a_kantbalkar_def + psi_2*a_q_def +
    psi_1*a_p_def;
a_frekvent_trafik = psi_2*a_q_def + psi_1*a_p_def;

% Kvasipermanent
a_LF5_def = 1.0*a_betong_def + 1.0*a_stal_def + 1.0*
    a_asfalt_def + 1.0*a_kantbalkar_def + psi_3*a_q_def +
    psi_3*a_p_def;

% Definiera gränser för körbanan
x_start = 0.4;
x_slut = B_tot - 0.4;

% Hitta index för de noder som ligger inom körbanan
idx_kb = find(x >= x_start & x <= x_slut);
x_plot_kb = x(idx_kb);

% Extrahera nedböjningen för enbart dessa noder
w_kar = a_LF3_def(2:3:end);
w_frekv = a_LF4_def(2:3:end);
w_kvasi = a_LF5_def(2:3:end);
w_frekv_trafik = a_frekvent_trafik(2:3:end);

w_kar_kb = w_kar(idx_kb);
w_frekv_kb = w_frekv(idx_kb);
w_frekv_trafik_kb = w_frekv_trafik(idx_kb);

% Hitta maxvärden inom körbanan
[max_kar_kb, local_idx] = max(abs(w_kar_kb));
x_max_kar_kb = x(idx_kb(local_idx));

[max_frekv_trafik_kb, local_idx_tr] = max(abs(
    w_frekv_trafik_kb));
```

B.6. Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last i fält

```
x_max_frekv_trafik_kb = x(idx_kb(local_idx_tr));

% Utskrift för enbart körbanan
fprintf('\n--- KONTROLL ENBART KÖRBANA (x=0.4 till %.2f) ---\n', x_slut);
fprintf('Karakteristisk (Total): %.2f mm vid x = %.2f m\n', max_kar_kb*1000, x_max_kar_kb);
fprintf('Trafiklast (Frekvent): %.2f mm vid x = %.2f m\n', max_frekv_trafik_kb*1000, x_max_frekv_trafik_kb);
fprintf('Tillåten nedböjning i fält: %.2f mm (Balk_cc/400)\n', (Balk_cc/400)*1000);
fprintf('Tillåten nedböjning konsoler: %.2f mm \n', 5);

% plot
figure('Name','Nedböjning i tvärled'); grid on; hold on;
plot(x_plot_kb, w_kar_kb*1000, 'r-', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName','6.14b: Karakteristisk');
plot(x_plot_kb, w_frekv_kb*1000, 'b--', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName','6.15b: Frekvent');
plot(x_plot_kb, w_frekv_trafik_kb*1000, 'm--', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName','6.15b men enbart trafiklast');
xlabel('Bredd [m]'); ylabel('Nedböjning [mm]');
title('Nedböjning i tvärled (SLS) - maxlast i fält'); legend('Location','best');

--- BROTTGRÄNS (ULS) ---
Max moment i brotts (positivt): 472.20 kNm
Max moment i brotts (negativt): -38.14 kNm
Max tvärkraft i brotts (positivt): 453.77 kN
Max tvärkraft i brotts (negativt): -459.06 kN

--- KONTROLL ENBART KÖRBANA (x=0.4 till 7.55) ---
Karakteristisk (Total): 5.81 mm vid x = 3.98 m
Trafiklast (Frekvent): 4.62 mm vid x = 0.48 m
Tillåten nedböjning i fält: 10.72 mm (Balk_cc/400)
Tillåten nedböjning konsoler: 5.00 mm
```

B.7

Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last över stöd

```
%% Lastkombinationer: Mmax och Vmax över stöd i tvärled

% Indata från andra filer
addpath(genpath(pwd))
SLS_platta
Geometri
Materialdata
Krypning
egenvikt
Trafiklaster_indata
clc, close all

% Geometri och material
B_tot = B_kb + 2*B_kantbalk;
overhang = (B_tot-Balk_cc)/2;
E_betong = 34e9;
I_II = I2;
ep_kort = [E_betong, A_Pl, I_II];
ep_lang = [E_eff, A_Pl, I_II]; % Tar hänsyn till krypning

% Element, noder och matriser
nel = 100; % antal element
nno = nel + 1; % antal noder
ndof = nno * 3; % antal frihetsgrader (tre per nod)
x = linspace(0, B_tot, nno)';
Coord = [x, zeros(nno, 1)];

Edof = zeros(nel, 7);
for i = 1:nel
    Edof(i, :) = [i, (i-1)*3+1, (i-1)*3+2, (i-1)*3+3, i*3+1,
                  i*3+2, i*3+3];
end

% Stödpositioner
pos_stal_1 = overhang; pos_stal_2 = overhang + Balk_cc;
[~, nod_stal_1] = min(abs(x - pos_stal_1));
[~, nod_stal_2] = min(abs(x - pos_stal_2));

% Styvhetsmatris K
```

B.7. Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last över stöd

```
K_kort = zeros(ndof, ndof);
K_lang = zeros(ndof, ndof);

for i = 1:nel
    ex = [Coord(i, 1), Coord(i+1, 1)];

    Ke_kort = beam2e(ex, [0 0], ep_kort);
    Ke_lang = beam2e(ex, [0 0], ep_lang);

    K_kort = assem(Edof(i,:), K_kort, Ke_kort);
    K_lang = assem(Edof(i,:), K_lang, Ke_lang);
end

% Randvillkor
bc = [(nod_stal_1-1)*3 + 2, 0; (nod_stal_2-1)*3 + 2, 0; 1,
      0];

% Definierar laster
f_betong = zeros(ndof, 1); % Betongplattan
f_kantbalkar = zeros(ndof, 1); % Kantbalkara + räcken
f_stal = zeros(ndof, 1); % Stålbalkar egentyngd
f_asfalt = zeros(ndof, 1); % Egentyngd asfaltlager
f_q = zeros(ndof, 1); % Utbredd trafiklast
f_p = zeros(ndof, 1); % Punktlaster trafiklast

P_kantbalk = A_kantbalk*1*Tunghet_betong_fast; % N
P_racke = 0.7e3*1; % N
P_kant = -(P_kantbalk + P_racke); % [N]
pos_vanster = 0.20; % Mitten av vänster kantbalk
pos_hoger = B_tot - 0.20; % Mitten av höger kantbalk

q_asfalt = -25e3*0.11*1; % linjelast i tvärled N/m
q_enbart_betong = -(Tunghet_betong_fast*H_Pl*1); % N/m i tvä
rled
q_enbart_stal = 0;
q_trafik_v = [-7.2e3, -2.5e3];
q_granser = [0.4, 3.4, 6.12];

P_data = [0.40, -270e3; 2.40, -270e3; 3.40, -180e3; 5.40,
          -180e3];
P_kant_data = [pos_vanster, P_kant;
               pos_hoger, P_kant];

% Loop för utbredda laster
for e = 1:nel
    mid = (x(e) + x(e+1))/2; Le = x(e+1) - x(e);

    % Egentyngd Betong
    fe_betong = q_enbart_betong * Le / 2;
```

```
f_betong((e-1)*3+2) = f_betong((e-1)*3+2) + fe_betong;
f_betong(e*3+2) = f_betong(e*3+2) + fe_betong;

% Egentyngd Stål
fe_stal = q_enbart_stal * Le / 2;
f_stal((e-1)*3+2) = f_stal((e-1)*3+2) + fe_stal;
f_stal(e*3+2) = f_stal(e*3+2) + fe_stal;

% Egentyngd Asfalt
start_asf = 0.4;
slut_asf = B_tot - 0.4;

if mid >= start_asf && mid <= slut_asf
    fe_asfalt = q_asfalt * Le / 2;
    f_asfalt((e-1)*3+2) = f_asfalt((e-1)*3+2) + fe_asfalt;
    f_asfalt(e*3+2) = f_asfalt(e*3+2) + fe_asfalt;
end

% Trafik
q_eff = 0;
if mid <= q_granser(2), q_eff = q_trafik_v(1);
elseif mid <= q_granser(3), q_eff = q_trafik_v(2); end
fe_q = q_eff * Le / 2;
f_q((e-1)*3+2) = f_q((e-1)*3+2) + fe_q; f_q(e*3+2) = f_q(
    e*3+2) + fe_q;
end

% Punktlaster
for i = 1:size(P_data, 1)
    [~, nod_idx] = min(abs(x - P_data(i,1)));
    f_p((nod_idx-1)*3 + 2) = f_p((nod_idx-1)*3 + 2) + P_data(
        i,2);
end
for i = 1:size(P_kant_data, 1)
    [~, nod_idx] = min(abs(x - P_kant_data(i,1)));
    f_kantbalkar((nod_idx-1)*3 + 2) = f_kantbalkar((nod_idx
        -1)*3 + 2) + P_kant_data(i,2);
end

% Lös och kombinera
[a_betong, Q_betong] = solveq(K_kort, f_betong, bc);
[a_kantbalkar, Q_kantbalkar] = solveq(K_kort, f_kantbalkar,
    bc);
[a_stal, Q_stal] = solveq(K_kort, f_stal, bc);
[a_q, Q_q] = solveq(K_kort, f_q, bc);
[a_p, Q_p] = solveq(K_kort, f_p, bc);
[a_asfalt, Q_asfalt] = solveq(K_kort, f_asfalt, bc);

% ----- Lastfallskombinationer Brottsgrens (ULS) -----
```

B.7. Lastkombinationer i tvärlädd: Moment, tvärförkraft samt nedböjning med maximal last över stöd

```
yd = 1.0; % Säkerhetsfaktor för säkerhetsklass 3
xi = 0.89; % faktor för reduktion av egentvngd i ULS

% LF1: 6.10a (Egentvngd huvudlast, Trafik reducerad)
% gG_betong=1.35, gG_stal=1.20, gAsf=1.35, Trafik reduceras
    med psi (0.4/0.75)
a_LF1 = yd*(1.35*a_betong + 1.20*a_stal + 1.35*a_asfalt +
    1.35*a_kantbalkar) + yd*1.5*(0.40*a_q + 0.75*a_p);
Q_LF1 = yd*(1.35*Q_betong + 1.20*Q_stal + 1.35*Q_asfalt +
    1.35*Q_kantbalkar) + yd*1.5*(0.40*Q_q + 0.75*Q_p);

% LF2: 6.10b (Trafik huvudlast, G reduceras med xi=0.89)
% G_betong = 0.89*1.35, G_stal = 0.89*1.20, G_asf =
    0.89*1.35, Trafik = 1.5
a_LF2 = yd*xi*(1.35*a_betong + 1.20*a_stal + 1.35*a_asfalt +
    1.35*a_kantbalkar) + yd*1.5*(1.0*a_q + 1.0*a_p);
Q_LF2 = yd*xi*(1.35*Q_betong + 1.20*Q_stal + 1.35*Q_asfalt +
    1.35*Q_kantbalkar) + yd*1.5*(1.0*Q_q + 1.0*Q_p);

% ----- Lastfallskombinationer Bruksgräns (SLS) -----
psi_1 = 0.75; % Frekvent faktor boggilast trafik
psi_2 = 0.40; % Frekvent faktor utbredd trafik
psi_3 = 0.0; % Kvasipermanent faktor (för trafik)

% LF3: Karakteristisk kombination (Trafik huvudlast)
% Formel: 1.0*G + 1.0*G_asf + 1.0*Q_trafik
a_LF3 = 1.0*a_betong + 1.0*a_stal + 1.0*a_asfalt + 1.0*
    a_kantbalkar + 1.0*a_q + 1.0*a_p;
Q_LF3 = 1.0*Q_betong + 1.0*Q_stal + 1.0*Q_asfalt + 1.0*
    Q_kantbalkar + 1.0*Q_q + 1.0*Q_p;

% LF4: Frekvent kombination
% Formel: 1.0*G + 1.0*G_asf + psi_1,2 * Q_trafik
a_LF4 = 1.0*a_betong + 1.0*a_stal + 1.0*a_asfalt + 1.0*
    a_kantbalkar + psi_2*a_q + psi_1*a_p;
Q_LF4 = 1.0*Q_betong + 1.0*Q_stal + 1.0*Q_asfalt + 1.0*
    Q_kantbalkar + psi_2*Q_q + psi_1*Q_p;

% LF5: Kvasipermanent kombination
% Formel: 1.0*G + 1.0*G_asf + psi_3 * Q_trafik
a_LF5 = 1.0*a_betong + 1.0*a_stal + 1.0*a_asfalt + 1.0*
    a_kantbalkar + psi_3*a_q + psi_3*a_p;
Q_LF5 = 1.0*Q_betong + 1.0*Q_stal + 1.0*Q_asfalt + 1.0*
    Q_kantbalkar + psi_3*Q_q + psi_3*Q_p;

% ----- Extraherar moment och tvärförkraft -----
M_LF1 = zeros(2*nel, 1); M_LF2 = zeros(2*nel, 1); M_LF3 =
    zeros(2*nel, 1);
M_LF4 = zeros(2*nel, 1); M_LF5 = zeros(2*nel, 1);
```

```

V_LF1 = zeros(2*nel, 1); V_LF2 = zeros(2*nel, 1); V_LF3 =
    zeros(2*nel,1);
V_LF4 = zeros(2*nel, 1); V_LF5 = zeros(2*nel, 1);
u_LF3 = zeros(nno, 1); % För nedböjning i SLS
ep=ep_kort;
x_plot = zeros(2*nel, 1);

Ed1 = extract_ed(Edof, a_LF1);
Ed2 = extract_ed(Edof, a_LF2);
Ed3 = extract_ed(Edof, a_LF3);
Ed4 = extract_ed(Edof, a_LF4);
Ed5 = extract_ed(Edof, a_LF5);

for i = 1:nel
    ex = [x(i) x(i+1)];
    es1 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed1(i,:));
    es2 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed2(i,:));
    es3 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed3(i,:));
    es4 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed4(i,:));
    es5 = beam2s(ex, [0 0], ep, Ed5(i,:));

    x_plot(2*i-1:2*i) = ex';
    M_LF1(2*i-1:2*i) = es1(:,3); M_LF2(2*i-1:2*i) = es2(:,3);
        M_LF3(2*i-1:2*i) = es3(:,3);
    M_LF4(2*i-1:2*i) = es4(:,3); M_LF5(2*i-1:2*i) = es5(:,3);
    V_LF1(2*i-1:2*i) = es1(:,2); V_LF2(2*i-1:2*i) = es2(:,2);
        V_LF3(2*i-1:2*i) = es3(:,2);
    V_LF4(2*i-1:2*i) = es4(:,2); V_LF5(2*i-1:2*i) = es5(:,2);
end

% ----- Plottar -----
% moment
figure('Name', 'Dimensionerande snittkrafter med maxlast över
    stöd');
subplot(2,1,1);
plot(x_plot, M_LF1/1e3, 'b--', 'DisplayName', '6.10a (ULS: G
    huvudlast)'); hold on;
plot(x_plot, M_LF2/1e3, 'r-', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName'
    , '6.10b (ULS: Trafik huvudlast)');
plot(x_plot, M_LF3/1e3, 'g-.', 'DisplayName', '6.14b (SLS:
    Karakteristisk)');
plot(x_plot, M_LF4/1e3, '-.', 'DisplayName', '6.15b (SLS:
    Frekvent)');
plot(x_plot, M_LF5/1e3, '-.', 'DisplayName', '6.16b (SLS:
    Kvasipermanent)');
set(gca, 'YDir', 'reverse'); grid on; ylabel('Moment [kNm]');
    xlabel('Bredd [m]');
legend; title('Moment tvärled');
```

B.7. Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last över stöd

```
% tvärkraft
subplot(2,1,2);
plot(x_plot, V_LF1/1e3, 'b--'); hold on;
plot(x_plot, V_LF2/1e3, 'r-', 'LineWidth', 1.5);
plot(x_plot, V_LF3/1e3, 'g--', 'LineWidth', 1.2);
plot(x_plot, V_LF4/1e3, '-- ', 'LineWidth', 1.2);
plot(x_plot, V_LF5/1e3, '-- ', 'LineWidth', 1.2);
grid on; ylabel('Tvärkraft [kN]'); xlabel('Bredd [m]');
title('Tvärkraft tvärled');

% Stödreaktioner
R1 = Q_LF2((nod_stal_1-1)*3 + 2);
R2 = Q_LF2((nod_stal_2-1)*3 + 2);

% Maxmoment och max tvärkraft
M_max_pos_SLS = max(M_LF3); M_max_neg_SLS = min(M_LF3);
V_max_pos_SLS = max(V_LF3); V_max_neg_SLS = min(V_LF3);
M_max_pos_ULT = max(M_LF2); M_max_neg_ULT = min(M_LF2);
V_max_pos_ULT = max(V_LF2); V_max_neg_ULT = min(V_LF2);

fprintf('\n--- BRUKSGRÄNS (SLS) ---\n');
fprintf('Max moment i bruks (positivt): %.2f kNm\n',
    M_max_pos_SLS/1e3);
fprintf('Max moment i bruks (negativt): %.2f kNm\n',
    M_max_neg_SLS/1e3);
fprintf('Max tvärkraft i bruks (positivt): %.2f kN\n',
    V_max_pos_SLS/1e3);
fprintf('Max tvärkraft i bruks (negativt): %.2f kN\n',
    V_max_neg_SLS/1e3);

fprintf('\n--- BROTTGRÄNS (ULT) ---\n');
fprintf('Max moment i brotts (positivt): %.2f kNm\n',
    M_max_pos_ULT/1e3);
fprintf('Max moment i brotts (negativt): %.2f kNm\n',
    M_max_neg_ULT/1e3);
fprintf('Max tvärkraft i brotts (positivt): %.2f kN\n',
    V_max_pos_ULT/1e3);
fprintf('Max tvärkraft i brotts (negativt): %.2f kN\n',
    V_max_neg_ULT/1e3);

% Väljer att dimensionera efter maxmoment i kritiska snittet
    vid upplagskant
% Tar fram Moment vid upplagskant istället för stödcentrum
flange_width = 0.5; % [m]
offset = flange_width/2;

% Positioner vid upplagskant
x1_edge = pos_stal_1 + offset;
x2_edge = pos_stal_1 - offset;
```

```
[~, idx1] = min(abs(x_plot - x1_edge));
[~, idx2] = min(abs(x_plot - x2_edge));
M_edge_1 = M_LF2(idx1);
M_edge_2 = M_LF2(idx2);

M_dim = max(abs([M_edge_1, M_edge_2])); % Största moment vid
    upplagskant blir dimensionerande moment
fprintf('Dimensionerande moment upplagskant: %.2f kNm\n',
    M_dim/1e3);

%% ----- Nedböjning i SLS -----
% Här används K_lang för permanenta laster och K_kort för
    variabla
[a_betong_def] = solveq(K_lang, f_betong, bc);
[a_kantbalkar_def] = solveq(K_lang, f_kantbalkar, bc);
[a_stal_def] = solveq(K_lang, f_stal, bc);
[a_asfalt_def] = solveq(K_lang, f_asfalt, bc);
[a_q_def] = solveq(K_kort, f_q, bc);
[a_p_def] = solveq(K_kort, f_p, bc);

% Karakteristisk
a_LF3_def = 1.0*a_betong_def + 1.0*a_stal_def + 1.0*
    a_asfalt_def + 1.0*a_kantbalkar_def + 1.0*a_q_def + 1.0*
    a_p_def;

% Frekvent
a_LF4_def = 1.0*a_betong_def + 1.0*a_stal_def + 1.0*
    a_asfalt_def + 1.0*a_kantbalkar_def + psi_2*a_q_def +
    psi_1*a_p_def;
a_frekv_trafik = psi_2*a_q_def + psi_1*a_p_def;

% Kvasipermanent
a_LF5_def = 1.0*a_betong_def + 1.0*a_stal_def + 1.0*
    a_asfalt_def + 1.0*a_kantbalkar_def + psi_3*a_q_def +
    psi_3*a_p_def;

% Definiera gränser för körbanan
x_start = 0.4;
x_slut = B_tot - 0.4;

% Hitta index för de noder som ligger inom körbanan
idx_kb = find(x >= x_start & x <= x_slut);
x_plot_kb = x(idx_kb);

% Extrahera nedböjningen för enbart dessa noder
w_kar = a_LF3_def(2:3:end);
w_frekv = a_LF4_def(2:3:end);
w_kvasi = a_LF5_def(2:3:end);
```

B.7. Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med maximal last över stöd

```
w_frekv_trafik = a_frekv_trafik(2:3:end);

w_kar_kb      = w_kar(idx_kb);
w_frekv_kb    = w_frekv(idx_kb);
w_frekv_trafik_kb = w_frekv_trafik(idx_kb);

% Hitta maxvärden inom körbanan
[max_kar_kb, local_idx] = max(abs(w_kar_kb));
x_max_kar_kb = x(idx_kb(local_idx));

[max_frekv_trafik_kb, local_idx_tr] = max(abs(
    w_frekv_trafik_kb));
x_max_frekv_trafik_kb = x(idx_kb(local_idx_tr));

% Utskrift för enbart körbanan
fprintf('\n--- KONTROLL ENBART KÖRBANA (x=0.4 till %.2f) ---\n', x_slut);
fprintf('Karakteristisk (Total): %.2f mm vid x = %.2f m\n',
    max_kar_kb*1000, x_max_kar_kb);
fprintf('Trafiklast (Frekvent):  %.2f mm vid x = %.2f m\n',
    max_frekv_trafik_kb*1000, x_max_frekv_trafik_kb);
fprintf('Tillåten nedböjning i fält:  %.2f mm (Balk_cc/400)\n',
    (Balk_cc/400)*1000);
fprintf('Tillåten nedböjning konsoler:  %.2f mm \n', 5);

% plot
figure('Name','Nedböjning i tvärled'); grid on; hold on;
plot(x_plot_kb, w_kar_kb*1000, 'r-', 'LineWidth', 1.5, '
    DisplayName','6.14b: Karakteristisk');
plot(x_plot_kb, w_frekv_kb*1000, 'b--', 'LineWidth', 1.5, '
    DisplayName','6.15b: Frekvent');
plot(x_plot_kb, w_frekv_trafik_kb*1000, 'm--', 'LineWidth',
    1.5, 'DisplayName','6.15b men enbart trafiklast');
xlabel('Bredd [m]'); ylabel('Nedböjning [mm]');
title('Nedböjning i tvärled (SLS) - maxlast över stöd');
legend('Location','best');

--- BRUKSGRÄNS (SLS) ---
Max moment i bruks (positivt): 103.56 kNm
Max moment i bruks (negativt): -429.90 kNm
Max tvärkraft i bruks (positivt): 312.49 kN
Max tvärkraft i bruks (negativt): -510.22 kN

--- BROTTGRÄNS (ULS) ---
Max moment i brotts (positivt): 159.31 kNm
Max moment i brotts (negativt): -635.45 kNm
Max tvärkraft i brotts (positivt): 459.89 kN
Max tvärkraft i brotts (negativt): -757.00 kN
Dimensionerande moment upplagskant: 526.28 kNm
```

B.7. Lastkombinationer i tvärled: Moment, tvärkraft samt nedböjning med
maximal last över stöd

--- KONTROLL ENBART KÖRBANA (x=0.4 till 7.55) ---
Karakteristisk (Total): 4.49 mm vid x = 0.48 m
Trafiklast (Frekvent): 2.47 mm vid x = 0.48 m
Tillåten nedböjning i fält: 10.72 mm (Balk_cc/400)
Tillåten nedböjning konsoler: 5.00 mm

B.8

Maxmoment och maximal tvärkraft i brons längdled

```
%% Beräkning av moment och tvärkraft samt respektive plottar
    (ULS & SLS) - Längsled per balk
% skriptet flyttar punktlaster stegvis över balken och berä
    knar moment och tvärkraft för varje steg för de olika
    lastkombinationerna i ULS och SLS. Sedan ta

addpath(genpath(pwd))
Trafiklaster_indata
Geometri
Materialdata
CALFEM_fordelningsfaktor_punktlaster
CALFEM_forderlningsfaktor_utbredd_last
clc; close all

% Geometri
L = L_Ib;
x = linspace(0, L, 1000);

% Värden för laster per balk
G_racke = 0.7e3; % Egenvikt för ett räcke
G_betong_del = G_betong_fast/2 + (A_kantbalk *
    Tunghet_betong_fast + G_racke); % Härdad btg
G_stal_del = G_stal; % Egenvikt per stå
    lbalk
G_Asfalt_k = (25e3*0.11*B_kb)/2; % Egenvikt asfalt, tä
    tskikt etc
q_bygg_form = 1.0e3 * (B_kb/2); % Bygglast (N/m)
G_stomme_bygg = (G_stal + G_betong_farsk/2); % Stål + färsk
    btg

q_k = q_tot * Fordelningsfaktor_utbredd_last; % Trafik
    utbredd till värsta balken
P_k = Q_tot * Fordelningsfaktor_punktlaster; % Trafik
    punktlast till värsta balken

% DEFINITION AV KOMBINATIONER [gG_stål, gG_betong, gG_Asf,
    gQ_punkt, gQ_utbredd, gQb]
komb_data = [
    0.89*1.2, 0.89*1.35, 1.35, 1.5, 1.5, 0;
    % 1. ULS 6.10b: trafik huvudlast
    1.20, 1.35, 1.35, 1.5*0.75, 1.5*0.40, 0;
    % 2. ULS 6.10a: egentygnd huvudlast
    1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 0;
```

```
% 3. SLS Karakt
1.0,      1.0,      1.0,      1.0,      0.75,      0.40;
% 4. SLS Frekvent
1.0,      1.0,      1.0,      0.0,      0.0,      0;
% 5. SLS Kvasi
1.2,      1.35,      0,      0,      0,      1.5
% 6. ULS BYGGSKEDE
];

komb_namn = {'6.10b (ULS: trafik huvud)', '6.10a (ULS:
egentyngd huvud)', '6.14b (SLS: Karakteristisk)', '6.15b (
SLS: Frekvent)', '6.16b (SLS: Kvasipermanent)', 'ULS
BYGGSKEDE'};
linje_stil = {'r--', 'r--', 'b--', 'm--', 'g--', 'k--'};
bredd = [2, 1.5, 1.5, 1.2, 1.2, 2];

% Initialisera figurer och enveloper
figM = figure('Name', 'Moment');
figV = figure('Name', 'Tvärkraft');
M_Ed = zeros(size(x));
V_Ed = zeros(size(x));

fprintf('--- SAMMANSTÄLLNING AV SNITTKRAFTER ---\n');

for k = 1:6
    % Hämta faktorer
    gGs = komb_data(k, 1); gGb = komb_data(k, 2); gAs =
        komb_data(k, 3);
    gQp = komb_data(k, 4); gQu = komb_data(k, 5); gQb =
        komb_data(k, 6);

    if k == 6 % Byggskede
        q = gGs*G_stal + gGb*(G_betong_farsk/2) + gQb*
            q_bygg_form;
        P = 0;
    else
        q = gGb*G_betong_del + gGs*G_stal_del + gAs*
            G_Asfalt_k + gQu * q_k;
        P = gQp * P_k;
    end

    % --- Beräkning med influenslinjer (Rörlig last) ---
    % Momentenvelop (Punktlast placeras i x för max moment)
    M_nu = (q .* x .* (L - x)) / 2 + (P .* x .* (L - x)) / L;

    % Tvärkraftsenvelop (Symmetrisk: värsta av att P står
    till vänster eller höger)
    V_q = abs(q*L/2 - q*x);
    V_P = max(P * (L - x) / L, P * x / L);
```

```
V_nu = V_q + V_P;

% Spara till den dimensionerande envelopen (endast ULS-
    fall: 1, 2 och 6)
if k == 1 || k == 2 || k == 6
    M_Ed = max(M_Ed, M_nu);
    V_Ed = max(V_Ed, V_nu);
end

% --- Plotting ---
figure(figM); hold on; grid on;
plot(x, M_nu/1e6, linje_stil{k}, 'LineWidth', bredd(k), '
    DisplayName', komb_namn{k});

figure(figV); hold on; grid on;
plot(x, V_nu/1e3, linje_stil{k}, 'LineWidth', bredd(k), '
    DisplayName', komb_namn{k});

fprintf('%s:\t M_max = %.2f MNm,\t V_max = %.2f kN\n',
    ...
    komb_namn{k}, max(M_nu)/1e6, max(V_nu)/1e3);
end

figure(figM);
set(gca, 'YDir', 'reverse'); ylabel('Moment [MNm]'); xlabel('L
    ängd [m]');
title('Momentenvelopen för samtliga kombinationer');
legend('Location', 'northeastoutside');

figure(figV);
ylabel('Tvärkraft [kN]'); xlabel('Längd [m]');
title('Tvärkraftsenvelopen för samtliga kombinationer');
legend('Location', 'northeastoutside');

fprintf('\n--- DIMENSIONERANDE MAXVÄRDEN (ULS) ---\n');
fprintf('Max M_Ed: %.2f MNm\n', max(M_Ed)/1e6);
fprintf('Max V_Ed: %.2f kN\n', max(V_Ed)/1e3);

--- SAMMANSTÄLLNING AV SNITTKRAFTER ---
6.10b (ULS: trafik huvud):      M_max = 33.27 MNm,
    V_max = 3404.04 kN
6.10a (ULS: egentygnd huvud):   M_max = 27.57 MNm,
    V_max = 2820.07 kN
6.14b (SLS: Karakteristisk):    M_max = 24.64 MNm,
    V_max = 2520.86 kN
6.15b (SLS: Frekvent):         M_max = 23.38 MNm,      V_max =
    2392.09 kN
6.16b (SLS: Kvasipermanent):     M_max = 12.39 MNm,
    V_max = 1267.79 kN
```

ULS BYGGSKEDE: $M_{\max} = 13.50 \text{ MNm}$, $V_{\max} = 1381.03 \text{ kN}$

--- DIMENSIONERANDE MAXVÄRDEN (ULS) ---

Max M_{Ed} : 33.27 MNm

Max V_{Ed} : 3404.04 kN

B.9

Nedböjning i brons längdled

```
%% Nedböjning i ekvivalent tvärsnitt - Längdsled (Samverkan)

% Indata från andra filer
addpath(genpath(pwd))
Trafiklaster_indata
Geometri
Materialdata
CALFEM_fordelningsfaktor_punktlaster
CALFEM_forderlningsfaktor_utbredd_last
Tvarsnittdata_sammansatt
egenvikt
clc; close all

% Geometri och Materialdata
L=L_Ib;
I_lang = I_ef(1); % Tröghetsmoment långtid
I_kort = I_sam(1); % Tröghetsmoment korttid
A_lang = A_ef(1); % Ekvivalent betongarea inkl. krypning
A_kort = A_tot(1); % Ekvivalent betongarea exkl. krypning

% CALFEM Modellering
nel = 100;
nno = nel + 1;
ndof = nno * 3;
x_axis = linspace(0, L, nno)';
Edof = zeros(nel, 7);
for i = 1:nel
    Edof(i, :) = [i, (i-1)*3+1, (i-1)*3+2, (i-1)*3+3, i*3+1,
                  i*3+2, i*3+3];
end

% Styvhetsmatriser
K_kort = zeros(ndof);
K_lang = zeros(ndof);
ep_kort = [E_cm, A_kort, I_kort];
ep_lang = [E_c_ef, A_lang, I_lang];

for i = 1:nel
    ex = [x_axis(i), x_axis(i+1)];
    K_kort = assem(Edof(i,:), K_kort, beam2e(ex, [0 0],
        ep_kort));
    K_lang = assem(Edof(i,:), K_lang, beam2e(ex, [0 0],
        ep_lang));
end
```

```
% Laster
%G_betong_del = G_betong_fast/2 + (A_kantbalk *
    Tunghet_betong_fast + G_racken); % härdad btg
%G_stal_del = G_stal(2); % Egenvikt för en stål balk [N/m]
%G_Asfalt = (25e3*0.11*7.15)/2;
q_k = q_tot * Fordelningsfaktor_utbredd_last; % utbredda
    trafiklaster
P_k = Q_tot * Fordelningsfaktor_punktlaster; % punktlaster
    trafik

% Reduktionsfaktorer för trafik i frekvent lastkomb.
psi_1_punkt = 0.75; % Reduktionsfaktor för boggilast
psi_1_utbredd = 0.40; % Reduktionsfaktor för utbredd last

% Korttidslaster (Trafik)
q_trafik = -q_k;
P_trafik = -P_k;

% Långtidslaster (Egenvikt per balk)
q_permanent = -(G_stal + G_betong_fast/2 + G_asfalt +
    G_kantbalk + G_racken);

% Initiera lastvektorer
f_lang = zeros(ndof, 1);
f_kort = zeros(ndof, 1);
f_kort_frekvent = zeros(ndof, 1);

% Randvillkor: enkelt upplagd balk (led vänster, rulle höger)
bc = [2, 0; (nno-1)*3+2, 0; 1, 0];

% Fördelning av utbredda laster till noder
Le = L/nel;
for e = 1:nel

% Nodindex (vertikal DOF)
n1 = (e-1)*3 + 2;
n2 = e*3 + 2;

% Långtid (egenvikt)
f_lang(n1) = f_lang(n1) + q_permanent * Le / 2;
f_lang(n2) = f_lang(n2) + q_permanent * Le / 2;

% Korttid (trafik, karakteristisk)
f_kort(n1) = f_kort(n1) + q_trafik * Le / 2;
f_kort(n2) = f_kort(n2) + q_trafik * Le / 2;

% Korttid (trafik, frekvent)
q_trafik_frekvent = psi_1_utbredd * q_trafik;
f_kort_frekvent(n1) = f_kort_frekvent(n1) + q_trafik_frekvent
```

```
* Le / 2;
f_kort_frekvant(n2) = f_kort_frekvant(n2) + q_trafik_frekvant
* Le / 2;

end

[~, mid_nod] = min(abs(x_axis - L/2)); % Sätter punktlasterna
i nod närmast L/2.

f_kort((mid_nod-1)*3 + 2) = f_kort((mid_nod-1)*3 + 2) +
P_trafik;
f_kort_frekvant((mid_nod-1)*3 + 2) = ...
f_kort_frekvant((mid_nod-1)*3 + 2) + psi_1_punkt * P_trafik;

a_lang = solveq(K_lang, f_lang, bc);
a_kort = solveq(K_kort, f_kort, bc);
a_kort_frekvant = solveq(K_kort, f_kort_frekvant, bc);

% Extrahera nedböjningar (vertikala frihetsgrader) och gör om
till mm
w_lang = a_lang(2:3:end) * 1000;
w_kort = a_kort(2:3:end) * 1000;
w_tot = w_lang + w_kort;
w_frekvant_trafik = a_kort_frekvant(2:3:end) * 1000;
w_frekvant_tot = w_lang + w_frekvant_trafik;
% w(G)+ psi * w(Q)

% ----- Plot -----
figure('Name', 'Jämförelse SLS Karakteristisk vs Frekvant');
hold on; grid on;

plot(x_axis, w_tot, 'r-', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', '
Karakteristisk kombination');
plot(x_axis, w_frekvant_tot, 'm-', 'LineWidth', 1.5, '
DisplayName', 'Frekvant kombination' );
plot(x_axis, w_frekvant_trafik, 'b--', 'LineWidth', 2, '
DisplayName', 'Endast trafik från frekvant kombination (
Trafik reducerad)');
yline(-(L/400)*1000, 'k:', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', ['
Gränsvärde frekvant trafik L/400 (' num2str((L/400)*1000)
' mm)']);

ylabel('Nedböjning [mm]'); xlabel('Längd [m]');
title('Nedböjning: Karakteristisk vs Frekvant kombination');
legend('Location', 'northeastoutside', 'EdgeColor', 'none', '
Color', 'none');

% ----- Resultatutskrift -----
fprintf('\n--- NEDBÖJNINGSRISULTAT ---\n');
```

```
fprintf('Max bidrag från reducerad trafiklast (frekvent komb
.): %.2f mm\n', max(abs(w_frekvant_trafik)))
fprintf('Tillåten nedböjning från enbart trafik: %.2f mm (L
/400)\n', (L/400)*1000);

% krav L/400 från 7.2.1.1.4.2.2. Vertikal deformation av
    variabel last
% TRVINFRA 00227

--- NEDBÖJNINGSRISULTAT ---
Max bidrag från reducerad trafiklast (frekvent komb.): 38.47
    mm
Tillåten nedböjning från enbart trafik: 97.75 mm (L/400)
>>
```

B.10

ULS-beräkningar i fält - tvärled

```
%% ULS-beräkningar i fält - platta, tvärled

clear, clc

Materialdata
Geometri

%%Ekvationer och indata från Bärande konstruktioner - Del 1

%% DIMENSIONERANDE LASTER

%Maxlaster i fält givet framtagna grafer
V_Ed_f = 459.06e3; %[N]
M_Ed_f = 472.20e3; %[Nm]

%% ARMERING

%Diameter - itereras fram
phi = 0.016; %[m]
phi_tvar = 0.008; %[m]

%Täckskikt
Dcdev = 0.01; %[m] [B4-26]
cmin = phi; %[m] [B4-25]

cnom = cmin+Dcdev; %Nominellt mått på täckande betongskikt [m]
    ] [B4-24]

%Minsta fria avstånd [B4-27]
dg = 0.032; %[m] största stenstorlek i ballasten [COWI]
k1 = 1.0;
k2 = 0.005; %[m]

amin = max([phi*k1, dg+k2, 0.02]); %[m]

%Maximalt antal stänger i ett lager
n_max = floor(1/(amin+phi))

%% TVÄRSNITTSKONSTANTER

b = 1; %Bredden på betongtvärsnittet [m]
h = 0.42; %Höjden av betongtvärsnittet [m]
d1 = h-(cnom+phi_tvar+phi/2); %Avstånd mellan betongens ö
    verkant till dragarmering 1:a lager [m]
```

```

d2 = h-(cnom+phi_tvar+amin+phi*1.5); %Avstånd mellan
    batongens överkant till dragarmering 2:a lager [m]
d_prim = cnom+phi/2+phi_tvar; %Avstånd mellan betongens ö
    verkant till tryckarmering [m]

%% ARMERINGSMÄNGD

%Armeringsarea för en stång [m^2]
Asi = (pi*phi^2)/4;

%Uppskattad total armeringsmängd
z = 0.9*d1; %[m][B4-14]
As = M_Ed_f/(f_yd*z); %[m^2][B4-16]

%Antal armeringsstänger i drag
n_f = ceil(As/Asi) %Totalt antal stänger

%Väljer antal stänger per rad, får ej vara över n_max
n1_f = 14 %Antal stänger lager 1
n2_f = 2 %Antal stänger lager 2

%Area dragarmering
As1 = Asi*n1_f; %Area dragarmering lager 1 [m^2]
As2 = Asi*n2_f; %Area dragarmering lager 2 [m^2]

%% KONSTANTER

alpha = 0.81; %[B5.1]
beta = 0.416; %[B5.1]
epsilon_cu = 3.5e-3; %[B2.4]

%% BEHÖVS TRYCKARMERING?
%Antar att dragarmeringen flyter och tryckarmeringen är linjä
    relastisk

%Lösar neutralaxeln utan tryckarmering
x = (As1*f_yd)/(alpha*f_cd*b); %[m][B5-23]

%Hittar Kritiska momentet
M_Rd_1 = alpha*f_cd*b*x*(d1-beta*x); %[N][B5-24]

%Kontrollerar om tryckarmering behövs
if M_Rd_1 >= M_Ed_f
    disp('Ingen tryckarmering behövs')
else
    disp('Tryckarmering behövs')
end

```

```

%Restmoment som måste tas upp av tryckarmering
Delta_M = M_Ed_f-M_Rd_1;

%Antar linjärelastisk tryckarmering
epsilon_prim = ((x - d_prim)/x)*epsilon_cu; %[B5-25]
sigma_s_prim = E_armering * epsilon_prim;

%Lös ut As_prim
As_prim = Delta_M/(sigma_s_prim*(d1-d_prim)); %[B5-24]

%Antal stänger i tryckarmeringen
n_prim_f = ceil(As_prim/Asi)

%% KONTROLLERAR ANTAGANDET
% ANTAR ATT ALL ARMERING FLYTER - Enligt beräkningar i Bä
  rande

x1 = (f_yd*(As1+As2)-f_yd*As_prim)/(alpha*f_cd*b); %[m] [B5
  -23]

%Deformationsvillkor
epsilon_syd = f_yd/E_armering; %[B2-28a]

epsilon_prim_1 = ((x1-d_prim)/x1)*epsilon_cu; %[B5-25]
epsilon1_1 = ((d1-x1)/x1)*epsilon_cu; %[B5-26]
epsilon2_1 = ((d2-x1)/x1)*epsilon_cu; %[B5-26]

%Kontroll

if epsilon1_1 > epsilon_syd && epsilon2_1 > epsilon_syd &&
  epsilon_prim_1 > epsilon_syd
    disp('Kontroll av def.villkor OK, antagandet felaktigt')
else
    disp('Kontroll av def.villkor ej OK, antagandet korrekt')
end

%% ANTAR ATT DRAGARMERINGEN FLYTER OCH TRYCKARMERINGEN ÄR
  LINJÄRELASTISK - Enligt beräkningar i bärande

%Hittar x ur andragradsekvation [B5-23]
A = alpha* f_cd *b;
B = E_armering*epsilon_cu*As_prim-(As1+As2)* f_yd;
C = -E_armering*d_prim*epsilon_cu*As_prim;

x2 = roots([A, B, C]);
x2_dim = x2(x2>0);

```

```

%Deformationsvillkor

epsilon_syd = f_yd/E_armering; %[B2-28a]

epsilon_prim_2 = ((x2_dim-d_prim)/x2_dim)*epsilon_cu; %[B5
-25]
epsilon1_2 = ((d1-x2_dim)/x2_dim)*epsilon_cu; %[B5-26]
epsilon2_2 = ((d2-x2_dim)/x2_dim)*epsilon_cu; %[B5-26]

%Kontroll deformationsvillkor

if epsilon1_2 > epsilon_syd && epsilon2_2 > epsilon_syd &&
    epsilon_prim_2 < epsilon_syd
    disp('Kontroll av def.villkor OK, antagandet korrekt')
else
    disp('Kontroll av def.villkor ej OK, antagandet felaktigt
    ')
end

%% MOMENTKAPACITET

M_Rd_f = alpha*f_cd*b*x2_dim*(d1-beta.*x2_dim)+E_armering*
    epsilon_prim_2*As_prim*(d1-d_prim) ...
    -f_yd*As2*(d1-d2); %[Nm][B5-24]

%kontroll
if M_Ed_f<M_Rd_f
    disp ('Momentkapacitet OK')
elseif M_Ed_f>M_Rd_f
    disp ('Momentkapacitet ej OK')
end

%% TVÄRKRAFTSKAPACITET - LIVTRYCKSBROTT

bw = b;
v = 0.6*(1-((f_ck/1000000)/250)); %[B6-11]

V_Rd_f = 0.5*v*f_cd*bw*d1; %[N][B6-11]

%Kontroll
if V_Ed_f<V_Rd_f
    disp ('Tvärkraftskapacitet livtrycksbrott OK')
elseif V_Ed_f>V_Rd_f
    disp('Tvärkraftskapacitet livtrycksbrott EJ OK')
end

```

```
%% TVÄRKRAFTSKAPACITET - SKJUVGLIDNINGSBROTT

%[B6-14]
C_Rd_c = 0.18/1.5;
k = 1+sqrt(200/(d1*1000));
rho_1 = (As1+As2)/(bw*d1);
v_min = 0.035*(k^(3/2))*(f_ck/1000000)^0.5;

%Skjuvglidbrott [B6-14]
V_Rd_c_f = C_Rd_c*k*((100*rho_1*(f_ck/1000000))^(1/3))*bw*d1
            *1000000;
minkrav = v_min*bw*d1*1000000;

%Kontroll
if V_Ed_f < V_Rd_c_f
    disp('Tvärkraftskapacitet skjuvglidning OK')
elseif V_Ed_f > V_Rd_c_f
    disp('Tvärkraftskapacitet skjuvglidning ej OK, två
          rkrfatsarmering behövs')
end

%% TVÄRKRAFTARMERING

%Livtrycksbrott
alpha_cw = 1;
v1 = v;
theta = 30; %[B6-16]
alpha_tvar = 90;
cot_alpha = cotd(alpha_tvar);
cot_theta = cotd(theta);
tan_theta = tand(theta);

V_Rdmax_f = alpha_cw*bw*z*v1*f_cd*(1/(cot_theta+tan_theta));
            %[N] [B6-19]

%Kontroll kapacitet
if V_Ed_f < V_Rdmax_f
    disp('Tvärkraftskapacitet tvärkraftsarmering OK')
elseif V_Ed_f > V_Rdmax_f
    disp('Tvärkraftskapacitet tvärkraftsarmering ej OK')
end

%Dimensionering tvärkraftsarmering
f_ywd = f_yk/1.15;
A_sw = 2*pi*(phi_tvar^2)/4; %[m^2] [B6-25]

s = (A_sw*f_ywd*sind(alpha_tvar)*(z*(cot_theta+cot_alpha)))/
    V_Ed_f; %[B6-22]
```

```
%Kontroll innehåll
rho_w_min = 0.08*(sqrt(f_ck)/f_yk); %[B6-24]
rho_w = A_sw/(s*bw*sind(alpha_tvar)); %[B6-25]

if rho_w>rho_w_min
    disp('Tvärarmeringsinnehåll OK')
else
    disp('Tvärarmeringsinnehåll ej OK')
end

%Kontroll centrumavstånd
sl_max = 0.75*d1*(1+cot_alpha); %[m] [B6-26]

if sl_max>s
    disp('Centrumavstånd OK')
else
    disp('Centrumavstånd ej OK')
end

%% KONTROLL ARMERINGSMÄNGD

Ac = b*h; %[m^2] Tvärsnittets area

%[B4-21]
As_min = 0.26*(f_ctm/f_yk)*b*d1;
As_minmin = 0.0013*b*d1;
As_min_dim = max(As_min, As_minmin);

As_max = 0.04*Ac; %[m^2] [B4-22]

%Kontroll enligt [B4-20]
if (As1+As2) > As_min_dim && (As1+As2) < As_max
    disp('Armeringsmängd OK')
else
    disp('Armeringsmängd ej OK, använder As_min_dim')
end

%% KONTROLL SEGT VERKNINGSSÄTT

verkningssatt = 0.25*d1; %[B5-22] för hållf.klass<C50/60

if x2<=verkningssatt
    disp('Verkningssätt OK')
else
    disp('Verkningssätt ej OK')
end
```

%%

n_max =

18

n_f =

16

n1_f =

14

n2_f =

2

Tryckarmering behövs

n_prim_f =

3

Kontroll av def.villkor ej OK, antagandet korrekt

Kontroll av def.villkor OK, antagandet korrekt

Momentkapacitet OK

Tvärkraftskapacitet livtrycksbrott OK

Tvärkraftskapacitet skjuvglidning ej OK, tvärkraftsarmering
behövs

Tvärkraftskapacitet tvärkraftsarmering OK

Tvärarmeringsinnehåll OK

Centrumavstånd OK

Armeringsmängd OK

Verkningsätt OK

B.11

ULS-beräkningar över stöd - tvärled

```
%% ULS-beräkningar över stöd - platta, tvärled

clear, clc

Geometri
Materialdata

%%Ekvationer och indata från Bärande konstruktioner - Del 1

%% DIMENSIONERANDE LASTER

%Maxlaster i fält givet framtagna grafer
M_Ed_s = 526.28e3; %[Nm]
V_Ed_s = 755.04e3; %[N]

%% ARMERING

%Diameter - itereras fram
phi = 0.016; %[m]
phi_tvar = 0.008; %[m]

%Täckskikt
Dcdev = 0.01; %[m] [B4-26]
cmin = phi; %[m] [B4-25]

cnom = cmin+Dcdev; %Nominellt mått på täckande betongskikt [m]
    ] [B4-24]

%Minsta fria avstånd [B4-27]
dg = 0.032; %[m] största stenstorlek i ballasten [COWI]
k1 = 1.0;
k2 = 0.005; %[m]

amin = max([phi*k1, dg+k2, 0.02]); %[B4-27]

%Maximalt antal dragarmerings-stänger i ett lager
n_max = floor(1/(amin+phi))

%% TVÄRSNITTSKONSTANTER

b = 1; %Bredden på betongtvärsnittet [m]
h = 0.42; %Höjden av betongtvärsnittet [m]
```

```
d1 = h-(cnom+phi_tvar+phi/2); %Avstånd mellan batongens ö
    verkant till dragarmering 1:a lager [m]
d2 = h-(cnom+phi_tvar+amin+phi*1.5); %Avstånd emellan
    betongens överkant till dragarmeringens 2:a lager [m]
d_prim = cnom+phi/2+phi_tvar; %Avstånd mellan betongens ö
    verkant till tryckarmering [m]

%% ARMERINGSMÄNGD

%Armeringsarea för en stång [m^2]
Asi = (pi*phi^2)/4;

%Uppskattad total armeringsmängd [m^2] [B4-16]
z=0.9*d1; %[m][B4-14]
As = M_Ed_s/(f_yd*z); %[m^2][B4-16]

%Antal armeringsstänger i drag
n_s = ceil(As/Asi) %Totalt antal stänger

%Väljer antal stänger per rad, får ej vara över n_max
n1_s = 16 %Antal stänger lager 1
n2_s = 2 %Antal stänger lager 2

%Area dragarmering
As1 = Asi*n1_s; %Area dragarmering lager 1 [m^2]
As2 = Asi*n2_s; %Area dragarmering lager 1 [m^2]

%% KONSTANTER

alpha = 0.81; %[B5.1]
beta = 0.416; %[B5.1]
epsilon_cu = 3.5e-3; %[B2.4]

%% BEHÖVS TRYCKARMERING?
% Antar att dragarmeringen flyter och tryckarmeringen är linj
    ärelastisk

%Lösar neuralaxeln utan tryckarmering
x = (As1*f_yd)/(alpha*f_cd*b); %[m][B5-23]

%Hittar Kritiska momentet
M_Rd_1 = alpha*f_cd*b*x*(d1-beta*x); %[N][B5-24]

%Kontrollerar om tryckarmering behövs
if M_Rd_1 >= M_Ed_s
    disp('Ingen tryckarmering behövs')
else
```

```
disp('Tryckarmering behövs')
end

%Restmoment som måste tas av tryckarmering
Delta_M = M_Ed_s-M_Rd_1;

%Anta elastisk tryckarmering
epsilon_prim = ((x - d_prim)/x)*epsilon_cu; %[B5-25]
sigma_s_prim = E_armering * epsilon_prim;

%Lös ut As_prim
As_prim = Delta_M/(sigma_s_prim*(d1-d_prim)); %[B5-24]

%Antal stänger i tryckarmeringen
n_prim_s = ceil(As_prim/Asi)

%% KONTROLLERAR ANTAGANDET
% ANTAR ATT ALL ARMERING FLYTER - Enligt beräkningar i Bä
  rande

x1 = (f_yd*(As1+As2)-f_yd*As_prim)/(alpha*f_cd*b); %[m] [B5
  -23]

%Deformationsvillkor
epsilon_syd = f_yd/E_armering; %[B2-28a]

epsilon_prim_1 = ((x1-d_prim)/x1)*epsilon_cu; %[B5-25]
epsilon1_1 = ((d1-x1)/x1)*epsilon_cu; %[B5-26]
epsilon2_1 = ((d2-x1)/x1)*epsilon_cu; %[B5-26]

%Kontroll

if epsilon1_1 > epsilon_syd && epsilon2_1 > epsilon_syd &&
  epsilon_prim_1 > epsilon_syd
  disp('Kontroll av def.villkor OK, antagandet felaktigt')
else
  disp('Kontroll av def.villkor ej OK, antagandet korrekt')
end

%% ANTAR ATT DRAGARMERINGEN FLYTER OCH TRYCKARMERINGEN ÄR
  LINJÄRELASTISK

%Hittar x ur andragradsekvation [B5-23]
A = alpha* f_cd *b;
B = E_armering*epsilon_cu*As_prim-(As1+As2)* f_yd;
C = -E_armering*d_prim*epsilon_cu*As_prim;
```

```
x2 = roots([A, B, C]);
x2_dim = x2(x2>0);

%Deformationsvillkor

epsilon_syd = f_yd/E_armering; %[B2-28a]

epsilon_prim_2 = ((x2_dim-d_prim)/x2_dim)*epsilon_cu; %[B5-25]
epsilon1_2 = ((d1-x2_dim)/x2_dim)*epsilon_cu; %[B5-26]
epsilon2_2 = ((d2-x2_dim)/x2_dim)*epsilon_cu; %[B5-26]

%Kontroll

if epsilon1_2 > epsilon_syd && epsilon2_2 > epsilon_syd &&
    epsilon_prim_2 < epsilon_syd
    disp('Kontroll av def.villkor OK, antagandet korrekt')
else
    disp('Kontroll av def.villkor ej OK, antagandet felaktigt')
end

%% MOMENTKAPACITET

M_Rd_s = alpha*f_cd*b*x2_dim*(d1-beta.*x2_dim)+E_armering*
    epsilon_prim_2*As_prim*(d1-d_prim) ...
    -f_yd*As2*(d1-d2); %[Nm][B5-24]

%kontroll
if M_Ed_s<M_Rd_s
    disp('Momentkapacitet OK')
elseif M_Ed_s>M_Rd_s
    disp('Momentkapacitet ej OK')
end

%% TVÄRKRAFTSKAPACITET - LIVTRYCKSBROTT

bw = b;
v = 0.6*(1-((f_ck/1000000)/250)); %[B6-11]

V_Rd_s = 0.5*v*f_cd*bw*d1; %[N][B6-11]

%Kontroll
if V_Ed_s<V_Rd_s
    disp('Tvärkraftskapacitet livtrycksbrott OK')
```

```

elseif V_Ed_s>V_Rd_s
    disp('Tvärkraftskapacitet livtrycksbrott EJ OK')
end

%% TVÄRKRAFTSKAPACITET - SKJUVGLIDNINGSBROTT

%[B6-14]
C_Rd_c = 0.18/1.5;
k = 1+sqrt(200/(d1*1000));
rho_1 = (As1)/(bw*d1);
v_min = 0.035*(k^(3/2))*(f_ck/1000000)^0.5;

%Skjuvglidbrott [B6-14]
V_Rd_c_s = C_Rd_c*k*((100*rho_1*(f_ck/1000000))^(1/3))*bw*d1
    *1000000;
minkrav = v_min*bw*d1*1000000;

%Kontroll
if V_Ed_s<V_Rd_c_s
    disp('Tvärkraftskapacitet skjuvglidningsbrott OK')
elseif V_Ed_s>V_Rd_c_s
    disp('Tvärkraftskapacitet skjuvglidningsbrott ej OK,
        tvärkraftsarmering behövs')
end

%% TVÄRKRAFTARMERING

%Livtrycksbrott
alpha_cw = 1;
v1 = v;
theta = 30; %[B6-16]
alpha_tvar = 90;
cot_alpha = cotd(alpha_tvar);
cot_theta = cotd(theta);
tan_theta = tand(theta);

V_Rdmax_s = alpha_cw*bw*z*v1*f_cd*(1/(cot_theta+tan_theta));
    %[N][B6_19]

%Kontroll kapacitet
if V_Ed_s<V_Rdmax_s
    disp('Tvärkraftskapacitet tvärkraftsarmering OK')
elseif V_Ed_s>V_Rdmax_s
    disp('Tvärkraftskapacitet tvärkraftsarmering ej OK')
end

%Dimensionering tvärkraftsarmering
f_ywd = f_yk/1.15;

```

```
A_sw = 2*pi*(phi_tvar^2)/4; %[m^2][B6-25]

s = (A_sw*f_ywd*sind(alpha_tvar)*(z*(cot_theta+cot_alpha)))/
    V_Ed_s; %[B6-22]

%Kontroll innehåll
rho_w_min = 0.08*(sqrt(f_ck)/f_yk); %[B6-24]
rho_w = A_sw/(s*bw*sind(alpha_tvar)); %[B6-25]

if rho_w>rho_w_min
    disp('Tvärarmeringsinnehåll OK')
else
    disp('Tvärarmeringsinnehåll ej OK')
end

%Kontroll centrumavstånd
sl_max = 0.75*d1*(1+cot_alpha); %[m][B6-26]

if sl_max>s
    disp('Centrumavstånd OK')
else
    disp('Centrumavstånd ej OK')
end

%% KONTROLL ARMERINGSMÄNGD

Ac = b*h; %[m^2] Tvärsnittets area

%[B4-21]
As_min = 0.26*(f_ctm/f_yk)*b*d1;
As_minmin = 0.0013*b*d1;
As_min_dim = max(As_min, As_minmin);

As_max = 0.04*Ac; %[m^2] [B4-22]

%Kontroll enligt [B4-20]
if (As1+As2) > As_min_dim && (As1+As2) < As_max
    disp('Armeringsmängd OK')
else
    disp('Armeringsmängd ej OK, använder As_min_dim')
end

%% KONTROLL SEGT VERKNINGSSÄTT

verkningsatt = 0.25*d1; %[B5-22] för hållf.klass<C50/60

if x2<= verkningsatt
    disp('Verkningsätt OK')
```

```
else
    disp('Verkningssätt ej OK')
end

%%

n_max =

    18

n_s =

    18

n1_s =

    16

n2_s =

    2

Tryckarmering behövs

n_prim_s =

    2

Kontroll av def.villkor ej OK, antagandet korrekt
Kontroll av def.villkor OK, antagandet korrekt
Momentkapacitet OK
Tvärkraftskapacitet livtrycksbrott OK
Tvärkraftskapacitet skjuvglidningsbrott ej OK, två
    rkrafatsarmering behövs
Tvärkraftskapacitet tvärkrafatsarmering OK
Tvärarmeringsinnehåll OK
Centrumavstånd OK
Armeringsmängd OK
Verkningssätt OK
```

B.12

SLS-beräkningar - tvärled

```
%% SLS-beräkningar över fält - platta, tvärled

clear, clc

Materialdata
Geometri

%Ekvationer och indata från Bärande konstruktioner - Del 1
    och 2

%% DIMENSIONERANDE LASTER

%Maxlaster i fält givet framtagna grafer
M_Ed_f = 314.60e3; %[N]
V_Ed_f = 311.60e3; %[N]

%% ARMERING

%Diameter - itereras fram
phi = 0.016; %[m]
phi_tvar = 0.008; %[m]

%Täckskikt
Dcdev = 0.01; %[m] [B4-26]
cmin = phi; %[m] [B4-25]

cnom = cmin+Dcdev; %Nominellt mått på täckande betongskikt [m]
    ] [B4-24]

%Minsta fria avstånd [B4-27]
dg = 0.032; %[m] största stenstorlek i ballasten [COWI]
k1 = 1.0;
k2 = 0.005; %[m]

amin = max([phi*k1, dg+k2, 0.02]); %[m]

%Maximalt antal stänger i ett lager
n_max = floor(1/(amin+phi));

%% TVÄRSNITTSKONSTANTER

b = 1; %Bredden på betongtvärsnittet [m]
h = 0.42; %Höjden av betongtvärsnittet [m]
```

```

d1 = h-(cnom+phi/2+phi_tvar); %Avstånd mellan batongens ö
    verkant till dragarmering 1:a lager [m]
d2 = h-(cnom+phi_tvar+amin+phi*1.5); %Avstånd emellan
    betongens överkant till dragarmeringens 2:a lager [m]
d_prim = cnom+phi/2+phi_tvar; %Avstånd mellan betongens ö
    verkant till tryckarmering [m]

%% ARMERINGSMÄNGD

%Armeringsarea för en stång [m^2]
Asi = (pi*phi^2)/4;

%Antal stänger i drag per rad - från ULS-beräkningar
n1 = 14; %Antal stänger i lager 1 av dragarmeringen
n2 = 2; %Antal stänger i lager 2 av dragarmeringen
n_prim = 3; %Antal stänger i tryckarmering

%Area dragarmering
As1 = Asi*n1; %Area dragarmering lager 1 [m^2]
As2 = Asi*n2; %Area dragarmering lager 2 [m^2]
As_prim = Asi*n_prim; %Area tryckarmering [m^2]

%% SPRICKBILDNING

%Beräkna M_cr

I_c = (b*h^3)/12; %[m^4] Betongens yttröghetsmoment
z = h/2; %[m] I statie 1, osprucket och armeringen försummad

k = 1.6-(h); %[B3-22]
f_ctfl = k*f_ctm; %[B3-22] = sigma_c

M_cr = (f_ctfl*I_c)/z; %[Nm] från Naviers formel [B7-9]

if M_Ed_f>M_cr
    disp ('Tvärnittet spricker')
elseif M_Ed_f<M_cr
    disp ('Tvärnittet spricker inte')
end

%% HITTA X UR JÄMVIKTSEKVATION

alpha = E_armering/E_cm; %[B7-34]

%Rektangulärt tvärsnitt utan normalkraft, [B7.2.3]

F = @(x) (b*x.^2)/2+(alpha-1)*As_prim*(x-d_prim)-alpha*As1*(
    d1-x) ...

```

```
-alpha*As2*(d2-x);

%Startvärde

x0 = 0.01;

%Lös ekvationen

x = fzero(F,1);
xtp = x;

%Yttröghetsmoment i stadium 2, [m^4]
I2 = ((b*xtp^3)/3)+(alpha-1)*As_prim*(xtp-d_prim)^2+alpha*As1
      *(d1-xtp)^2+alpha*As2*(d2-xtp)^2;

%% SPÄNNINGAR I SLS

%Betongspänningar
z2 = -xtp;
sigma_cc = (M_Ed_f/I2)*z2; %[B7-21a]

%Kontroller [SS EN 1992-1-1:2004 kap. 7.2]
if abs(sigma_cc)<0.45*f_ck
    disp('Betongpåkänning OK')
elseif abs(sigma_cc)>0.45*f_ck
    disp('Betongpåkänning ej OK')
end

%Betongpåkänning tryckarmeringens nivå
z3 = -(xtp-d_prim);
sigma_cs_tryck = (M_Ed_f/I2)*z3;

% Betongpåkänning dragarmeringens nivå
z4 = -(xtp-d1);
sigma_cs_drag = (M_Ed_f/I2)*z4;

%Stålpåkänning tryckarmeringen
sigma_s_tryck = alpha*sigma_cs_tryck; %[B7-54]

%Kontroll [SS-EN 1992-1-1]
if sigma_s_tryck<0.8*f_yk
    disp('Stålpåkänning i tryckarmeringen OK')
elseif sigma_s_tryck>0.8*f_yk
    disp('Stålpåkänning i tryckarmeringen ej OK')
end

%Stålpåkänning dragarmering
```

```

sigma_s_drag = alpha*sigma_cs_drag;

%Kontroll [SS-EN 1992-1-1]
if sigma_s_drag<0.8*f_yk
    disp('Stålpåkänning i dragarmeringen OK')
elseif sigma_s_drag>0.8*f_yk
    disp('Stålpåkänning i dragarmeringen ej OK')
end

%% SPRICKAVSTÅND

k1 = 0.8;
k2 = 0.5; %[B9-12]
k3 = 3.4;
k4 = 0.425;
c_nom = 0.026;

d_medel = (n1*d1+n2*d2)/(n1+n2);

h1 = (h-xtp)/3;
h2 = h/2;
h3 = 2.5*(h-d_medel);

%Effektiv höjd
hc_ef = min([h1, h2, h3]); %[B9-13]

%Betongarea mellan sprickorna
Ac_ef = hc_ef*b;

p_pef = (As1+As2)/Ac_ef; %[B9-11]

%Sprickavstånd
sr_max = k3*c_nom+k1*k2*k4*phi/p_pef; %[m][B9-11]

%% SPRICKBREDD

kt = 0.4;

%[B9-19]
e_m = (sigma_s_drag-kt*(f_ctm/p_pef)*(1+alpha*p_pef))/
    E_armering;
e_m_min = 0.6*sigma_s_drag/E_armering;
e_m_dim = max(e_m, e_m_min);

%Karakteristisk sprickbredd
wk = sr_max*e_m; %[m][B9-18]

%Kontroll

```

```
wk_max = 0.3e-3; %[SS-EN 1992-1-1, Tabell 7.1N]

if wk < wk_max
    disp('Sprickbredd OK')
elseif wk > wk_max
    disp('Sprickbredd ej OK')
end

%%

Tvärnittet spricker
Betongpåkänning OK
Stålpåkänning i tryckarmeringen OK
Stålpåkänning i dragarmeringen OK
Sprickbredd OK
```

B.13

ULS- och SLS-beräkningar i längdled

```
%% Tvärsnittsdata sammansatt tvärsnitt

Materialdata
Geometri

V_Ed = [3404.14*1e3, 2000*1e3]; % Max tvärkraft för upplag/fält
lt
M_Ed = [25*1e6, 33.27*1e6]; % Max moment för upplag/fält
M_Ed_gjut = [10.3*1e6, 13.5*1e6]; % Max moment gjutskede
upplag/fält
alpha = E_stal/E_cm; % alpha, används vid omvandling av stål
till betong för tvärsnittsanalys

fprintf('\nULS:\n
=====
=====')
%% Beräkning av medverkande flänsbredd

% Spännvidden är lika med L_Pl

b0 = Flans_B_U(1) - 0.025*2; % Maximalt centrumavstånd mellan
yttre svetsbultar enligt eurocode. Kapitel 6.6.5.6, övre
flänsbredd konstant över upplag och fält
b1 = Bk_Pl-b0/2; % Avstånd mellan konsolkant yttre svetsbult
b2 = Bf_Pl/2-b0/2; % Avstånd mellan den innersta svetsbulten
och tvärnittets centrumlinje.

% Effektiv bredd upplag

be1 = min(b1,39.1/8); % Kapitel 5.4.1.2
be2 = min(b2,39.1/8);

Beta1 = min(0.55 + 0.025 * (L_Pl/be1),1);
Beta2 = min(0.55 + 0.025 * (L_Pl/be2),1);

% Ha i åtanke att lasten beräknas på den värst drabbade
balken, alltså ska
% bara en balk om dess betong analyseras!

beff_upplag = (b0+be1*Beta1 + be2*Beta2);
```

```
% Effektiv bredd fältmitt

beff_falt = (b0+be1+be2);

beff = [beff_upplag,beff_falt];

% Plottar tvärsnittens tyngdpunkt

figure();
sgtitle('Tvärsnitt med tyngdpunkter och effektiv betongbredd'
)
for j = 1:2
    ax = subplot(2,1,j);

    if j==1
        title('Upplag')
        fprintf('\nUPPLAG:\n
=====\\
n')
    else
        title('Fält')
        fprintf('\nFÄLT:\n
=====\\
n')

    end
    daspect([1,1,1]);
    xlim([-1 8])
    ylim([-2.5 0.5])
    hold on

    if j==1
        rita_tvarsnitt('längdled upplag', ax)
    else
        rita_tvarsnitt('längdled fält', ax)
    end

    % Effektiv bredd

    line([0,0],[0,-H_P1],'Color','red','HandleVisibility','
off','LineStyle',':');% Vertikal del av betongen
    line([beff(j),beff(j)],[0,-H_P1],'Color','red','
HandleVisibility','off','LineStyle',':');% Vertikal
    del av betongen

    % Areor, tyngdpunkter och mått

    H_tot(j) = H_P1 + Flans_T_U(j) + Liv_H(j) + Flans_T_N(j);
```

```

    % Totalhöjd

% Betongplat
A_Pl_beff(j) = beff(j) * H_Pl;
Ytp_Pl = H_Pl/2;

% I-balk (en balk, tyngdpunkt från betongöverkant)
Ytp_Ib(j) = H_Pl + Xtp_Ib(j);

% Armeringslager Uppe

Ytp_armering_U = d_prim;

% Armeringslager Nere

Ytp_armering_N = d;

% Komposittvärsnitt
% Anledningen att armeringen delas med två beror på att
  A_armering gäller
% för hela tvärsnittet, men här kollar vi bara på den vä
  rst belastade
% balken och dess effektiva halva av körbanan.
A_tot(j) = A_Pl_beff(j) + A_Ib(j)*alpha +(alpha-1)*(
  A_armering_U/2 + A_armering_N/2);
Ytp_sam(j) = (A_Pl_beff(j)*Ytp_Pl + A_Ib(j)*Ytp_Ib(j)*
  alpha + (alpha-1)*A_armering_U/2*Ytp_armering_U + (
  alpha-1)*A_armering_N/2*Ytp_armering_N) / A_tot(j);

% Tyngdpunktsmarkörer i figur
plot(B_kb/4, -Ytp_Pl, 'g+', 'MarkerSize', 14, '
  LineWidth', 2, 'DisplayName', 'TP platta')
plot(VBalk_mitt, -Ytp_Ib(j), 'r+', 'MarkerSize', 14, '
  LineWidth', 2, 'DisplayName', 'TP balk')
yline(-Ytp_sam(j), '--b', sprintf('Neutralaxel_{Elastisk}
  = %.3f m', Ytp_sam(j)), 'LineWidth', 1.5, '
  LabelHorizontalAlignment', 'left', 'DisplayName', '
  Neutralaxel_{Elastisk}')
legend('Location', 'southeast')

% Plastisk neutralaxel (PNA)

% Plastiska kapaciteter per del
% Beräknas enligt eurocode SS-EN 1994-2:2005 6.2.1.2

% Plastiska krafter per del SAMMANSATT TVÄRSNITT
Np_Pl_tot(j) = beff(j) * H_Pl * 0.85 * f_cd; % Max
  betongkraft (hela plattan)
Np_fU(j) = Flans_B_U(j) * Flans_T_U(j) * Fy_flans_U(j)

```

```
); % Övre fläns
Np_liv(j) = Liv_T(j) * Liv_H(j) * Fy_liv(j);
           % Liv
Np_fN(j) = Flans_B_N(j) * Flans_T_N(j) * Fy_flans_N(j);
           % Nedre fläns
Np_aU(j) = A_armering_U/2 * f_yd; % Övre
           armering
Np_aN(j) = A_armering_N/2 * f_yd; %
           Nedre armering

% Total dragkapacitet (allt stål + all armering drar)
N_drag_tot(j) = Np_fU(j) + Np_liv(j) + Np_fN(j) + Np_aU(j)
               + Np_aN(j);

% Fall 1: PNA i plattan, ovanför övre armering
% Tryck: betong ovan PNA
% Drag: betong under PNA + övre arm + nedre arm + hela stål-
       balken
if beff(j) * d_prim * 0.85 * f_cd >= N_drag_tot(j)
    h_c(j) = N_drag_tot(j) / (beff(j) * 0.85 * f_cd);
    PNA(j) = h_c(j);
    fprintf('SAMMANSATT TVÄRSNITT: VARNING: PNA i plattan
           , ovanför övre armering\n');

% Fall 2: PNA i plattan, mellan armeringarna
% Tryck: betong ovan PNA + övre armering (nu tryckt)
% Drag: betong under PNA + nedre armering + hela stål-
       balken
elseif beff(j) * d * 0.85 * f_cd + Np_aU(j) >= N_drag_tot(j)
    N_rest(j) = N_drag_tot(j) - Np_aU(j);
    h_c(j) = N_rest(j) / (beff(j) * 0.85 * f_cd);
    PNA(j) = h_c(j);
    fprintf('SAMMANSATT TVÄRSNITT: VARNING: PNA i plattan
           , mellan armeringslager\n');

% Fall 3: PNA i plattan, under nedre armering
% Tryck: betong ovan PNA + övre armering + nedre armering
       (nu tryckt)
% Drag: betong under PNA + hela stål-
       balken
elseif Np_Pl_tot(j) + Np_aU(j) + Np_aN(j) >= N_drag_tot(j)
    N_rest(j) = N_drag_tot(j) - Np_aU(j) - Np_aN(j);
    h_c(j) = N_rest(j) / (beff(j) * 0.85 * f_cd);
    PNA(j) = h_c(j);
    fprintf('SAMMANSATT TVÄRSNITT: VARNING: PNA i plattan
           , under nedre armering\n');

% Fall 4: PNA i övre stålfläns
```

```

% Tryck: hela betongplattan + båda armeringslager + del
  av överfläns
% Drag: resten av överfläns + liv + nederfläns
elseif Np_Pl_tot(j) + Np_aU(j) + Np_aN(j) + Np_fU(j) >=
  N_drag_tot(j)
  N_rest(j) = N_drag_tot(j) - Np_Pl_tot(j) - Np_aU(j) -
    Np_aN(j);
  h_f(j) = N_rest(j) / (Flans_B_U(j) * Fy_flans_U(j));
  PNA(j) = H_Pl + h_f(j);
  fprintf('SAMMANSATT TVÄRSNITT: PNA i övre stålfläns,
    OK\n')

% Fall 5: PNA i livet
% Tryck: hela betongplattan + båda armeringslager + hela
  överfläns + del av liv
% Drag: resten av liv + nederfläns
elseif Np_Pl_tot(j) + Np_aU(j) + Np_aN(j) + Np_fU(j) +
  Np_liv(j) >= N_drag_tot(j)
  N_rest(j) = N_drag_tot(j) - Np_Pl_tot(j) - Np_aU(j) -
    Np_aN(j) - Np_fU(j);
  h_w(j) = N_rest(j) / (Liv_T(j) * Fy_liv(j));
  PNA(j) = H_Pl + Flans_T_U(j) + h_w(j);
  fprintf('SAMMANSATT TVÄRSNITT: PNA i livet på balk,
    OK\n')

% Fall 6: PNA i nedre fläns
else
  N_rest(j) = N_drag_tot(j) - Np_Pl_tot(j) - Np_aU(j) -
    Np_aN(j) - Np_fU(j) - Np_liv(j);
  h_fN(j) = N_rest(j) / (Flans_B_N(j) * Fy_flans_N(j));
  PNA(j) = H_Pl + Flans_T_U(j) + Liv_H(j) + h_fN(j);
  fprintf('SAMMANSATT TVÄRSNITT: PNA i nedre fläns, OK\
    n')
end

fprintf('PNA = %.4f m (från betongöverkant)\n', PNA(j))

% Markera PNA i figuren
yline(-PNA(j), '--r', sprintf('Neutralaxel_{Plastisk} =
  %.3f m', PNA(j)), ...
  'LineWidth', 1.5, 'LabelHorizontalAlignment', 'left',
  ...
  'DisplayName', 'Neutralaxel_{Plastisk}');

% Plastiska krafter per del ENBART STÅLBALKARNA
Np_fU_gjut(j) = Flans_B_U(j) * Flans_T_U(j) * Fy_flans_U(
  j); % Övre fläns
Np_liv_gjut(j) = Liv_T(j) * Liv_H(j) * Fy_liv(j);
  % Liv

```

```
Np_fN_gjut(j) = Flans_B_N(j) * Flans_T_N(j) * Fy_flans_N(j); % Nedre fläns

N_tot(j) = Np_fU_gjut(j) + Np_liv_gjut(j) + Np_fN_gjut(j);
           % Total kraft

% Fall 1: PNA i övre fläns
if 2*Np_fU_gjut(j) >= N_tot(j)
    N_rest(j) = (N_tot(j) - Np_fU_gjut(j)); % Kraft som
        livet/nedre fläns ska balansera
    h_f(j) = N_rest(j) / (Flans_B_U(j) * Fy_flans_U(j));
    PNA_gjut(j) = h_f(j);
    fprintf('ENBART STÅLBALKAR: KONTROLLERA: PNA i övre
            fläns,\n')

% Fall 2: PNA i livet
elseif 2*(Np_fU_gjut(j) + Np_liv_gjut(j)) >= N_tot(j)
    N_rest(j) = N_tot(j)/2 - Np_fU_gjut(j);
    h_w_PNA(j) = N_rest(j) / (Liv_T(j) * Fy_liv(j));
    PNA_gjut(j) = Flans_T_U(j) + h_w_PNA(j); % Från
        balkens överkant
    fprintf('ENBART STÅLBALKAR: PNA i livet, OK\n')

% Fall 3: PNA i nedre fläns
else
    N_rest(j) = N_tot(j)/2 - Np_fU_gjut(j) - Np_liv_gjut(j);
    h_fN(j) = N_rest(j) / (Flans_B_N(j) * Fy_flans_N(j));
    PNA_gjut(j) = Flans_T_U(j) + Liv_H(j) + h_fN(j);
    fprintf('ENBART STÅLBALKAR: KONTROLLERA: PNA i nedre
            fläns,\n')
end

fprintf('PNA = %.4f m (från balkens överkant)\n',
        PNA_gjut(j))

% Avstånd mellan olika tyngpunkter

e0(j) = Ytp_sam(j)-Ytp_P1; % Avstånd mellan
        sammansatta och plattans tyngdpunkter
e1(j) = Ytp_Ib(j)-Ytp_sam(j); % Avstånd mellan
        sammansatta och balkarnas tyngdpunkter
e2(j) = Ytp_sam(j)-Ytp_armering_N; % Avstånd mellan
        sammansatta och nedre armeringens tyngdpunkter
e3(j) = Ytp_sam(j)-Ytp_armering_U; % Avstånd mellan
        sammansatta och övre armeringens tyngdpunkter
e4(j) = H_tot(j)-Ytp_sam(j); % Avstånd mellan
        sammansatta tyndpunkten och nedersta punkten på balken
```

```
% Bøjtröghetsmoment

I_Pl_beff(j) = (beff(j)*H_Pl^3)/12;
I_sam(j) = alpha*I_Ib(j) + alpha*A_Ib(j) * e1(j)^2 ...
           % I-balk
+ I_Pl_beff(j)+A_Pl_beff(j)*e0(j)^2 ...
           % Platta
+ (alpha-1)*(A_armering_N/2*e2(j)^2+A_armering_U/2*e3(j)
  ^2);    % Armering

%% ULS
% Minimiarmering: Eftersom betongplattan alltid kommer
% att vara tryckt
% behövs ingen armering förutom minimiarmering regler
% enligt SS-EN 1994-2
% Kap. 5.5.1 och SS-EN 1992-1-1:2005 Kap 7.3.3

% Antar armeringsspänning hälften av flytgränsen, ca 250
% Mpa

% Väljer karakteristisk sprickbredd på 0.2 mm för att
% prioritera lång livslängd på
% betongen.

% Detta ger enligt tabellen 16 mm och centrumavstånd på
% max 200 mm

n_ber(j) = ceil(beff(j)/c_avstand);

% Detta motsvarar armeringsarea:

As(j) = 2*n_ber(j)*((D_armering^2*pi)/4);

% Kontroll, antar tvärsnittsklass 1
% Beräkningarna anger armering för den effektiva halvan
% av bron, totalt för
% bron kommer det att finnas lika många armeringsjärn på
% andra sidan.

kc(j) = min(1/(1+H_Pl/(2*e0(j)))+0.3,1);
rho_s(j) = 1.1*(Fy_flans_U(j)/235e6)*(f_ctm/f_yk)*sqrt(kc
  (j));
As_min(j) = rho_s(j)*A_Pl_beff(j);

if As(j) < As_min(j)
    fprintf('\nMinimiarmering gäller\n\n')
```

```
n_ber(j) = As_min(j)/A_armeringsstang;
else
    fprintf('\nArmering är större än eller lika med
            delkravet för minimum, OK!\n\n')
    n_ber(j) = As(j)/A_armeringsstang;
end

n_per_rad(j) = n_ber(j)/2;

fprintf('Antal armeringsstänger uppe/nere per fall för
        hela brobanan: %f\n', n_per_rad(j)*2);

% Kontroll tvärsnittsklass i stålbalk (Från bärande del 1,
    eftersom jag vill göra plastisk analys)

% Flänsar:

epsilon_flans_U(j) = sqrt(235e6/Fy_flans_U(j));
epsilon_flans_N(j) = sqrt(235e6/Fy_flans_N(j));

c_flans_U(j) = ((Flans_B_U(j)-Liv_T(j)-2*a_matt*sqrt(2))
    /2);
c_flans_N(j) = ((Flans_B_N(j)-Liv_T(j)-2*a_matt*sqrt(2))
    /2);

if c_flans_U(j)/Flans_T_U(j) <= 9*epsilon_flans_U(j)
    fprintf('\nÖvre fläns i tvärsnittsklass 1, plastisk
            analys OK!')
elseif c_flans_U(j)/Flans_T_U(j) <= 10*epsilon_flans_U(j)
    fprintf('\nÖvre fläns i tvärsnittsklass 2, plastisk
            analys OK, tar ej rotation!')
else
    fprintf('\nVARNING ULS: Övre fläns i tvärsnittsklass
            3, antagande för beräkningar stämmer ej')
end

if c_flans_N(j)/Flans_T_N(j) <= 9*epsilon_flans_N(j)
    fprintf('\nNedre fläns i tvärsnittsklass 1, plastisk
            analys OK!')
elseif c_flans_N(j)/Flans_T_N(j) <= 10*epsilon_flans_N(j)
    fprintf('\nNedre fläns i tvärsnittsklass 2, plastisk
            analys OK, tar ej rotation!')
else
    fprintf('\nVARNING ULS: Nedre fläns i tvärsnittsklass
            3, antagande för beräkningar stämmer ej')
end

% Livplåt:
```

```
epsilon_liv(j) = sqrt(235e6/Fy_liv(j));
d_liv(j) = Liv_H(j)-2*a_matt*sqrt(2);

if d_liv(j)/Liv_T(j) <= 72*epsilon_liv(j)
    fprintf('\nLiv i tvärsnittsklass 1, plastisk analys
           OK!\n')
elseif d_liv(j)/Liv_T(j) <= 83*epsilon_liv(j)
    fprintf('\nLiv i tvärsnittsklass 2, plastisk analys
           OK, tar ej rotation!\n')
else
    fprintf('\nVARNING ULS: Liv i tvärsnittsklass 3,
           antagande för beräkningar stämmer ej\n')
end

% Momentkapacitet (Plastisk)

% W_pl = summan av avstånd till plastisk tyngdpunkt *
      delarea

fprintf('\nPlastisk momentkapacitet för samverkanstvå
      rsnittet\n')

% Betongplatta
N_betong(j) = beff(j) * H_Pl * f_cd*0.85;
z_betong(j) = abs(PNA(j) - H_Pl/2);

% Övre stålfläns
N_fU(j) = Flans_B_U(j) * Flans_T_U(j) * Fy_flans_U(j);
z_fU(j) = abs(PNA(j) - (H_Pl + Flans_T_U(j)/2));

% Liv - tryckt del (ovan PNA) och dragen del (under PNA)
h_tryck(j) = max(PNA(j) - H_Pl - Flans_T_U(j), 0);
h_drag(j) = Liv_H(j) - h_tryck(j);

N_liv_t(j) = Liv_T(j) * h_tryck(j) * Fy_liv(j);
z_liv_t(j) = abs(PNA(j) - (H_Pl + Flans_T_U(j) + h_tryck(
j)/2));

N_liv_d(j) = Liv_T(j) * h_drag(j) * Fy_liv(j);
z_liv_d(j) = abs((H_Pl + Flans_T_U(j) + h_tryck(j) +
h_drag(j)/2) - PNA(j));

% Nedre stålfläns
N_fN(j) = Flans_B_N(j) * Flans_T_N(j) * Fy_flans_N(j);
z_fN(j) = abs((H_Pl + Flans_T_U(j) + Liv_H(j) + Flans_T_N
(j)/2) - PNA(j));

% Summering
```

```
M_pl_Rd(j) = N_betong(j) * z_betong(j) + ...
            N_fU(j)*z_fU(j) + N_liv_t(j)*z_liv_t(j) +
            N_liv_d(j)*z_liv_d(j) + N_fN(j)*z_fN(j);

fprintf('M_pl,Rd = %.4f MNm\n', M_pl_Rd(j)/1e6)
fprintf('Krav: %.f MNm\n',M_Ed(j)/1e6)

fprintf('\nPlastisk momentkapacitet för enbart stålbalkar
(gjutskede)\n')

z_fU(j) = abs(PNA_gjut(j) - Flans_T_U(j)/2);
M_fU(j) = Np_fU_gjut(j) * z_fU(j);

% Livet - dela upp i tryckt och dragen del
h_tryck_gjut(j) = max(PNA_gjut(j) - Flans_T_U(j), 0);
h_drag_gjut(j) = Liv_H(j) - h_tryck_gjut(j);

N_liv_t(j) = Liv_T(j) * h_tryck_gjut(j) * Fy_liv(j);
z_liv_t(j) = abs(PNA_gjut(j) - (Flans_T_U(j) +
h_tryck_gjut(j)/2));

N_liv_d(j) = Liv_T(j) * h_drag_gjut(j) * Fy_liv(j);
z_liv_d(j) = abs((Flans_T_U(j) + h_tryck_gjut(j) +
h_drag_gjut(j)/2) - PNA_gjut(j));

M_liv(j) = N_liv_t(j) * z_liv_t(j) + N_liv_d(j) * z_liv_d
(j);

% Nedre fläns
z_fN(j) = abs((Flans_T_U(j) + Liv_H(j) + Flans_T_N(j)/2)
- PNA_gjut(j));
M_fN(j) = Np_fN_gjut(j) * z_fN(j);

% Total plastisk momentkapacitet
M_pl_Rd_gjut(j) = M_fU(j) + M_liv(j) + M_fN(j);

fprintf('M_pl,Rd (gjutskede) = %.4f MNm\n', M_pl_Rd_gjut(
j)/1e6)

% M_b,Rd ska sedan bestämmas enligt SS-EN
1994-2:2005,6.4.2

% Relativ slankhet lambda_LT =sqrt(M_Rk/M_cr)

% M_cr kan beräknas i eurocode enligt gällande regler för
samverkansbroar, detta avgränsar
```

```

% vi dock i vårt arbete. Beräknar istället enligt bärande
    ekvation
% (S4-34), detta borde ge ett mindre gynnsamt fall
    eftersom detta inte
% räknar med att överflänsen är fast inspänd. Detta borde
    gälla för
% gjutstadiet.
% vippningsavstyvningen borde vara dimensionerad för
    gjutskedet och
% således överdimensionerad för den färdiga bron.

% Tröghetsmomenten för stålbalken kring svag axel
I_y(j) = (Flans_T_U(j)*Flans_B_U(j)^3 + Flans_T_N(j)*
    Flans_B_N(j)^3 + Liv_H(j)*Liv_T(j)^3) / 12;

% St. Venants vridtröghet
I_T(j) = (Flans_B_U(j)*Flans_T_U(j)^3 + Flans_B_N(j)*
    Flans_T_N(j)^3 + Liv_H(j)*Liv_T(j)^3) / 3;

% Välttröghet (för I-tvårsnitt med olika flänsar)
% Exakt formel: I_w = (I_y1*I_y2*h_s^2) / I_y
% där I_y1, I_y2 är flänsarnas bidrag till I_y var för
    sig
I_y1(j) = Flans_T_U(j) * Flans_B_U(j)^3 / 12;
    % Övre fläns
I_y2(j) = Flans_T_N(j) * Flans_B_N(j)^3 / 12;
    % Nedre fläns
h_s(j) = Liv_H(j) + Flans_T_U(j)/2 + Flans_T_N(j)/2;
    % Avstånd mellan flänsarnas tyngdpunkter
I_w(j) = (I_y1(j) * I_y2(j) * h_s(j)^2) / I_y(j);

% Knäcklängd

% M_cr
L_cr(j) = Lateralastod_cc(j);

M_cr(j) = (pi/L_cr(j)) * sqrt(E_stal*I_y(j) * (Gk_stal*I_T
    (j) + (pi^2*E_stal*I_w(j))/(L_cr(j)^2)));

Lambda_LT(j) = sqrt(M_pl_Rd(j)/M_cr(j));

alpha_LT = 0.76; % Enligt
    tabell SS-EN 1993-1-1:2005 tabell 6.3 och 6.5, kapitel
    6.3.2.3

beta_LT = 0.75; % Nationellt
    värde

Lambda_LT_0 = 0.4; % Nationellt

```

```
värde

% Följer ekvationer

phi_LT(j) = 0.5*(1+alpha_LT*(Lambda_LT(j)-Lambda_LT_0)+
    beta_LT*Lambda_LT(j).^2);

chi_LT(j) = 1/(phi_LT(j)+sqrt(phi_LT(j)^2-beta_LT*
    Lambda_LT(j)^2));

chi_LT_lim(j) = min(1,1./(Lambda_LT(j)^2));

% Kontroll av chi enligt ekvation 6.57

if chi_LT(j) > chi_LT_lim(j)
    chi_LT(j) = chi_LT_lim(j);
    fprintf('\nChi_LT justeras neråt')
else
    fprintf('\nChi_LT inom acceptabla gränser, ingen
        justering nödvändig')
end

M_b_Rd(j) = chi_LT(j) * M_pl_Rd_gjut(j);

fprintf('\nPlastisk momentkapacitet med hänsyn till
    vippning, enbart stålbalkar (gjutskede,
    dimensionerande)\n')
fprintf('M_b,Rd = %.4f MNm\n', M_b_Rd(j)/1e6)
fprintf('Krav: %.f MNm\n', M_Ed_gjut(j)/1e6)
fprintf('Avstånd vippningsavstyvning: %.fm\n',
    Lateralastod_cc(j))

% Tvärkraftskapacitet

% Kontroll av skjuvbuckling av stålbalkarna:

% Enligt SS-EN-1993-1-5:2006 (Sv), Kap 5.3

if Livavstyvning_cc(j)/Liv_H(j) >= 1
    kappa_tau(j) = 5.34 + 4*(Liv_H(j)/Livavstyvning_cc(j)
        )^2;
else
    kappa_tau(j) = 4 + 5.34*(Liv_H(j)/Livavstyvning_cc(j)
        )^2;
end

% Avstyvade liv bör kontrolleras för skjuvbuckling om hw/
    tw är större än 31/eta * epsilon *
```

```
% sqrt(kappa_tau), Kap 5.1
% Antar styva ändavstyvningar

eta = 1.2;

if Liv_H(j)/Liv_T(j) > (31/eta)*epsilon_liv(j)*sqrt(
    kappa_tau(j))
    fprintf('\nKontroll av skjuvbuckling måste genomföras
        \n')

    % Beräkning enligt bärande konstruktioner del 1

    % Beräkna plåtens slankhet: (S5-21)

    lambda_w(j) = (Liv_H(j)/Liv_T(j))/(37.4*epsilon_liv(j)
        )*sqrt(kappa_tau(j));

    if lambda_w(j) < 0.8/eta
        chi_w(j) = eta;
    elseif 0.8/eta <= lambda_w(j) && lambda_w(j) < 1.08
        chi_w(j) = 0.83/lambda_w(j);
    else
        chi_w(j) = 1.37/(0.7 + lambda_w(j));
    end

else
    fprintf('\nKontroll av skjuvbuckling är inte nödvä
        ndig, ingen risk!\n')
    chi_w(j) = 1;
end

V_bw_Rd(j) = chi_w(j)*Liv_H(j)*Liv_T(j)*f_yk/(sqrt(3)*1);
    % Gångar 1 representerar y_m1 (S5-20)

fprintf('V_bw,Rd = %.f kN', V_bw_Rd(j)/1e3)
fprintf('\nKrav: %.f kN\n', V_Ed(j)/1e3)
fprintf('Avstånd livavstyvning: %.fm\n', Livavstyvning_cc
    (j));

% Kontroll interaktion:
% Följer eurocode SS-EN 1994-2:2005 Kap 6.2.2.4

% Om den vertikala tvärkraften V_ed överstiger halva bärf
    örmågan V_rd
% tagen som det minsta av V_pl,Rd och V_b,Rd bör inverkan
    på bärförmåga
```

```
% för moment beaktas. Strukturen som behandlar tvärkarft
    under bruks- och
% gjutstadiet är identiska, nämligen bara stålbalkarna. I
    detta fallet
% kommer alltså bruksstadiet vara dimensionerande

% Beaktas med en reducerad hållfasthet för livet
% Ingen hänsyn bör tas till förändringen av läget för två
    rsnittets
% plastiska neutrallager orsakad av denna sträckgrä
    nsreduktion i livet.

V_Rd(j) = V_bw_Rd(j);

if V_Ed(j) > 0.5 * V_Rd(j)
    rho(j) = (2*V_Ed(j)/V_Rd(j) - 1)^2;

    % Reducerat liv
    Fy_liv_red(j) = Fy_liv(j) * (1 - rho(j));

    % Beräkna om M_pl_Rd med reducerat liv
    % PNA förändras inte enligt punkt 4!

    N_liv_t_red(j) = Liv_T(j) * h_tryck(j) * Fy_liv_red(j)
        );
    N_liv_d_red(j) = Liv_T(j) * h_drag(j) * Fy_liv_red(j)
        );

    M_VM_Rd(j) = N_betong(j)*z_betong(j) + N_fU(j)*z_fU(j)
        ) + ...
        N_liv_t_red(j)*z_liv_t(j) + N_liv_d_red(
            j)*z_liv_d(j) + N_fN(j)*z_fN(j);

    fprintf('Reduktion av momentkapacitet pga tvärkraft
        krävs, rho = %.4f\n', rho(j))
    fprintf('M_V,M,Rd = %.4f MNm\n', M_VM_Rd(j)/1e6)
else
    M_VM_Rd(j) = M_pl_Rd(j);
    fprintf('Ingen reduktion av momentkapacitet pga två
        rkraft krävs\n')
end

% Svetsbultar:

% Beräkna skjuvkraft vid svetsbultarnas liv

% Beräkna om svetsbultarna/betongen klarar av kraften
% (SS-EN 1994-2:2005 Kap. 6.6.3.1)
```

```

% Skjuvkraft:
S_c(j) = A_Pl_beff(j)*e0(j);

v_el_Ed(j) = (V_Ed(j)*S_c(j))/(I_sam(j)); % Ingen alpha i
      nämnaren eftersom I-sam redan är översatt till betong
      !

% Svetsbultarnas kapacitet:
fprintf('\nDimensionering av svetsbultar\n')

Yv = 1.25;

if 3 <= H_svetsbult/D_svetsbult && H_svetsbult/
    D_svetsbult <= 4
    alpha_svetsbult(j) = 0.2*(H_svetsbult/D_svetsbult +
        1);
else
    alpha_svetsbult(j) = 1;
end

P_rd(j) = min((0.8*fu_svetsbult*pi*(D_svetsbult^2)/4)*2/
    Yv, (0.29*alpha_svetsbult(j)*(D_svetsbult^2)*sqrt(f_ck*
    E_cm))*2/Yv);
% Multiplicerade med två eftersom det är två svetsbultar
% per rad.

% Antal rader som behövs:

n_rader_svetsbultar(j) = v_el_Ed(j)/P_rd(j);

fprintf('Antal rader som behövs per meter: %f (2 per rad)
    \n', n_rader_svetsbultar(j))

% Två bultar står jämsides enligt antagande för effektiv
% bredd:

c_avstand_svetsbult_langsled(j) = 1/(n_rader_svetsbultar(
    j));

fprintf('Svetsbultarnas centrummått i längdled: %f\n',
    c_avstand_svetsbult_langsled(j))
end

%% SLS
fprintf('\nSLS:\n
===== \n
===== \n')
for j = 1:2

```

```
if j==1
    fprintf('\nUPPLAG:\n
    =====\n
    n')
else
    fprintf('\nFÄLT:\n
    =====\n
    n')
end
% ANTAGANDE: Stadie 1, neutrallager i tyngdpunkten! (Betong
    konstant i tryck och ej sprucket!)

% Kontroll Stadie 1

% Yttröghetsmomentet redan beräknat, måste lägga till
    effekter från
% krypning och krympning! (Ingen sprickbildning som resultat
    av drag förekommer!)

%% Krypning

% Steg 1: beräkna kryptal

% Bärande del 1 B2-23, B2-19

RH = 80;

h0 = 2*A_P1/(2*H_P1+2*B_kb);

% I formeln anges h0 i mm!
phi_RH = (1 + ((1 - RH/100)/(0.1*(h0*1000)^(1/3)))*(35/(f_cm
    /1e6)^0.7))*(35/(f_cm/1e6))^0.2;

beta_fcm = 2.56; % För betong C35/45

beta_t0 = 0.488; % 28 dygn

phi_kryp = phi_RH * beta_fcm * beta_t0;

alpha_ef = E_stal/E_cm*(1+phi_kryp);

E_c_ef = E_cm/(1+phi_kryp);

%% Krympning

% Bärande del 1 B2-17

% epsilon_cd först:
```

```
% Tabellvärden kh som funktion av h0

h0_tabell = [0.100 0.200 0.300 0.500];
kh_tabell = [1.0 0.85 0.75 0.70];

kh = interp1(h0_tabell,kh_tabell, h0); % Interpolerar mellan
    tabellvärden!

% Sätter in gräns eftersom alla värden för h0 större än 500
    mm är 0.7!
if kh < 0.700
    kh = 0.700;
end

beta_RH = 0.756; % Tabellvärde B2.6 för 80% RF

epsilon_cdi = 0.335e-3; % Antar cementtyp N (Normalhärdande)

epsilon_cd = kh*beta_RH*epsilon_cdi;

% nu beräknar jag andra delen av konstanten, epsilon_ca

epsilon_ca = 0.0625e-3; % Tabellvärde för vår betongtyp

epsilon_cs = epsilon_cd + epsilon_ca;

% Beräknar nya tvärsnittskonstanter för användning vid
% deformationsberäkningar!

% Areor och tyngdpunkter. Stadie 1 gäller, neutralaxel =
    tyngdpunkt!

% Areor och tyngdpunkter

% Komposittvärsnitt
% Anledningen att armeringen delas med två beror på att
    A_armering gäller
% för hela tvärsnittet, men här kollar vi bara på den värst
    belastade
% balken och dess effektiva halva av körbanan.
A_ef(j) = A_Pl_beff(j) + A_Ib(j)*alpha_ef +(alpha_ef-1)*(
    A_armering_U/2 + A_armering_N/2);
Ytp_sam_ef(j) = (A_Pl_beff(j)*Ytp_Pl + A_Ib(j)*Ytp_Ib(j)*
    alpha_ef + (alpha_ef-1)*A_armering_U/2*Ytp_armering_U + (
    alpha_ef-1)*A_armering_N/2*Ytp_armering_N) / A_ef(j);
```

```
e0_ef(j) = Ytp_sam_ef(j)-Ytp_Pl;           % Avstånd mellan
    sammansatta och plattans tyngdpunkter
e1_ef(j) = Ytp_Ib(j)-Ytp_sam_ef(j);        % Avstånd mellan
    sammansatta och balkarnas tyngdpunkter
e2_ef(j) = Ytp_sam_ef(j)-Ytp_armering_N;    % Avstånd mellan
    sammansatta och nedre armeringens tyngdpunkter
e3_ef(j) = Ytp_sam_ef(j)-Ytp_armering_U;    % Avstånd mellan
    sammansatta och övre armeringens tyngdpunkter
e4_ef(j) = H_tot(j)-Ytp_sam_ef(j);          % Avstånd mellan
    sammansatta tyngdpunkten och nedersta punkten på balken

I_ef(j) = alpha_ef*I_Ib(j) + alpha_ef*A_Ib(j) * e1_ef(j)^2
    ...                                     % I-balk
    + I_Pl_beff(j)+A_Pl_beff(j)*e0_ef(j)^2 ...
    ...                                     % Platta
    + (alpha_ef-1)*(A_armering_N/2*e2_ef(j)^2+A_armering_U/2*
    e3_ef(j)^2);          % Armering

% Förebereadande beräkningar för tryckberäkning
% Krympkrafter

F_cs_N = E_armering*epsilon_cs*(A_armering_N/2); % Delar
    armeringsaren med två eftersom jag bara kollar på
    armeringen på ena halvan av körbanan!
F_cs_U = E_armering*epsilon_cs*(A_armering_U/2);

% Spänningsfördelning

z = [-Ytp_sam_ef(j), -e3_ef(j), -e2_ef(j), e4_ef(j)];
sigma(j,:) = (F_cs_N + F_cs_U)/A_ef(j) + ((-F_cs_N*e2_ef(j) -
    F_cs_U*e3_ef(j)+M_Ed(j))/I_ef(j)).*z;

% Kontroll av spänningar i balken!

% Justering för stålspänning:

sigma(j,2) = -F_cs_U/(A_armering_U/2) + alpha_ef*sigma(j,2);
sigma(j,3) = -F_cs_N/(A_armering_N/2) + alpha_ef*sigma(j,3);
sigma(j,4) = alpha_ef*sigma(j,4);

% Kontrollerar trycket!

if abs(sigma(j,1))>f_ck*0.45
    fprintf('\nVARNING SLS: Spänningen i tryckt betong för hö
        g, ej elastisk respons!\n')
else
    fprintf('\nTryck i betong OK\n')
```

```

end

if abs(sigma(j,2))>0.8*f_yk
    fprintf('\nVARNING SLS: Spänningen i övre armering för hö
        g, ej elastisk respons!\n')
else
    fprintf('\nTryck i övre armeringslager OK\n')
end

if abs(sigma(j,3))>0.8*f_yk
    fprintf('\nVARNING SLS: Spänningen i nedre armering för h
        ög, ej elastisk respons!\n')
else
    fprintf('\nTryck i nedre armeringslager OK\n')
end

if abs(sigma(j,4))>0.8*Fy_flans_N(j)
    fprintf('\nVARNING SLS: Spänningen i nedersta flänsen för
        hög, ej elastisk respons!\n')
else
    fprintf('\nTryck i nedersta flänsen OK\n')
end

fprintf('\nSpänning i nedersta flänsen:\n')
fprintf('  sigma = %.2f MPa\n', sigma(j,4)/1e6)
fprintf('  Krav   = %.2f MPa (0.8 * f_y = 0.8 * %.0f MPa)\n',
    0.8*Fy_flans_N(j)/1e6, Fy_flans_N(j)/1e6)
fprintf('  Utnyttjandegrad = %.1f %%\n', abs(sigma(j,4))
    /(0.8*Fy_flans_N(j))*100)

% Framtagande av konstanter för nedböjningsberäkning.

r_f(j) = 1/(E_c_ef*I_ef(j)); % Multipliceras med M i vidare
    beräkningar!
r_s(j) = (-F_cs_N*e2_ef(j) - F_cs_U*e3_ef(j))/(E_c_ef*I_ef(j)
    );

end

r_f_upplag = r_f(1);
r_f_falt = r_f(2);

r_s_upplag = r_s(1);
r_s_falt = r_s(2);

%{
fig = figure();
ax = axes(fig);

```

B.13. ULS- och SLS-beräkningar i längdled

```
daspect([1,1,1]);
xlim([-1 8])
ylim([-2.5 0.5])
hold on

rita_tvarsnitt('längdled fält', ax)

%}

>> Tvarsnittdata_sammansatt

ULS:
=====
=====

UPPLAG:
=====
SAMMANSATT TVÄRSNITT: PNA i livet på balk, OK
PNA = 0.6753 m (från betongöverkant)
ENBART STÅLBALKAR: PNA i livet, OK
PNA = 1.2124 m (från balkens överkant)

Armering är större än eller lika med delkravet för minimum,
    OK!

Antal armeringsstänger uppe/nere per fall för hela brobanan:
    78.000000

Övre fläns i tvärsnittsklass 1, plastisk analys OK!
Nedre fläns i tvärsnittsklass 1, plastisk analys OK!
Liv i tvärsnittsklass 1, plastisk analys OK!

Plastisk momentkapacitet för samverkanstvärsnittet
M_pl,Rd = 41.6361 MNm
Krav: 25 MNm

Plastisk momentkapacitet för enbart stålbalkar (gjutskede)
M_pl,Rd (gjutskede) = 18.0236 MNm

Chi_LT inom acceptabla gränser, ingen justering nödvändig
Plastisk momentkapacitet med hänsyn till vippning, enbart stå
    lbalkar (gjutskede, dimensionerande)
M_b,Rd = 13.4865 MNm
Krav: 10 MNm
Avstånd vippningsavstyvning: 6m

Kontroll av skjuvbuckling är inte nödvändig, ingen risk!
V_bw,Rd = 10825 kN
Krav: 3404 kN
```

Avstånd livavstyvning: 6m

Ingen reduktion av momentkapacitet pga tvärkraft krävs

Dimensionering av svetsbultar

Antal rader som behövs per meter: 6.823922 (2 per rad)

Svetsbultarnas centrummått i längdled: 0.146543

FÄLT:

=====

SAMMANSATT TVÄRSNITT: PNA i livet på balk, OK

PNA = 1.3044 m (från betongöverkant)

ENBART STÅLBALKAR: KONTROLLERAR: PNA i nedre fläns,

PNA = 1.2979 m (från balkens överkant)

Armering är större än eller lika med delkravet för minimum,
OK!

Antal armeringsstänger uppe/nere per fall för hela brobanan:
78.000000

Övre fläns i tvärsnittsklass 1, plastisk analys OK!

Nedre fläns i tvärsnittsklass 1, plastisk analys OK!

Liv i tvärsnittsklass 1, plastisk analys OK!

Plastisk momentkapacitet för samverkanstvärsnittet

$M_{pl,Rd} = 54.7458 \text{ MNm}$

Krav: 33 MNm

Plastisk momentkapacitet för enbart stålbalkar (gjutskede)

$M_{pl,Rd} \text{ (gjutskede)} = 18.3157 \text{ MNm}$

Chi_LT inom acceptabla gränser, ingen justering nödvändig

Plastisk momentkapacitet med hänsyn till vippning, enbart stå
lbalkar (gjutskede, dimensionerande)

$M_{b,Rd} = 14.6712 \text{ MNm}$

Krav: 14 MNm

Avstånd vippningsavstyvning: 6m

Kontroll av skjuvbuckling är inte nödvändig, ingen risk!

$V_{bw,Rd} = 10825 \text{ kN}$

Krav: 2000 kN

Avstånd livavstyvning: 6m

Ingen reduktion av momentkapacitet pga tvärkraft krävs

Dimensionering av svetsbultar

Antal rader som behövs per meter: 3.919152 (2 per rad)

Svetsbultarnas centrummått i längdled: 0.255157

SLS:

=====

UPPLAG:

=====

Tryck i betong OK

Tryck i övre armeringslager OK

Tryck i nedre armeringslager OK

Tryck i nedersta flänsen OK

Spänning i nedersta flänsen:

sigma = 256.51 MPa

Krav = 268.00 MPa ($0.8 * f_y = 0.8 * 335 \text{ MPa}$)

Utnyttjandegrad = 95.7 %

FÄLT:

=====

Tryck i betong OK

Tryck i övre armeringslager OK

Tryck i nedre armeringslager OK

Tryck i nedersta flänsen OK

Spänning i nedersta flänsen:

sigma = 267.14 MPa

Krav = 268.00 MPa ($0.8 * f_y = 0.8 * 335 \text{ MPa}$)

Utnyttjandegrad = 99.7 %

B.14

Svetsdimensionering

```
% Svetsar
addpath(genpath(pwd))
Geometri
Materialdata
Tvarsnittdata_sammansatt

%% Laster och indata
Ra = 3.404e6; % Max reaktionskraft [N]
qegen = 1.1363e5; % Platta, kantbalk, räcke (ej balk)[N/m]
Qpunkt = 1.107e6; % [N]
Ldack = 0.4; % lastfält punktlast från däck [m]
Qegen = qegen*Ldack; % [N]
Qtot = Qegen+Qpunkt; % Total last[N/m]
L_upplag = 0.47; % minsta lager [m]
V_Ed = 3.404e6; % Tärkraft vid stöd [N]
alpha_stal = E_cm/E_stal; % faktor för ekvivalent ståltvä
    rstnitt

gammaM2 = 1.25; % Partialkoeffecient
betaw = 0.9; % Korrelationsfaktor pga grundmaterial S355

%% Nedre svets
a_n = 0.015; % Nedre svetsens a-mått [m]
d_n = H_tot(1) - (Flans_T_N(1)/2) - Ytp_sam(1) % Avstånd flä
    ns t.p. till neutrallager [m]
S_n = Flans_B_N(1)*Flans_T_N(1)*d_n ; % Nedre flänsens
    statiska moment [m^3]

Sigma_ortogonal_n = Ra/(2*sqrt(2)*a_n*L_upplag)
Tau_ortogonal_n = Sigma_ortogonal_n;
Tau_parallell_n = (V_Ed*S_n)/(I_sam(1)*2*a_n);

sigma_eq_n = sqrt(Sigma_ortogonal_n^2+3*(Tau_ortogonal_n^2+
    Tau_parallell_n^2))
% Kontroll 1
Ko1_n = Fu_flans_N(1)/(gammaM2*betaw) % Kontroll sigmaeq
% Kontroll 2
Ko2_n = 0.9*Fu_flans_N(1)/gammaM2 % Kontroll sigma ortogonal

%% Uppe svets
a_u = 0.010; % övre svetsens a-mått [m]
d_u = abs(H_Pl + (Flans_T_U(1)/2)-Ytp_sam(1)); % Avstånd flä
    ns t.p. till neutrallager
d_betong_u = abs(Ytp_sam(1)-H_Pl/2); % Avstånd ekv. betong t.
    p. till neutrallager
```

```
S_u = Flans_B_U(1)*Flans_T_U(1)*d_u + H_Pl*B_kb*d_betong_u ;  
      % Övre flänsens statiska moment [m^3]  
  
Sigma_ortogonal_u = Qtot/(2*sqrt(2)*a_u*L_upplag)  
Tau_ortogonal_u   = Sigma_ortogonal_u;  
Tau_parallell_u   = (V_Ed*S_u)/(I_sam(1)*2*a_u);  
  
sigma_eq_ = sqrt(Sigma_ortogonal_u^2+3*(Tau_ortogonal_u^2+  
      Tau_parallell_u^2))  
% Kontroll 1  
Ko1_u = Fu_flans_U(1)/(gammaM2*betaw) % Kontroll sigmaeq  
% Kontroll 2  
Ko2_u = 0.9*Fu_flans_U(1)/gammaM2 % Kontroll sigma ortogonal
```

Appendix C – Teknisk beskrivning

Projekt Ostlänken	Ärendenummer	Namn OLE4200-21-010-42000-91_106-0003	
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 11.21.6 Teknisk beskrivning – Bärverk i bro Konstruktion 100-59698-1 Bro över väg vid Böksjö			Ändr. / Ändr. Datum

Ändring	Ändringen avser	Godkänd av (leverantör)	Ändr. Datum

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.....	15
B1. Vägtrafik.....	15
C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTION	16
C1. Befintlig mark och miljö.....	16
C1. Befintlig mark och miljö/Geoteknik.....	16
C1. Befintlig mark och miljö/Hydrogeologi	16
C1. Befintlig mark och miljö/Kulturmiljö	16
C1. Befintlig mark och miljö/Mark- och vattenförorening	16
C1. Befintlig mark och miljö/ Vegetation, jordmån.....	16
C1. Befintlig mark och miljö/Vibration, luftstöt, buller	16
D. VÄG	17
DC1. Räcke	17
DC1. Räcke/Broräcke	20
DC14. Övergång mellan räcken	20
G. BROKONSTRUKTION	21
G. Brokonstruktion/Vägbro	21
GB. Överbyggnad	24
GB.3 Platta på balk.....	Error! Bookmark not defined.
GB.7 Kantbalk	24
GC. Underbyggnad.....	25
GC1. Frontmur	Error! Bookmark not defined.

GC4. Bottenplatta	25
GC5. Ving- och stödmur	25
GF. Undergrund	25
GG. Beläggning.....	28
GG2. Tätskikt.....	29
GG3. Skyddslager	29
GH. Lager.....	30
GJ. Övergångskonstruktion.....	Error! Bookmark not defined.
GK. Avvattningsystem.....	30
GL. Komplettering	30
GL. Komplettering/Länkplatta	31
GM. Motfyllning, slänt och kon.....	32
GM1. Motfyllning	32
GM2. Slänt	32
X. DOKUMENTATION	33
X. Dokumentation/Digital projekthantering	34
XB. Projekteringsbeskrivning	36
XB. Projekteringsbeskrivning/Bro.....	38
XC. Bygghandling	39
XC. Bygghandling/Vägbro	40
XD. Slutdokumentation	42
XD2. Relationshandling	42
XD2. Relationshandling/Bro	43
Lista A. Brokonstruktion, X. Dokumentation och gemensamma kravdokument.....	45

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 väg E4 vid Böksjö, km 94+502.

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.

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

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.

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 väg vid Böksjö	100-59698-1	21455	· OLE4200-21-460-42000-94_94-0003 · OLE4200-21-460-42000-94_94-0004

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.

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.

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 1-4 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.

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.

Akrediterat 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.

Kontroll/Tillfälliga geokonstruktioner

Kontroll ska omfatta beräkning och provning. Beräkningarna ska resultera i en prognos av förväntade rörelser och laster till följd av de planerade markarbetena. Provning utförs genom kontrollmätning.

Kontrollmätningarnas omfattning ska baseras på prognoser framtagna genom beräkning och relateras till den tekniska lösning och produktionsmetod som väljs. Kontrollmätningar ska omfatta horisontell och vertikal rörelse av markytan, vid spontarbete ska även rörelser mot djupet mätas. Vidare ska laster och rörelser i spont, stag samt stämp kontrolleras i kritiska sektioner.

Begränsningsvärden avseende rörelser i stödkonstruktionen tas fram i samband med dimensionering. Två begränsningsvärden, larm- och gränsvärde, ska tillämpas för kontrollerna. Begränsningsvärdena ska redovisas i kontrollprogram som ska granskas och godkännas av beställaren innan arbetena får påbörjas. En åtgärdsplan ska upprättas i samband med framtagande av kontrollplanen vilken minst behandlar åtgärder vid överskridna larmvärden och akutåtgärder vid överstigna gränsvärden.

Om en total rörelse överstiger angivet larmvärde underrättas beställaren. De arbeten som orsakat rörelserna får inte bedrivas vidare förrän orsaken till överskridandet är utrett. Kontrollomfattningen ska i detta skede utökas.

Om en total rörelse överstiger gällande gränsvärde ska arbetet omedelbart stoppas. Arbetet får inte återupptas förrän förändrat arbetsförfarande eller felaktigt mätresultat utretts och förankrats hos beställaren.

Mätpunkter och mätare ska installeras. Vid skada på mätpunkt/mätare ska denna omgående ersättas med ny eller omgående åtgärdas.

Nollmätning av dubbar ska utföras som en dubbelavvägning. Prismor och reflexer nollmäts två gånger. För tillfälliga geokonstruktioner samt för nya mätpunkter/installerade givare utförs nollmätning omedelbart efter installation. Mätningar utförs därefter enligt av entreprenören upprättat kontrollprogram, uppmätta värden ska relateras till nollmätningens resultat. Mätfrekvens anpassas till pågående arbeten. Förtätad kontroll ska utföras vid/under arbetsmoment som kan innebära ökad risk eller då avvikande/oförväntade mätresultat registrerats.

Kontroll/Omgivningspåverkan och markrörelser

För att kontrollera och kunna följa upp att arbeten utförs på ett säkert sätt avseende omgivningspåverkan och markrörelser ska geotekniska kontrollprogram upprättas.

Kontrollen ska omfatta beräkning och provning. Beräkningarna ska resultera i en prognos av förväntade markrörelser till följd av planerade markarbeten. Provning utförs genom kontrollmätning. Kontrollmätningarnas omfattning ska baseras på prognoserna och relateras till den tekniska lösning och produktionsmetod som väljs. Två begränsningsvärden, larm- och gränsvärde, ska tillämpas för kontrollerna. Begränsningsvärdena ska redovisas i kontrollprogram som ska granskas och godkännas av beställaren innan arbetena får påbörjas. En åtgärdsplan ska upprättas i samband med framtagande av kontrollplanen vilken minst behandlar åtgärder vid överskridna larmvärden och akutåtgärder vid överstigna gränsvärden.

Kontrollmätningar ska omfatta horisontell och vertikal rörelse av markytan och riskobjekt. Då markrörelser på djupet kan påverka riskobjekt ska även rörelser på djupet kontrolleras. Mätningar av horisontella rörelser mot djupet ska utföras med fast monterad givare för kontinuerlig mätning och automatisk registrering. Givarna ska monteras på minst varannan meter ner till ett djup under markytan som väljs med hänsyn till bedömt påverkansdjup. Mätpunkter för horisontell rörelse mot djupet ska kompletteras med en intilliggande mätpunkt för horisontell och vertikal rörelse i markytan.

Kontrollmätning ska utföras inom bedömt influensområde av arbetena, influensområdet bedöms genom beräkningar eller konservativt valda erfarenhets värden. Minst ska alltid ett område om dubbla pållängden kontrolleras vid pålning.

Om en total rörelse överstiger angivet larmvärde underrättas beställaren. De arbeten som orsakat rörelserna får inte bedrivas vidare förrän orsaken till överskridandet är utrett. Kontrollomfattningen ska i detta skede utökas.

Om en total rörelse överstiger gällande gränsvärde ska arbetet omedelbart stoppas och beställaren underrättas. Arbetet får inte återupptas förrän förändrat arbetsförfarande eller felaktigt mätresultat utretts och förankrats hos beställaren.

Mätpunkter och mätare ska installeras. Vid skada på mätpunkt/mätare ska denna omgående ersättas med ny eller omgående åtgärdas. Vid t ex etappvis utbyggnad eller vid trafikomläggning för de arbetena med stöden ska om så erfordras mätpunkter flyttas och kompletteras. Mätning ska utföras både innan och direkt efter flytt för att erhålla kontinuerliga mätserier.

Installation och nollmätning ska utföras minst 14 arbetsdagar innan arbete påbörjas i närheten av aktuellt objekt. Nollmätning av dubbar ska utföras som en dubbelavvägning. Prismor och reflexer nollmäts två gånger. På nya mätpunkter/installerade givare utförs nollmätning omedelbart efter installation. Mätningar ska därefter utföras enligt upprättat kontrollprogram, uppmätta värden ska relateras till nollmätningens resultat.

Mätfrekvens anpassas till pågående arbeten. Förtätad kontroll ska utföras under arbetsmoment som kan innebära ökad risk eller då avvikande/oförväntade mätresultat registrerats.

Tidsperiod för uppföljningar är att kontrollmätning ska utföras i den omfattning som bedöms erforderlig med hänsyn till pågående arbeten. Mätningar ska pågå minst 3 månader efter att omgivningspåverkande markarbeten avslutats samt mark- och vattennivåer återställts. Om rörelser registreras under denna tid ska mätningar fortgå tills rörelserna avstannat.

Riskobjekten som minst ska omfattas är: väg E4, Böksjövägen, ledningar i mark samt luft och eventuella anläggningsdelar av Ostlänken som färdigställs innan arbetet med aktuell bro påbörjas.

Kontroll/Portryck

I samband med entreprenadarbeten såsom schaktarbeten och arbeten som medför stötar, slag eller vibrationer finns risk för omgivningspåverkan i form av portrycksförändringar. Portrycksförändringar kan påverka stabilitetsförhållandena och därför ska portrycksutvecklingen följas vid denna typ av arbeten.

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 E4 uppskattas till ca. 35 fordon (2045) varav tung trafik utgör ca. 4 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	30	35	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/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, 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 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 täcksiktets 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 räckets 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, täcksikt 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.

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.

Det ska finnas en möjlighet för framtida breddning av väg E4 med ytterligare ett körfält på båda sidor.

Minsta fri höjd över underliggande väg ska vara 5,1 m och ska gälla även för framtida körfält efter breddning av väg E4.

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 profflinjen 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.

Betonggjutning ska utföras i torrhet.

Kemiska produkter ska uppfylla de krav på som framgår av TDOK 2010:310 "Kemiska produkter – granskningskriterier och krav för Trafikverket", avsnitt 5.1.

Material och varor ska uppfylla de krav som framgår av TDOK 2012:22 "Material och varor – krav och kriterier avseende innehåll av farliga ämnen", avsnitt 5.2.

Armeringen i brokonstruktionen ska uppfylla krav enligt AMA Anläggning. Text i AMA gäller med följande tillägg:

Krav på maximalt utsläpp av CO₂e för ospänd armering

Levererad bearbetad armering ska uppfylla krav på maximalt utsläpp av kg CO₂e enligt Tabell TRV EBC.11/1.

Tabell TRV EBC.11/1 Krav på maximalt utsläpp kg CO₂e 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 CO₂e för fabriksblandad betong

Levererad betong ska uppfylla krav på maximalt utsläpp av kg CO₂e enligt Tabell TRV RA EBE.1/1.

Tabell TRV RA EBE.1/1. Krav på maximalt utsläpp kg CO₂e 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.

Teknisk lösning/Formsättning

Kantbalkar ska formsättas med en slät form, typ plyfa, samt med väv eller duk.

Synliga ytor i överbyggnaden formsätts med liggande brädor med en bredd på max 95 mm. Ej synliga ytor formsätts med valfri form.

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
- synliga ytor av broöverbyggnad

Klotterskydd ska anpassas till valt system för impregnering.

Kontroll

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.

GB. Överbyggnad**GB.7 Kantbalk****Teknisk lösning**

Utformning enligt *Figur (GB.7) 1*.

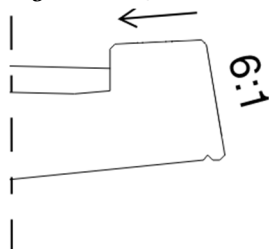
Kantbalkar ska utföras upphöjda.

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.

Överyta på trafikerad bottenplatta samt bottenplatta i vägmiljö ska förses med tätskikt enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" avsnitt 6.2.7.1.4.

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.

GF. Undergrund

Funktion

För geotekniska förutsättningar se handling 13.50GT.1 MUR-Geoteknik, OLE4200-50GT-025-42000-91_106-1001.

För hydrogeologiska förutsättningar se handling 13.50GT.3 MUR – Hydrogeologi, OLE4200-50GT-025-42000-91_106-1002.

Jordschakt för grundläggning av bro ska utföras enligt AMA Anläggning CBB.51.

Vid schaktarbetet ska jordens egenskaper beaktas.

Grundläggningen ska dimensioneras enligt "Krav Geokonstruktion, dimensionering och utformning" och "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" i geoteknisk kategori 3 (GK3), med hänsyn till närheten till E4:an, samt i säkerhetsklass 3 (SK3).

Beräkningar i brott- och bruksgräns utförs med parametrar enligt *Tabell (GF).1*. Angivna parametrar gäller för dimensionering av brogrundläggning. Omräkningsfaktorn η ska sättas till 1,0 i samtliga stöd.

För dränerad hållfasthet gäller $\gamma_M=1,3$. För tunghet och styvhet gäller $\gamma_M=1,0$.

Tabell (GF).1 Jordparametrar för kalkyl

Nivå [RH2000] (Djup [m])	Jordlager	Egenskap	Valda värden, $\bar{X}$	Tjälfarlighets klass
-----------------------------	-----------	----------	-------------------------	-------------------------

Från +73 Till +70	saSi	Tunghet	$\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 20 \text{ kN/m}^3$	4
		Dränerad hållfasthet / Styvhet	$\phi' = 31^\circ$ $E = 12 \text{ MPa}$	
Från +70 Till +65	saSi / siCl*	Tunghet	$\gamma_k = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 19 \text{ kN/m}^3$	4
		Odränerad hållfasthet	$C_u = 15 \text{ kPa}^*$	
		Dränerad hållfasthet / Styvhet	$\phi' = 29^\circ$ $E = 5 \text{ MPa}$	
Från +65 Till +61	siSa	Tunghet	$\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 20 \text{ kN/m}^3$	3
		Odränerad hållfasthet	$C_u = 20 \text{ kPa}^*$	
		Dränerad hållfasthet / Styvhet	$\phi' = 34^\circ$ $E = 10 \text{ MPa}$	
Från +65 Till berg	siSa	Tunghet	$\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 20 \text{ kN/m}^3$	3
		Dränerad hållfasthet / Styvhet	$\phi' = 37^\circ$ $E = 30 \text{ MPa}$	

Vid utförda jord-bergsonderingar har berg påträffats på cirka 10 till 11,5 m djup under markytan.

Vid bortledning av grundvatten är lägsta tillåtna nivå för grundvattenbortledning +66 (RH2000) i ansökan om vattenverksamhet enligt 11 kap Miljöbalken. Grundvattensänkning ska ske i enlighet med ansökan.

Teknisk lösning/Pålning

Brostöd ska förutsättas pågrundläggas.

Anslutande vägbank grundläggs på massutskiftning samt med tidig utläggning av vägbanken.

Uppfyllnaden av de anslutande bankarna kommer att ge upphov till sättningar hos jorden, även under brofundament och stödmurar. Pålar för såväl brostöd som anslutande stödmurar ska därför dimensioneras för uppkommande påhängslaster, ("negativ mantelfriktion").

För pålar inom mindre avstånd från den opålade fyllningen än motsvarande halva jorddjupet, ska påhängslast antas uppkomma längs hela pålens längd, ner till morän eller berg.

Påhängslastens storlek ska beräknas i enlighet med Pålkommisionens rapport 106 och rapport 103, (axiell last).

Påverkan av sättningar på eventuellt lutande pålar ska beräknas i enlighet med Pålkommisionens rapport 101.

Eventuell grundvattensänkning ska utföras enligt AMA Anläggning och kod BCB.13.

Minsta avstånd till tjällyftande jord ska utföras i enlighet med krav K157098 i ”Krav Geokonstruktion, dimensionering och utformning”, med justerad referens till AMA Anläggning 23 och inte AMA Anläggning 20.

Kontroll

Entreprenören ansvarar för att ta fram och följa upp tilläggskontrollplaner för pålning och pålelement.

Geoteknisk kontroll ska utföras enligt av entreprenören upprättad kontrollplan. För samtliga geotekniska kontroller ska entreprenören ha en sakkunnig geotekniker, som svarar för handläggning, geotekniska undersökningar, värderingar och kontroller under hela utförandeskedet. Entreprenörens sakkunnige geotekniker ska vara godkänd av beställaren.

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		
Utförandeår >	2025 - 2026	2027 - 2029	2030
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 förses 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.

GH. Lager

Teknisk lösning

Brostöden ska förses med CE märkta lager.

Brolager ska ha avsedd teknisk livslängd av minst 50 år.

GK. Avvattningssystem

Omfattning

Krav avser dränering och avvattning av brobaneplatta.

Dräneringssystem enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" avsnitt 6.2.8.3.

Ytavlopp ska utföras enligt "Krav Bro och broliknande konstruktion, Byggande" avsnitt 6.2.9.2.

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.

Teknisk lösning/Ytavlopp

Ytavlopp och stuprör ska utföras med antingen cirkulärt eller kvadratisk tvärsnitt.

Ytavlopp och stuprör 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/Länkplatta

Funktion

Bron ska försees med länkplattor.

GM. Motfyllning, slänt och kon

GM1. Motfyllning

Funktion

Motfyllning får inte utföras på ett sådant sätt att det medför förskjutning.

Motfyllning mot ving- och stödmurar får inte medföra oönskad deformation.

Teknisk lösning

Motfyllningar ska utföras med omfattning och släntlutningar enligt skisser.

Fyllning mot bro samt ving- och stödmurar ska utföras enligt AMA
Anläggning CEB.52 med tillämplig underkod.

GM2. Slänt

Teknisk lösning

Slänterna får inte utföras med brantare lutning än vad som anges på skisser.

Ytor ska upplevas jämna vid okulär betraktelse.

Slänten bakom vingmuren vid stöd 1, där utsläpp av ytvattnet från bron sker via stuprör, ska förses med en rännedal av betong eller markplattor för att förhindra erosion.

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.

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.

- 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. Beställarens 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
- 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 digitalt per e-post eller till projektets databas där så krävs. När handlingar läggs in i projektets databas för kontroll så ska den kontrollerande enheten aviseras per e-post om att handlingarna för kontroll lagts in i databasen.
- 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, tillfälliga stödkonstruktioner och temporära erosionsskydd e.d.

XC. Bygghandling/Grundläggning

En skriftlig redovisning ska upprättas för metodval av grundläggningsarbeten med tillhörande arbetsbeskrivningar, hur installation av eventuella temporära stödkonstruktioner samt schaktarbete avses utföras.

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.

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. Brokonstruktion, 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

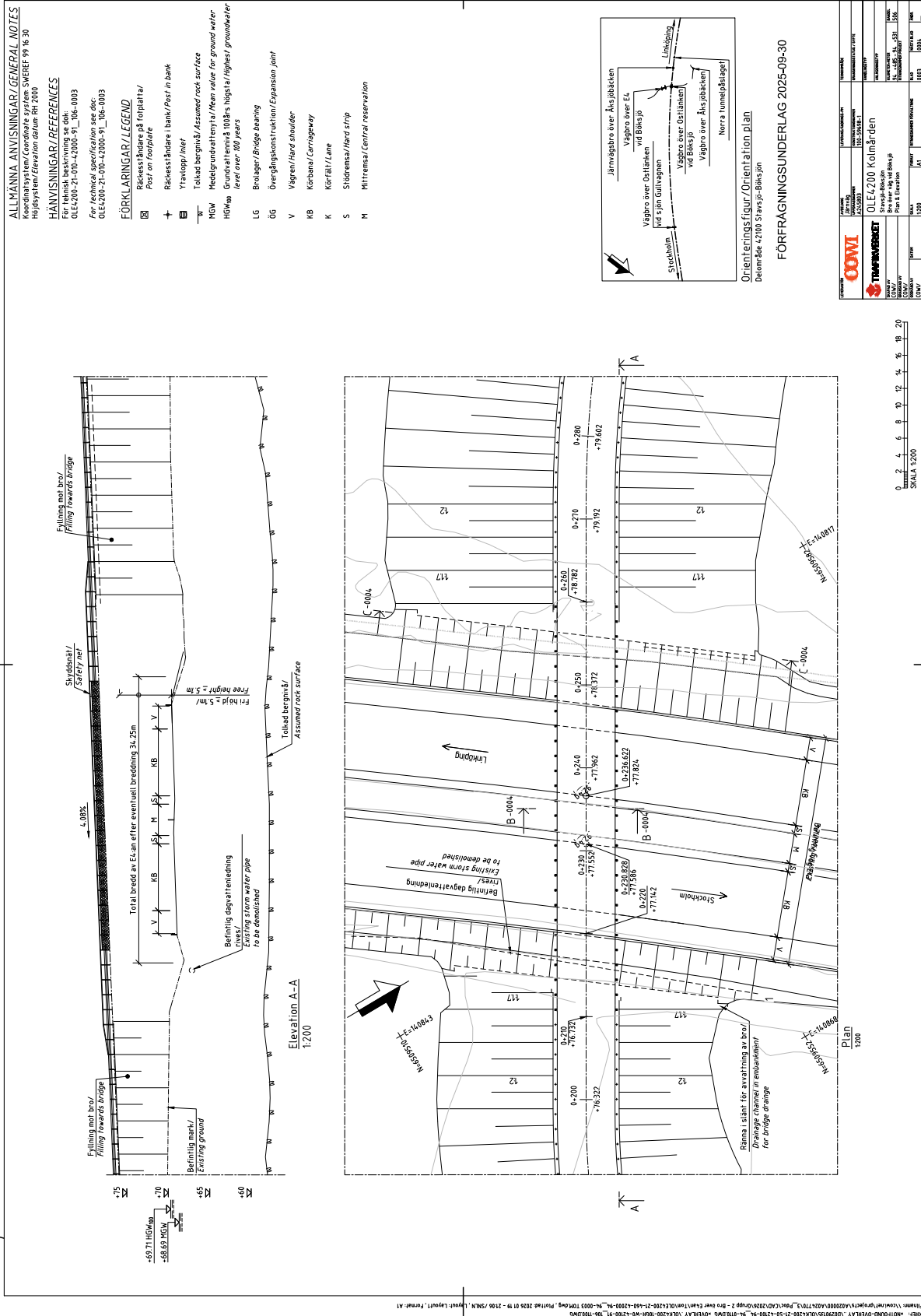
Benämning i TB	Dokument-id	Titel
"Instruktion delning och leverans av produktdokument, Ostlänken"	TDOK 2023:0080	Version 1.0
"Instruktion namnkonvention och metadata, Ostlänken"	TDOK 2023:0106	Version 1.0
"Digital projekthantering"	TDOK 2012:35	Digital projekthantering, version 8.0
"Namnrutor på ritningar – 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

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

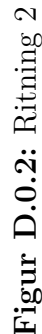
Dokumentegenskaper, Ärendenummer TRV2023/41026, Skapat av H. Jumppanen, Dokumentdatum 2025-09-30, Dokumenttyp BLANKETT, Konfidentialitetsnivå [Konfidentialitetsnivå].

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.

Appendix D – Ritningar



Figur D.0.1: Ritning 1



INSTITUTIONEN FÖR något ämne
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige
www.chalmers.se



CHALMERS