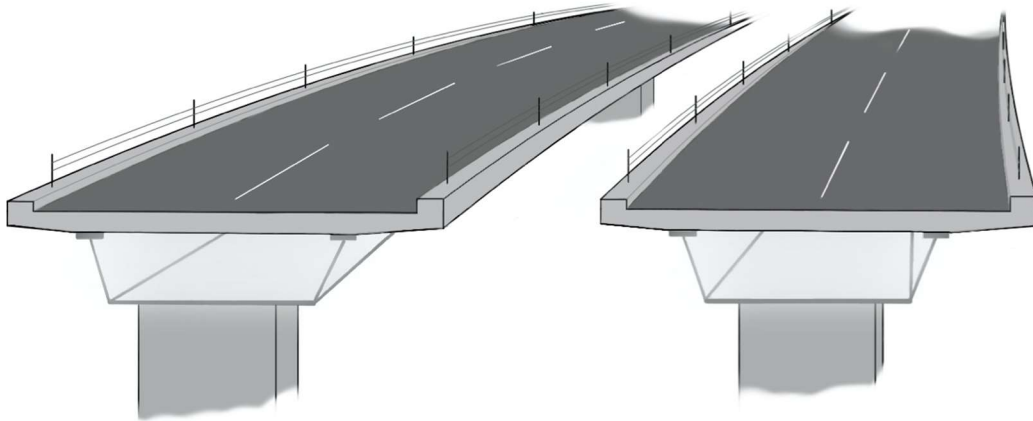




CHALMERS



Projektering av motorvägsbro i Ulricehamn – En del av riksväg 40

Förstudie och preliminär dimensionering

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

Julia Appelkvist
Erik Danielsson
Viktor Kjellsson
Hugo von Kraemer
Borik Ronnby
Elsa Svensson

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se



CHALMERS

Projektering av motorvägsbro i Ulricehamn - En del av riksväg 40

Förstudie och preliminär dimensionering

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

ACEX10-22-52

Julia Appelkvist

Erik Danielsson

Viktor Kjellsson

Hugo von Kraemer

Borik Ronnby

Elsa Svensson

Projektering av motorvägsbro i Ulricehamn - En del av riksväg 40
Förstudie och preliminär dimensionering

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

JULIA APPELKVIST
ERIK DANIELSSON
VIKTOR KJELLSSON
HUGO VON KRAEMER
BORIK RONNBY
ELSA SVENSSON

© APPELKVIST JULIA, 2022

© DANIELSSON ERIK, 2022

© KJELLSSON VIKTOR, 2022

© VON KRAEMER HUGO, 2022

© RONNBY BORIK, 2022

© SVENSSON ELSA, 2022

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola, 2022

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

Omslag: Skiss över föreslagen utformning av bron.
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2022

Projektering av motorvägsbro i Ulricehamn - En del av riksväg 40
Förstudie och preliminär dimensionering
Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik
JULIA APPELKVIST
ERIK DANIELSSON
VIKTOR KJELLSSON
HUGO VON KRAEMER
BORIK RONNBY
ELSA SVENSSON
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Riksväg 40 mellan Borås och Ulricehamn är i behov av utbyggnad på grund av en kombination av ökad trafikmängd och låg trafiksäkerhet. Det har därmed beslutats att en ny dragning av riksväg 40 genom Ulricehamn ska ske, norr om den befintliga. I samband med den nya dragningen behöver ett antal nya motorvägsbroar byggas. En av dessa är en bro med en längd på 320 meter, placerad intill Karlsnäs industriområde. Ett förslag på ett väl lämpat brokoncept och dess preliminära utformning ska i denna rapport tas fram.

Rapporten behandlar inledningsvis en förstudie där platsens förutsättningar och krav från beställaren studeras. Därefter tas olika brokoncept fram och utvärderas efter de givna förutsättningarna. Det bäst lämpade brokonceptet väljs ut genom att koncepten viktas mot varandra med hjälp av uppsatta kriterier. Dessa kriterier baseras på tre olika perspektiv som är av intresse under en broprojektering; beställare, produktion och förvaltning.

När endast ett koncept återstår inleds nästa skede av projekteringen - den preliminära dimensioneringen, där konceptet vidareutvecklas. I denna del av rapporten görs beräkningar i brott- och bruksgränstillstånd iterativt för att åstadkomma en preliminär utformning av bron vars kapacitet klarar av lasterna som den beräknas utsättas för.

Avslutningsvis presenteras ett förslag på en samverkansbro med en lådbalk i stål och en brobana i betong. Konceptet innefattar fyra stöd med en maximal spännvidd på 70 meter. Det preliminära tvärsnittet som föreslås är en 0,31 meter hög betongbrobana och undertill en 3,0 meter hög ställåda.

Nyckelord: preliminär dimensionering, broprojektering, broproduktion, broförvaltning, samverkansbro, motorvägsbro, riksväg 40, Ulricehamn, Karlsnäs industriområde

Design of a highway bridge in Ulricehamn - A part of national highway 40
Prestudy and preliminary dimensioning

Bachelor's thesis in Civil Engineering

JULIA APPELKVIST

ERIK DANIELSSON

VIKTOR KJELLSSON

HUGO VON KRAEMER

BORIK RONNBY

ELSA SVENSSON

Department of Architecture and Civil Engineering

Chalmers University of Technology

Abstract

Due to a combination of a high traffic volume and poor road safety, the Swedish national highway 40 (riksväg 40) is in need of an expansion. It has been decided that a new stretch of road, through the city of Ulricehamn, should be constructed north of the existing one. To complete the new stretch, a number of bridges will have to be constructed. One of these bridges will be located next to Karlsnäs industrial area and will have a total length of 320 m. A preliminary design of this bridge is presented in this report.

To begin with, an initial study is conducted in which the site characteristics and the client's specification of requirements are considered. Subsequently, a large number of bridge concepts are produced and evaluated according to adequate criteria to find the one that is the most well-suited. The criteria are based upon three different perspectives in project planning of a bridge - client, construction and maintenance.

With one concept remaining, the next phase of the project planning – the preliminary design process begins, in which the remaining concept is being further developed. In the preliminary design process, calculations in ultimate and serviceability limit states are conducted to verify the performance of the bridge.

Lastly, the proposal - a composite bridge with a box girder of steel and bridge deck of concrete, is presented. The bridge will be supported by four piers resulting in spans of 70 m at most. The preliminary section proposed is a 0.31 m high bridge deck on top of a steel box girder with a height of 3 m.

Key words: preliminary design, bridge project planning, bridge construction, bridge maintenance, highway bridge, national highway 40, Ulricehamn, Karlsnäs industrial area

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Problemformulering	1
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Metod	2
1.6	Samhälleliga och etiska aspekter	2
2	Förutsättningar	3
2.1	Topografi	3
2.2	Geoteknik	3
2.3	Vägtrafik	3
3	Underlag för urval	4
3.1	Konstruktionsmaterial	4
3.1.1	Trä	4
3.1.2	Armerad betong	5
3.1.3	Stål	5
3.2	Produktion	6
3.3	Förvaltning	6
3.4	Brotyper	7
3.4.1	Plattbro	7
3.4.2	Balkbro	7
3.4.3	Fackverksbro	8
3.4.4	Hängbro	8
3.4.5	Bågbro	8
3.4.6	Snedkabelbro	9
3.4.7	Valvbro	9
3.4.8	Rörbro	9
3.4.9	Rambro	9
3.5	Uteslutning av brotyper och material	9
4	Urvalsprocessen	10
4.1	Preliminära koncept	10
4.2	Utvärdering av preliminära koncept	12
4.2.1	Kriterier	13
4.2.2	Betygsättning av koncept	13
4.3	Brokoncept för noggrannare utvärdering	14
4.3.1	Koncept 1 - Balkbro i betong	14
4.3.2	Koncept 2 - Lådbalkbro i betong med konsolutbyggnad	15
4.3.3	Koncept 3 - Samverkansbro med lådbalk i stål och brobana i betong	15
4.3.4	Koncept 9 - Snedkabelbro i stål med en pylon	16
4.4	Risakanalys	17

4.5	Utvärdering av kvarstående koncept	17
4.5.1	Utvärderingskriterier	18
4.5.2	Betygsättning av kvarvarande koncept	18
4.5.3	Utvärdering av slutgiltigt brokoncept	19
5	Slutgiltigt brokoncept	20
5.1	Antal brobanor	20
5.2	Antal stöd	21
5.3	Grundläggning	21
5.4	Landfästen, lager och övergångskonstruktioner	21
5.5	Vattenavledning	23
5.6	Brobeläggning och räckesutformning	23
5.7	Produktionsplan	23
5.8	Förvaltningsplan	24
6	Preliminära beräkningar	25
6.1	Beräkningsmodell	25
6.2	Lastfall	25
6.3	Tvårsnitt	26
6.4	Avstyvningar	27
6.5	Samverkan	27
6.6	Stöd	28
7	Diskussion	29
8	Slutsats	30
	Referenser	31
A	Teknisk Beskrivning	33
B	Förfrågningsunderlag	58
C	Risکانالیز	59
D	Beräkningar temperaturutvidgning längsled	64
E	Lastfall	65
F	Beräkningar för bron i tvärled	98
G	Beräkningar för bron i längsled	108
H	Dimensionering av längsgående skjuvförbindare	118
I	Dimensionering av stöd	120

Förord

Detta kandidatarbete har under vårterminen 2022 skrivits av sex civilingenjörstudenter inom samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Det har varit ett väldigt lärorikt arbete med en blandning av inspirerande gästföreläsningar och studiebesök.

Arbetet hade varit svårt att genomföra utan den handledning vi fått. Vi vill därmed tacka vår handledare Mario Plos för givande konsultationer, stöd till gruppen och för det väl genomförda upplägget med föreläsningar och studiebesök.

Vi vill även rikta ett stort tack till Marcus Davidson på COWI som har varit en del av handledningen och ställt upp i alla lägen för att vägleda gruppen under arbetets gång.

*Julia Appelkvist
Erik Danielsson
Viktor Kjellsson
Hugo von Kraemer
Borik Ronnby
Elsa Svensson*
Göteborg, 12 maj 2022

Ordlista

Boggilast - Den samlade tyngden som överförs till vägen från två hjulaxlar på ett fordon

Brobana - Den del av brons överbyggnad där trafiken går

Brodäck - Del av överbyggnad som bärs upp av huvudbalkar

Buckling - Instabilitetsfenomen som uppstår vid slanka tryckta element

Byglar - Vanlig utformning av tvärkraftsarmering

CALFEM - Beräkningsverktyg i MATLAB

Eurokod - Europas gemensamma dimensioneringsregler för bärverk

Exponeringsklass - Klassificering av beständighet i en specifik miljö **Fog** - Typ av övergångskonstruktion som tillåter längdutvidgning på bro

Formbyggnad - Konstruering av gjutformar till betong

Formvagn - Form för gjutning av överbyggnad i betong som flyttas framåt när betongen härdar

Friktionsjord - Jord där friktionen mellan partiklarna utgör det viktigaste motståndet vid skjuvspänning

Fristående landfäste - Ändstöd där överbyggnaden placeras på lager

Frontmur - Den del av landfästet som är placerad i tvärlängd

Frostsprängning - Vatten tränger in i betongen genom befintliga sprickor och porer som sedan fryser till is och volymökningen leder till ytterligare sprickor

Förspänd betong - Betong vars armering spänns ut före belastning med nyttigt last

Geopolymer - En oorganisk polymer

Grusskift - Del av landfäste som ansluts till brobaneplattan med övergångskonstruktion och placeras mellan lagerpallen och brobanan

Huvudbärverk - Konstruktion som primärt bär last i brons längsriktning och överför lasten till undre bärverk

Kantbalk - Upphöjning längs med brons kanter som räcken placeras på

Karbonatisering - Koldioxid i luften reagerar med kalciumhydroxid i betongen och bildar kalciumkarbonat som försurar betongen vilket ökar risken för armeringskorrosion

Kloridinträngning - Klorider tränger igenom betongens täcksikt och påverkar armeringskorrosionen

Klätterform - Betongform som flyttas utmed gjutningen och återanvänds

Koldioxidekvivalent - Ett gemensamt mått för alla olika utsläpp av växthusgaser

Konsolutbyggnad - Uppbyggnad av bro från olika håll med hjälp av konsolstöd

Krympning - Volymminskning på grund av främst minskat fuktinnehåll i materialet

Lager - Ger bron rörelsemöjligheter och för ner laster från överbyggnaden till brons fundament

Lagerpall - Del av landfäste där lagren placeras

Landfäste - Del av underbyggnad till bro som utgör upplag för brobärverkets ändar, samt anordning för tillfart till bron

Lansering - Bron byggs vid sidan och placeras på stöden genom att bron

successivt skjuts ut från land

Lateralplan - Planet som spänner upp mellan pylon och brobanan i längsled

Mantel - En påles omslutande yta

Mantelbärande påle - Påle vars last tas upp av friktionen mellan den omgivande jorden och pålens mantel

Materialutmattning - Försvagat material på grund av upprepade lastvariationer

Ortotropt - Olika materialegenskaper i tre olika riktningar, longitudinellt, radiellt och tangentiellt

Portlandcement - Den vanligast förekommande typen av cement

Prefabricerade element - Förtillverkade konstruktionsdelar

Pylon - Torn för infästning av bronns kablar, som bär ner laster från kablar till grunden

Redundans - Feltolerans i konstruktion

Sekundärbärverk - Bärverk som sekundärt bär laster och överför dessa till huvudbärverket

Sekundärt stål - Stål som producerats av återvunnet stål

Siltig finsand - Jordart där finsand dominerar och silt är den näst största fraktionen

Skevning - Lutning i tvärgående riktning

Skjuvförbindare - Svetsbultar som svetsas fast på stålbalken och gjuts fast i betongplattan för kraftöverföring mellan stål och betong

Spetsbärande påle - Påle som drivs ner till berg och lasten överförs direkt till berggrunden

Spännvidd - Avstånd mellan två intilliggande upplag

Svällning - Ökning av träets volym på grund av ökad fuktkvot

Teknisk livslängd - Den tid som en konstruktion tekniskt går att använda

Täckande betongskikt - Lager av enbart betong längst ut på element för att skydda armering från främst korrosion

Underbyggnad - Delar av bro som är belägna nedanför lager till och med underkant av bottenplatta

Vingmur - Del av landfäste placerad i bronns och vägens längsriktning

Vippning - Instabilitetsfenomen där tryckt element böjer ut i sidled

Vridstyvhet - Förmåga att motstå ett vridande moment

Vägbank - Fyllnadsmaterial som ger upphöjning av markytan och stöd för vägen

Årsmedeldygnstrafik - Det genomsnittliga antalet fordon som förväntas trafikera vägen under ett dygn

Överbyggnad - Del av bro som upptar trafiklast, brobränneplatta och lager

Övergångskonstruktion - Brodetalj som sitter i bronns båda ändar för att hantera längdutvidgningar i bron

Teckenlista

α	Tryckblocksfaktor för beräkning i brottgränstillstånd, längdutvidgningskoefficient, vinkel
α_{eff}	Omvandlingskoefficient med inverkan av krypning
α_{ekv}	Värde på förhållandet mellan armeringsstålets och betongens E-modul
α_h	Reduktionsfaktor beroende av längd eller höjd
α_m	Reduktionsfaktor beroende på antalet samverkande konstruktionsdelar
β	Tryckblocksfaktor för beräkning i brottgränstillstånd, faktor som beaktar krökningsfördelning
$\beta(f_{cm})$	Faktor med hänsyn till hållfastheten hos betongen
$\beta(t_0)$	Faktor med hänsyn till betongens ålder vid pålastning
β_{RH}	Faktor som beaktar omgivningens relativa luftfuktighet
γ	Tunghet
γ_c	Partialkoefficient, betong
γ_s	Partialkoefficient, armeringsstål
γ_v	Partialkoefficient, skjuvförbindare
ΔC_{dev}	Tolerans, tillåten måttavvikelse
ΔL	Längdskillnad
ΔT	Temperaturskillnad
ε_{ca}	Autogen krympning
ε_{cd}	Uttorkningskrympning
ε_{cdi}	Grundvärde för uttorkningskrympning
ε_{cm}	Medeltöjning i betongen vid krympning
ε_{cs}	Töjning i betongen vid krympning
ε_{cu}	Betongens brottstukning
ε_{sm}	Medeltöjning i armeringsstålet vid krympning
ε_{syd}	Dimensionerande flyttöjning
η	Stålkoefficient
θ_0	Initiallutning, grundvärde
θ_i	Initiallutning, oavsiktlig
κ_τ	Bucklingskoefficient
λ	Slankhetstal
λ_{lim}	Gränsvärde, rekommenderat värde
$\bar{\lambda}_w$	Livplåtens slankhet
ρ	Densitet
$\rho_{p,eff}$	Effektivt armeringsinnehåll
σ	Normalspänning
τ_{cr}	Kritisk skjuvbucklingsspänning
ϕ	Diameter på armeringsjärn
φ_{ef}	Effektivt kryptal
φ_{RH}	Faktor som påverkas av relativ luftfuktighet
$\varphi(\infty, t_0)$	Slutgiltigt kryptal
χ_w	Skjuvbucklingskoefficient

a	Avstånd mellan avstyvningar
b_{eff}	Bredd på effektiv betongarea
cc	Centrumavstånd mellan dragarmering
cc'	Centrumavstånd mellan tryckarmering
cc_{arm}	Centrumavstånd mellan drag- och tryckarmering
c_{min}	Minsta mått på täckande betongtäcksikt
d	Effektiv höjd
d'	Avstånd från ovankant till tryckt armering
e_i	Första ordningens excentricitet
e_{min}	Minsta excentricitet
f_{cd}	Dimensionerande tryckhållfasthet, betong
f_{ck}	Karakteristisk tryckhållfasthet, betong
f_{cm}	Medeltryckhållfasthet, betong
$f_{ctk0,05}$	Karakteristisk draghållfasthet för betong, 5% - fraktil
f_{ctm}	Medeldraghållfasthet, betong
$f_{ctm,fl}$	Böjdraghållfasthet, betong
f_u	Brotthållfasthet, skjuvförbindare
f_{yd}	Dimensionerande sträckgräns
f_{yk}	Karakteristisk hållfasthet
f_{ywd}	Dimensionerande sträckgräns tvärrarmering
h_0	Tvärsnittets nominella tjocklek
h_{btg}	Höjd på betongtvärsnittet
$h_{c,eff}$	Höjd på effektiv betongarea
i	Tröghetsradie
l	Konstruktionsdelens längd
l_0	Knäcklängd
n	Antal armeringsjärn
$s_{l,max}$	Maximalt centrumavstånd mellan armeringen i längsled
$s_{r,max}$	Karakteristiskt sprickavstånd
$s_{t,max}$	Maximalt avstånd mellan tvärrarmeringens skänklar
u	Omkrets av tvärsnittsdelen som utsätts för uttorkning
ν	Poissons tal
w	Nedböjning
w_k	Sprickbredd
x	Tryckzonshöjd
x_{tp}	Tyngdpunkt
z	Inre hävarm
A	Bruttotvärsnittsarea, hela tvärsnittet räknas som betong
$A_{btg,eff}$	Effektiv betongarea
A_c	Area på betongen i det armerade tvärsnittet
A_s	Total tvärsnittsarea på armeringen i dragzonen
A_{si}	Tvärsnittsarea för ett armeringsjärn
A'_s	Total tvärsnittsarea på armeringen i tryckzonen
E_{cd}	Dimensionerande elasticitetsmodul för betong
E_{cm}	Elasticitetsmodul för betong (medelvärde)

E_s	Elasticitetsmodul, stål
EI	Böjstyvhet
G	Egentyngd
I	Yttröghetsmoment
I_c	Yttröghetsmoment, osprucket betongtvärsnitt
I_s	Yttröghetsmoment, armering
L	Längd
M_{0Ed}	Lasteffekt, första ordningens moment
M_{0Eqp}	Lasteffekt, första ordningens moment vid långtidslast
M_{Ed}	Lasteffekt, moment
M_{Rd}	Lastkapacitet, moment
N_B	Knäcklast
N_{Ed}	Lasteffekt, normalkraft
N_{Eqp}	Normalkraft vid långtidslast
P	Punktlast
Q	Variabel last
RH	Relativ luftfuktighet
T_0	Dygnsmedeltemperatur
T^-	Minsta medeltemperatur i konstruktionen
T^+	Högsta medeltemperatur i konstruktionen
V_{Ed}	Lasteffekt, tvärkraft
$V_{bw,Rd}$	Tvärkraftskapacitet med hänsyn till skjuvbuckling
V_{Rd}	Lastkapacitet, tvärkraft

1 Inledning

Riksväg 40 mellan Borås och Ulricehamn är en viktig del för den framtida nationella infrastrukturen och ingår i det europeiska transportnätverket T-ENT (Trafikverket, 2005). Sträckan har potential att skapa en sammanhängande motorväg mellan Göteborg och Jönköping, där det förekommer en omfattande arbetspendling. Sträckan mellan Göteborg och Borås är sedan tidigare utbyggd till mötesfri motorväg men arbetet återstår för resterande del av sträckan fram till Ulricehamn. En utbyggnad anses nödvändig eftersom vägen är högtrafikerad och att trafiken förväntas öka ytterligare.

1.1 Bakgrund

Riksväg 40 är känd som en mycket olycksdrabbad sträcka där singel- och omkörningsolyckor är vanliga. Under perioden 2006–2015 rapporterades 180 olyckor på vägsträckan (Region Jönköping, 2016). En eventuell expansion och förbättring av den befintliga vägsträckan har övervägts men har förhindrats av dåliga geotekniska förhållanden.

Kombinationen av ökad fordonsintensitet, generellt låg trafiksäkerhet samt dåliga möjligheter för expansion har gjort att Trafikverket tillsammans med Ulricehamns kommun har beslutat att bygga en ny motorvägsträcka norr om gamla riksväg 40 (Trafikverket, 2015b). Den nya tvåfiliga motorvägsträckan kommer bli cirka 17 km lång och inkludera 13 broar. Intill Karlsnäs industriområde i Ulricehamn ska den längsta bron projekteras och byggas.

1.2 Syfte

Syftet med denna tekniska rapport är att ta fram en lämplig utformning och utföra en preliminär dimensionering av ovan nämnd bro. Detta görs utifrån givna förutsättningar och valda avgränsningar. Bron projekteras med hänsyn till beställarens krav, projektets genomförbarhet och möjligheter till förvaltning av bron.

1.3 Problemformulering

Projektet innefattar en konceptuell design och dimensionering av tidigare nämnd bro med en planerad längd på 320 meter bestående av två körfält i vardera riktning, se bilaga A. Den dimensionerande tekniska livslängden för bron är 80 år och i den tekniska beskrivningen från Trafikverket anges ytterligare förutsättningar och krav. Det slutgiltiga bronkonceptet ska uppfylla dessa krav samt beakta produktions och förvaltningsaspekter.

1.4 Avgränsningar

Eftersom rapporten endast behandlar en preliminär dimensionering är avgränsningar i samband med framtagning och dimensionering av brokonceptet nödvändiga. Horisontella laster, såsom vind-, broms- och accelerationslaster, beaktas inte. Bron dimensioneras inte för olyckslaster men redundans beaktas vid utformningen. Materialutmattning försummas i dimensioneringsprocessen. Inga livscykelanalyser eller kostnadskalkyler genomförs men däremot beaktas ekonomiska aspekter översiktligt och med låg prioritet. Geotekniska beräkningar och dimensionering av grundläggning utförs inte. Däremot beaktas de geotekniska förhållandena och ett förslag till grundläggning presenteras.

1.5 Metod

För att uppnå rapportens syfte delades projektet upp i två delmoment. I det första momentet gjordes en konceptuell dimensionering bestående av två skeden, ett intuitivt skede och ett utvärderingsskede. I det intuitiva skedet togs ett flertal alternativa brokoncept fram och jämfördes. Brokoncepten som togs fram var grundade i de givna förutsättningarna. Enligt förutsättningar och den kravbild som finns på den tilltänkta bron sattes kriterier upp som brokoncepten utvärderades efter. Från dessa framtagna brokoncept utvärderades de mest lämpliga koncepten ytterligare i utvärderingsskedet där ett slutgiltigt förslag valdes. För det valda brokonceptet upprättades en produktions- och förvaltningsplan.

I delmoment två vidareutvecklades brokonceptet genom en preliminär dimensionering enligt gällande krav och standarder. Snittkrafter togs fram med hjälp av CALFEM för ett antal lastfall för att dimensionera bronns olika kritiska tvärsnitt. Dessutom gjordes en övergripande utformning av bronns detaljer, bland annat övergångskonstruktioner och lager. Avslutningsvis byggdes en presentationsmodell av bron för att redovisas tillsammans med hela projektet.

1.6 Samhälleliga och etiska aspekter

Arbetsgången för denna tekniska rapport utvärderades inte specifikt utifrån samhälleliga och etiska aspekter, eftersom arbetsgången följer en metodik som inte utmanar någon individs välbefinnande på något sätt. Däremot har utformning och val av den specifika bron beaktat dessa aspekter. Den valda bron är utformad på ett sådant sätt att negativ påverkan på djur och natur minimeras. Dessutom är produktionsmetod och materialval diskuterade ur ett hållbarhetsperspektiv.

Sett ur ett samhälleligt perspektiv medför bronns placering invid ett industriområde inte samma problematik som om den hade byggts nära ett bostadsområde och dessa aspekter blev därför inte kritiska. Ur samma perspektiv kommer bron även bidra till en ökad trafiksäkerhet och framkomlighet, samt förbättra infrastrukturen.

2 Förutsättningar

Platsens förutsättningar utgör grunden för rapporten och har tagits stor hänsyn till för att undvika problem vid senare tillfälle. Förutsättningarna hämtades från Trafikverkets tekniska beskrivning som beskriver de förhållanden som råder i området och var utgångspunkten för projektet. I avsnitten nedan beskrivs de av den tekniska rapporten givna förutsättningar som ska beaktats för att bästa möjliga slutresultat skulle uppnås.

2.1 Topografi

De topografiska förhållandena beskriver områdets fysiska form och den terräng där bron ska anläggas. Bilaga B visar planritning över området och profil för den tänkta vägbanan. Bron sträcker sig i väst-östlig riktning över Karlsnäs industriområde. Vid den västra änden av bron består terrängen till större del av skog och markytan sluttar från nivåerna +200 till +175, se bilaga A. Gles skogsmark påträffas i den östra änden av bron. Däremellan återfinns industrimark på en plan markyta med nivån +175. Områdets topografi resulterar i att brons längsgående lutning från väst till öst blir 4,93%.

2.2 Geoteknik

Jordarten i marken består av till stor del siltig finsand, se bilaga A. Grundläggning ska enligt teknisk beskrivning ske på betongpålar, där den största delen av bärförmågan erhålls längs manteln i friktionsjord. Det ska utföras ett schaktnings- och grundläggningsarbete för stödens bottenplattor. Berggrundens profil framgår i bilaga B. Vid brons västra landfäste ligger berget ytligt och sluttar österut för att vid det östra landfästet befinna sig på ett större djup.

2.3 Vägtrafik

För riksväg 40 uppmättes årsmedeldygnstrafiken (ÅDT) år 2015 till 12 000 fordon och förväntas år 2035 nå 15 100 fordon, se bilaga A. Trafikflödet är dimensionerande vid beräkningar av variabel last för bron. Utifrån total ÅDT ska 22% antas vara tung trafik. Under vinterhalvåret antas det att vägbanan saltas, och från 1 oktober till 30 april ska personbilar förutsättas använda dubbdäck. I den planerade vägsträckningen för bron finns inga befintliga trafikerade vägar som kan störas av uppförandet av bron.

3 Underlag för urval

I följande kapitel presenteras fakta som låg till grund för urvalet av brokoncept, däribland konstruktionsmaterial, produktionsmetoder, förvaltningsarbete och brotyper.

3.1 Konstruktionsmaterial

Huvudsakligen används tre primära konstruktionsmaterial vid brobyggnation i dagsläget. Dessa är stål, betong och trä vilka alla har olika egenskaper som påverkar varje aspekt av broprojekteringen. I detta avsnitt kommer positiva och negativa aspekter för materialen presenteras.

3.1.1 Trä

De primära faktorerna till att välja trä som konstruktionsmaterial är främst ur miljö-, ekonomiska och estetiska aspekter (Svenska Kommunförbundet, 1998). Alla steg i konstruktionsmaterialets livslängd är mycket miljövänliga jämfört med andra konstruktionsmaterial. Att materialet är lätt att bearbeta kombinerat med dess låga egentyngd resulterar i en kort produktionstid samt enklare utformning av grundläggning. Detta gör träbroar till ett bra val vid anläggningar där störning av intilliggande verksamhet bör undvikas, som till exempel över järnväg. Träets naturliga utseende gör det till ett fördelaktigt konstruktionsmaterial för att främja den estetiska aspekten.

Det finns många olika typer av träslag och de alla har olika egenskaper. Det alla träslag har gemensamt är att de är fuktkänsliga (Al-Ermani m. fl., 2013). Fukt minskar materialets hållfasthet och beständighet. Röta och angrepp från levande organismer bryter ned träet med tiden och minskar eventuellt materialets bärförmåga. Detta innebär att de bärande elementen i en träkonstruktion måste skyddas från fukt och samtidigt ha möjlighet att torka ut. Konstruktionsvirke har också generellt låga elasticitetsmoduler vilket medför höga deformationer som inte är gynnsamt i vissa konstruktioner. Dessa deformationer ökar dessutom på grund av träets krypning som är en tidsberoende deformation. Andra aspekter som brännbarhet, krympning och svällning påverkar också materialet under dess livstid. Trä är även ett ortotrop material vilket medför att alla dessa egenskaper beteras sig olika beroende på vilken riktning i träet som är utsatt.

Det huvudsakliga användningsområdet för träbroar är för gång- och cykeltrafik (Svenska Kommunförbundet, 1998). Vägbroar i trä är möjliga och förekommer i mindre spännvidder runt 30 meter, oftast utformad i fackverk eller bågar. Det krävs en mycket speciell utformning av en träbro för att uppnå spännvidder över 100 meter. Samverkansbroar förekommer dock i större spännvidder som till exempel hängbroar där de huvudsakliga bärande elementen består av betong eller stål.

3.1.2 Armerad betong

Betong är det material som dominerar i byggbranschen och används i alla sorters konstruktioner (Al-Ermani m. fl., 2013). Materialet klarar höga krafter i tryck men spricker lätt i drag, varför man nästan alltid väljer att armera betongen för att huvudsakligen höja dragkapaciteten.

Några anledningar till att välja armerad betong är dess goda beständighet och hur lätt den är att forma utifrån både ett estetiskt och konstruktionsmässigt perspektiv (Al-Ermani m. fl., 2013). Det som talar emot användning av materialet är dess höga egentyngd som minskar dess förmåga att bära andra laster och dess långa produktionstid på grund av formbyggnad och gjutning. Produktionstidens påverkan på området vid byggplatsen kan dock minskas om man använder sig av prefabricerade element.

Det finns vissa långstidsrisker med att bygga i betong, där armeringskorrosion är den primära anledningen till nedbrytning av materialet (Al-Ermani m. fl., 2013). Armeringen inuti betongen korroderar när det kommer i kontakt med vatten vilket minskar armeringens kapacitet och kan orsaka sprickor i betongen. Därför är det väldigt viktigt att både i dimensioneringsläget och förvaltning av armerade betongelement, ta hänsyn till sprickbildning, kloridinträngning, frostsprängning och karbonatisering som ger upphov till armeringskorrosion. En armerad betongbro behöver inspekteras regelbundet under dess livstid där den främsta uppgiften är att kolla efter exponerad armering och sprickor (Skogforsk, 2018). Regelbundet underhåll av betongen innefattar tvättning för att få bort fuktsamlade material samt impregnera utsatta betongskikt. Vanliga reparationer innefattar oftast pågjutning av nytt betongskikt.

Ur miljösynpunkt är även här betongens beständighet något positivt då det bidrar till en lång livslängd med litet behov av underhåll (Trafikverket, 2022a). Betongen kan efter bruk krossas och återvinnas som antingen ballast eller tillsatsmaterial till ny betong (Svensk Betong, u. å-a). Däremot är produktionen av betongen energikrävande och stora mängder koldioxid släpps ut i samband med bränningen av kalksten (Svensk Betong, u. å-b). Koldioxidekvivalenten för betong bestående av Portlandcement ligger på cirka 354 kg/m^3 , och för en miljövänligare betong bestående av geopolymers ligger det på cirka 320 kg/m^3 (Turner & Collins, 2013).

3.1.3 Stål

Stål är ett material med mycket hög hållfasthet. Detta i kombination med stålets höga potential till återvinning gör att materialåtgången kan minimeras (Trafikverket, 2022a). Ur ett hållbarhetsperspektiv är detta gynnsamt då det krävs mindre resursuttag, minskad energianvändning och färre transporter.

Nyproduktion av stål har däremot en stor miljöpåverkan då tillverkningen är en mycket energikrävande process. Det kan vara svårt att bedöma stålets miljöpåverkan då mängden utsläpp vid produktion skiljer sig mycket beroende på

var processen sker (Trafikverket, 2022a). Om stålproduktionen sker i Sverige är utsläppen 2000 kg/ton eller 400 kg/ton för nyproducerat- respektive sekundärt stål (Tillväxtanalys, 2018).

Stålet har tre huvudsakliga nedbrytningsmekanismer som påverkar dess kapacitet och livslängd (Vägverket, 1999). Nedbrytningsmekanismer utgörs av utmattning, korrosion och mekaniska skador. Utmattning innebär att stålet förslits till följd av spänningsvariationer och vid full utmattning brister tvärsnittet. Korrosion leder till att stålets tvärsnittets area minskar och därmed även dess kapacitet. Stålet behöver under hela sin livstid skyddas mot korrosion, vilket kräver en ytbehandling som ger en negativ miljöpåverkan (Trafikverket, 2022a). Mekaniska skador uppstår till följd av påkörning av trafik. De mekaniska skadorna innefattar förstört rostskydd, repor, bucklor och sprickor i stålet (Vägverket, 1999).

Stålkonstruktioner lämpar sig väl för förtillverkning då grundkomponenterna som används har en hög standardiseringsgrad med hög måttnoggrannhet (Al-Ermani m. fl., 2013). De verktyg som används inom projektering av stålstommar är idag mycket utvecklade, vilket medför en snabb tillverkningsprocess med stor noggrannhet.

3.2 Produktion

Broelement konstrueras genom platsbyggeri eller med hjälp av prefabricering. Att bygga hela bron på plats innebär ett större arbete med platsgjutning gentemot prefabricering där hela eller delar av brokonstruktionen kan levereras direkt från fabrik till byggarbetsplatsen. Prefabricering gör därmed att miljö och människor i närområdet påverkas under en kortare tid vid produktionen av bron. Produktionsförhållandena är också bättre vid prefabricering vilket, som tidigare nämnt, gör att produkten håller bättre kvalitet (Al-Ermani m. fl., 2013). Ytterligare en fördel är att arbetarna kan jobba i bekvämare arbetsställningar (Trafikverket, 2022a).

För att föra upp en bro krävs ofta tillfälliga konstruktioner så som stöd och eventuella tillfälliga vägar. Mängden tillfälliga konstruktioner beror på konstruktionshöjd och byggnadsmetod där möjligheten till prefabricering generellt minskar behovet. Vid höga konstruktionshöjder är det inte fördelaktigt att bygga temporära stöd utan då används istället ofta andra produktionsmetoder så som konsolutbyggnad eller lansering (Lebet & Hirt, 2013). Har man istället låga konstruktionshöjder med stora tillgängliga ytor under kan man tidseffektivt lyfta brodelar på plats och montera med få eller helt utan tillfälliga stöd beroende på spännvidd.

3.3 Förvaltning

Under en konstruktions livstid kommer behov av underhåll uppstå, främst till följd av vatten och fukt som är den primära nedbrytningsfaktorn för alla tre konstruktionsmaterialen, se avsnitt 3.1. Detaljer i konstruktionen som förband,

lager, anslutningar, fogar, svetsar och förankringar utgör ett stort behov av både inspektion och underhåll (Ritter, 1990). Detta beror på att vatten och vattenbindande material, till exempel smuts, ofta samlas vid dessa detaljer. Brotyper med mycket detaljer är till följd av detta ofördelaktiga ur ett förvaltningsperspektiv.

Gemensamt för alla brotyper och material är det allmänna underhållet som bör ske varje år (Skogforsk, 2018). Allmänna underhåll innefattar främst rengöring och växtbekämpning men också bättringsmålning, sprickreparationer och återfyllnad av material vid behov. Större underhållsarbeten har olika tidsintervall beroende på material och brotyp, där betongkonstruktioner generellt har längst underhållsintervall följt av stål och sedan trä.

3.4 Brotyper

Detta avsnitt innehåller en generell beskrivning av olika brotyper för att sortera bort olämpliga brokoncept för brons tänkta placering.

3.4.1 Plattbro

Plattbroar består av en platta gjord av trä eller betong som huvudbärverk. Den maximala spännvidden för plattbroar med vägtrafik är ca 17 m då den består av trä eller 25-35 m för betongkonstruktioner, beroende på förspänningen av armeringen (Trafikverket, 2014). En plattbro kan antingen byggas som fritt upplagd eller kontinuerlig. Brotypen väljs fördelaktigt då den tillgängliga konstruktionshöjden är låg (Trafikverket, 2022a).

3.4.2 Balkbro

Balkbroar är broar med balkar som huvudbärverk, vanligen bestående av stål eller betong men även trä förekommer och används för spännvidder på 20 m och uppåt (Trafikverket, 2022a). Över flera spann kan balken utföras både som kontinuerlig eller som flera fritt upplagda balkar. Brotypen kan med fördel användas för långa broar eller då risk för sättningar i brostöden föreligger.

Betongbalkbro

Betongbalkbroar används för spännvidder på 10-30 m (Trafikverket, 2022a). För spännvidder över 25 m görs balkarna förspända.

Samverkansbro

Samverkansbron byggs vanligtvis med stålbalkar och en brobanepatta i betong (Trafikverket, 2022a). De kan även utföras med en lådbalk i stål i de fall där hög vridstyvhet är ett krav, exempelvis när bron ligger i en kurva. Samverkansbron har produktions tekniska fördelar då stålbalkarna kan prefabriceras för att lyftas eller lanseras på plats och minskar behovet av tillfälliga konstruktioner under byggskedet. Detta gör samverkansbron fördelaktigt:

- då bron spänner över ett vattendrag eller djupa dalgångar
- när stora spännvidder krävs
- vid dåliga grundförhållanden
- då det är svårt att bygga en grundställning
- då låg egenvikt krävs

Lådbalkbro

Lådbalkbroar i betong kan användas för spännvidder mellan cirka 40 till 200 m (Trafikverket, 2022a). Vid långa spännvidder kan bron byggas med konsolbyggnad om inte fasta ställningar är möjligt.

3.4.3 Fackverksbro

Fackverksbroar är konstruerade av sammansatta stänger som utnyttjar styvheten i stångverkan då alla element i konstruktionen primärt utsätts för tryck eller dragkraft (Trafikverket, 2022a). Dessa brotyper har hög kapacitet för vertikala laster vilket gör fackverksbroar till ett vanligt förslag vid järnvägsutformning (Trafikverket, 2014). Fackverksbroar består oftast av stål men kan också förekomma i trä, dock med betydligt kortare spännvidder. För vägtrafik kan spännvidderna nå upp till 100 respektive 30 m beroende på materialval. Efterfrågan på nya permanenta fackverksbroar för vägtrafik i Sverige existerar inte på grund av höga produktionskostnader.

3.4.4 Hängbro

I en hängbro bärs brobanan upp av två huvudkablar, där brobanan och huvudkablarna är förbundna med så kallade hängare (Trafikverket, 2014). Huvudkablarna och hängarna bär endast dragkrafter medan pylonerna är belastade med tryckkrafter.

Hängbroar är särskilt lämpliga för stora spännvidder, upp till cirka 1200 m (Trafikverket, 2014). Dessa broar är därmed fördelaktiga på platser där det är svårt att placera stöd på grund av exempelvis vattendjup och grundläggningsförhållanden. En fördel med hängbroar är även att de kan byggas utan ställningar (Trafikverket, 2022a).

3.4.5 Bågbro

Bågbroar består av ett huvud- och ett sekundärbärverk. Huvudbärverket är en båge, som antingen består av överliggande eller underliggande båge (Trafikverket, 2014). Själva bågen bär bronns egentygnd och variabla laster i tryck. En eller flera bågar kan placeras för att bära bronns belastning. Spännvidden för en bågbro med ett spann är upp till 260 meter och med flera spann kan bågbrons spännvidder vara upp till 100 meter.

3.4.6 Snedkabelbro

Likt hängbroar bärs brobanan i snedkabelbroar upp av kablar i stål. På snedkabelbroar fästs kablarna direkt i pyloner som reser sig över brobanan istället för i de huvudkablar som finns på hängbroar. Snedkabelbroar går att utforma på flera sätt genom antalet pyloner, kablar och hur kablarna är fästa i pyloner och brobanan (Lin & Yoda, 2017). Snedkabelbroar klarar långa spännvidder och brukar användas inom spännvidder på 150-600 m men även snedkabelbroar med fritt spann på över 1 km har byggts vilket bara överträffas av hängbroar. Lasterna i snedkabelbroar är primärt drag- och tryckkrafter där kablarna utsätts för dragkrafter medan pylonerna och brobanan utsätts för tryckkrafter.

3.4.7 Valvbro

En valvbro består av ett massivt valvformat bärverk som tar upp stora tryckkrafter och utformas därmed ofta i material med hög tryckhållfasthet som sten eller betong med spännvidder upp till 30 m (Trafikverket, 2014). Valvbroar är en av de äldsta brotyperna och i modern tid produceras dessa nästan inte på grund av de höga produktionskostnaderna och dess materialinneffektivitet.

3.4.8 Rörbro

Rörbroar är en typ av samverkansbro bestående av ett rörformat bärverk med fyllnad ovanpå som utgör brobanan (Trafikverket, 2014). Brotypen används ofta vid låga konstruktionshöjder där passage för till exempel vatten eller gångtrafik under brobanan efterfrågas. Vanligt förekommande spännvidder för rörbroar i Sverige är mellan 2-15 m.

3.4.9 Rambro

Rambroar är utformade som en ram där frontmurar vid vägbanken bär upp antingen en platta eller balkar från ett landfäste till ett annat (Trafikverket, 2014). Rambroar i armerad betong är den mest använda brotypen i Sverige och spännvidder kan variera mellan 20-50 m.

3.5 Uteslutning av brotyper och material

Utifrån tidigare avsnitt kunde valvbro, rörbro och rambro uteslutas från vidare detaljerad utvärdering av brokoncept eftersom de, bland annat, inte är lämpliga vid längre spännvidder. Även fackverksbro och plattbro kunde uteslutas. Fackverksbron valdes bort på grund av att brotypen lämpar sig bättre för järnvägstrafik. Plattbron valdes bort på grund av att dess utförande är likt en balkbro men med mindre potentiell spännvidd.

Val av material till brokoncepten begränsades till stål och betong på grund av träets begränsade beständighet. Som nämnt tidigare används inte trä idag för motorvägsbroar, och därmed ansågs det inte vara lämpligt för den aktuella bron med dess stora trafikflöden och höga andel tung trafik.

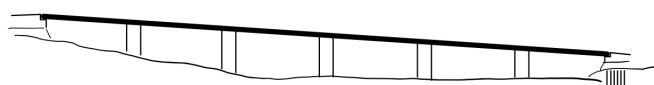
4 Urvalsprocessen

I följande kapitel presenteras en utvärdering av ett flertal brokoncept i ett intuitivt skede. De mest lämpliga broarna tas sedan vidare till ett utvärderingsskede för utveckling och noggrannare utvärdering, vilket mynnar ut i ett val av ett slutgiltigt brokoncept.

4.1 Preliminära koncept

Nedan presenteras 13 framtagna brokoncept.

Koncept 1 - En balkbro där alla bärande delar är i betong.



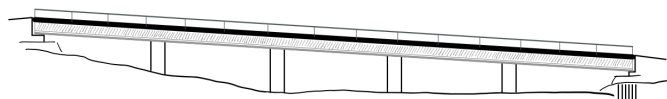
Figur 1: *Balkbro i betong*

Koncept 2 - Balkbro i betong som byggs genom konsolutbyggnad.



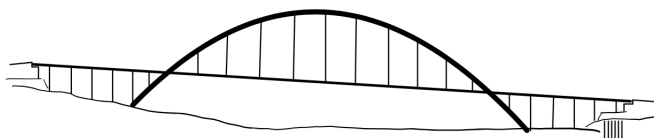
Figur 2: *Lådbalkbro i betong med konsolutbyggnad*

Koncept 3 - Samverkansbro med brobanaplatta i betong och lådbalk i stål.



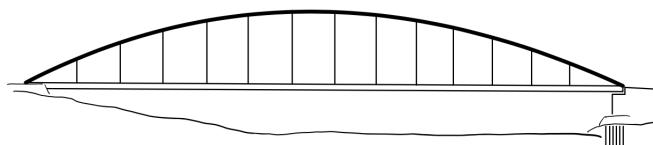
Figur 3: *Samverkansbro med lådbalk i stål och brobana i betong*

Koncept 4 - Båge i stål med mellanliggande brobana och pelare i betong.



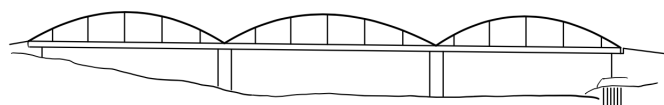
Figur 4: *Bågbro med mellanliggande brobana*

Koncept 5 - Bågbro med båge och underliggande brobana i stål.



Figur 5: *Bågbro med underliggande brobana*

Koncept 6 - Bågbro med tre fritt upplagda bågar i stål och brobana och pelare i betong.



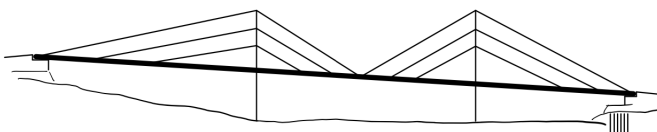
Figur 6: *Bågbro med tre fritt upplagda bågar*

Koncept 7 - Bågbro med överliggande brobana och tre underliggande bågar i betong.



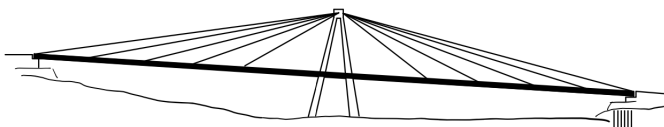
Figur 7: *Bågbro med överliggande brobana och tre underliggande bågar*

Koncept 8 - Snedkabelbro med två betongpyloner och brobana i stål.



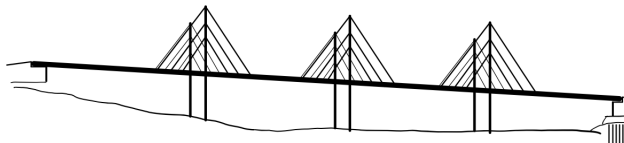
Figur 8: *Snedkabelbro med två pyloner*

Koncept 9 - Snedkabelbro i stål med en betongpylon.



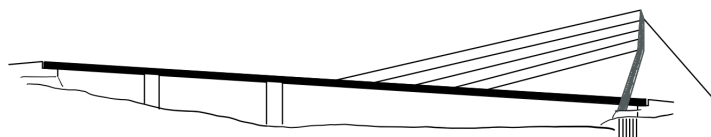
Figur 9: *Snedkabelbro med en pylon*

Koncept 10 - Kombinerad balk- och snedkabelbro med betongbrobana.



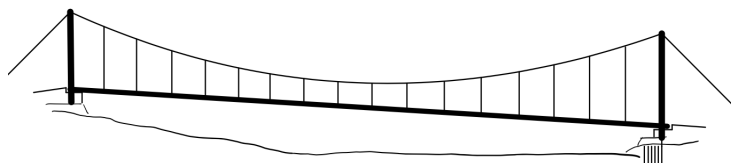
Figur 10: *Kombinerad balk- och snedkabelbro*

Koncept 11 - Snedkabelbro med en betongpylon och ett stort spann med stålbrobana. Eventuellt betongstöd vid motsatt brofäste.



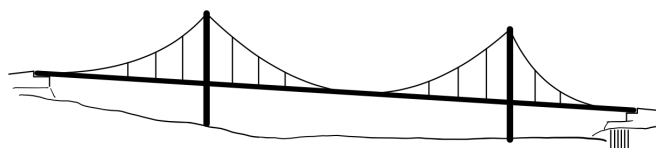
Figur 11: *Snedkabelbro med en pylon och ett stort spann*

Koncept 12 - Hängbro med betongpyloner vid landfästena och brobana i stål.



Figur 12: *Hängbro med pyloner vid landfästena*

Koncept 13 - Hängbro med betongpyloner i ett kortare spann och brobana i stål.



Figur 13: *Hängbro med kortare spann*

4.2 Utvärdering av preliminära koncept

Detta avsnitt behandlar en preliminär utvärdering av koncepten för ett första urval av lämpliga broar för platsen. Först valdes ett antal huvudkriterier som sedan viktades mot varandra och därefter utvärderades alla framtagna brokoncept efter dessa.

4.2.1 Kriterier

Kriterier att utvärdera de olika brokoncepten efter sattes upp och vägdes mot varandra för att fortsatt kunna vikta de olika brokoncepten mot varandra. De kriterier som brokoncepten utvärderades efter i det intuitiva skedet presenteras nedan.

Estetik - Beaktar brons estetiska uttryck, hur väl den passar in i sin omgivning, dess proportioner och kombination av material.

Ekonomi - Brons produktions- och förvaltningskostnad.

Miljöpåverkan - Klimatpåverkan för bron, baserat på utsläpp av CO₂-ekvivalenter vid produktion av konstruktionsmaterialen till bron.

Produktion - Begränsningar i hur bron kan uppföras efter förutsättningarna och produktionstid.

Förvaltning - Mängden underhåll som krävs för bron och möjligheterna till att genomföra det.

Viktningen gjordes genom att väga varje kriterium mot de andra. Det kriterium som ansågs vara viktigare gavs tre poäng och det mindre viktiga gavs ett poäng. Ansågs två kriterier vara likvärdiga gavs båda två poäng var. Kriteriernas enskilda totalpoäng dividerades sedan med det totala antalet poäng för att få fram en viktningfaktor för kriteriet. Resultatet för viktningen av utvärderingskriterer presenteras i tabell 1.

Tabell 1: *Viktning av utvärderingskriterier*

Utvärderingskriterier	1	2	3	4	5	Points	
Estetik	1	3	1	3	1	8	20%
Ekonomi	2	1	1	1	1	4	10%
Miljöpåverkan	3	3	3	3	1	10	25%
Produktion	4	1	3	1	1	6	15%
Förvaltning	5	3	3	3	3	12	30%
					Total	40	

4.2.2 Betygsättning av koncept

Samtliga koncept bedömdes utifrån kriterierna på en skala 1-4, där 1 var att konceptet uppfyller kriteriet dåligt och 4 att det uppfyller det bra. I tabell 2 finns bedömningen för varje koncept utifrån alla kriterier samt dess viktade totalbetyg baserat på vägningen av kriterierna. Utifrån utvärderingen kunde det konstateras att koncept 1, 2, 3 och 9 var de koncept som var mest lämpliga utifrån uppsatta kriterier. Dessa koncept togs därmed vidare till nästa steg för vidareutveckling.

Tabell 2: Första utvärderingen av brokoncept

	Estetik	Ekonomi	Miljöpåverkan	Produktion	Förvaltning	Totalt
Koncept 1	1	4	2	3	4	2.75
Koncept 2	1	3	2	3	4	2.65
Koncept 3	1	3	3	4	3	2.75
Koncept 4	4	1	1	1	2	1.9
Koncept 5	3	1	2	1	2	1.95
Koncept 6	3	2	2	1	2	2.05
Koncept 7	2	2	1	1	3	1.9
Koncept 8	4	1	1	2	2	2.05
Koncept 9	4	1	2	2	2	2.55
Koncept 10	4	1	1	2	2	2.05
Koncept 11	4	1	1	2	2	2.05
Koncept 12	4	1	1	2	1	1.75
Koncept 13	4	1	1	2	1	1.75

4.3 Brokoncept för noggrannare utvärdering

I kommande avsnitt presenteras de potentiella brokoncept som bäst uppfyllde tidigare nämnda krav med hänsyn till platsens förutsättningar. Därefter utvecklades och utvärderades koncepten efter specifika kriterier för att tillslut mynna ut i ett brokoncept som gick vidare till en preliminär dimensionering.

4.3.1 Koncept 1 - Balkbro i betong

Koncept 1 delades upp i två koncept, 1a och 1b, för att utvärdera olika tvärsnitt för balken. Koncept 1a utgörs av ett massivt T-balkstvärsnitt och koncept 1b utgörs av ett lådbalkstvärsnitt. Det sistnämnda är mer vridstyvt och är fördelaktigt eftersom bron är belägen i en kurva.

Balkbron kommer vara kontinuerlig och vila på fem platsgjutna betongpelare och två landfästen vilket resulterar i sex spann om cirka 50 meter. De två västra stöden kommer grundläggas med spetsbärande pålar och resterande stöd, samt landfästet i öst, kommer grundläggas med mantelburna pålar.

Produktion

I och med att spannen kommer vara 50 meter så kommer huvudbärverken behöva vara förspända (Trafikverket, 2014). Brons huvudbärverk kommer likt pelarna platsgjutas eftersom spannen är för stora för vägburen transport av prefabricerade element (Trafikverket, 2019). Detta medför att temporära konstruktioner och formar kommer behöva byggas.

Tvärsnittet för koncept 1a kommer vara massivt och därmed blir materialåtgången högre än för koncept 1b. Koncept 1b kommer kräva mindre material men istället kommer gjutningen bli mer komplicerad.

Förvaltning

Inspektion av bron kommer vara simpel där det enda svårtillgängliga området är

undersidan på brobanan och balkarna. Detta går att utföra med en kran från brobanan eller en lift underifrån för att inte störa pågående trafik. Lagren vid pelarna kommer behöva bytas ut efter cirka 30 år på grund av slitage, det leder till att trafiken på bron kommer behöva uppehållas (Noury, 2017). Den kontinuerliga balken minskar mängden fogar vilket minskar förvaltningen av bron. För koncept 1b måste det vara möjligt att utföra inspektioner och reparationer inuti lådbalksnittet som inte kommer krävas i koncept 1a. Vid korrekt utformning och tillverkning av en betongbalkbro kommer beständigheten vara hög vilket resulterar i få reparationstillfällen, se avsnitt 3.1.2.

4.3.2 Koncept 2 - Lådbalkbro i betong med konsolutbyggnad

Lådbalkbron kommer att bestå av förspänd betong och bäras upp av två platsgjutna stöd vilket resulterar i en spännvidd på cirka 100 m. Det västra stödet kommer grundläggas med spetsburna pålar och det östra stödet med mantelburna pålar.

Produktion

Utförandet kommer att ske med konsolutbyggnad, vilket medför att en formvagn behöver användas vid gjutningen. För att uppföra bron kommer först brons stöd att gjutas. Utgående från dem kommer bärverket gjutas etappvis enligt principen för balanserad konsolutbyggnad. I gjutningen kommer en lådform att användas med fördelen att endast en form behöver konstrueras och kan återanvändas flertalet gånger. Produktionsmetoden med balanserad konsolutbyggnad är fördelaktig då man på byggplatsen inte behöver uppföra några tillfälliga konstruktioner för att hålla upp gjutformarna utan kan arbeta oberoende av förhållandena på marken. Likt koncept 1b utnyttjas materialegenskaperna väl tack vare geometrin med lådbalkstvärsnittet och därav blir materialåtgången liten.

Förvaltning

Likt för en balkbro, kommer förvaltning och inspektion inte vara komplicerat. Dock behöver lådbalken konstrueras så att denna går att inspektera inifrån. Brokonceptet gynnas av att det enbart har två stöd då detta minskar antalet anslutningar. Nedbrytningsprocesserna för armerad betong är de primära aspekterna som kommer behöva tas hänsyn till under brons livstid, se avsnitt 3.1.2.

4.3.3 Koncept 3 - Samverkansbro med lådbalk i stål och brobana i betong

Konceptet innefattar en samverkansbro med en kontinuerlig lådbalk i stål, ovanpå vilken ett brodäck i betong gjuts. Med anledning av att bron är belägen i en kurva kommer den vara mer utsatt för vridkrafter och därmed är ett lådtvärsnitt att föredra då det är mer vridstyvt än I-balkar (Lebet & Hirt, 2013). Bron bärs upp av fyra stöd i betong som grundläggs med pålar likt koncept 1. Spannen blir därmed ca 60 m.

Produktion

Brons stöd kommer platsgjutas i etapper. Med ett konstant tvärsnitt på stöden kan formarna återanvändas för samtliga stöd, vilket ger såväl produktionstekniska som ekonomiska fördelar. Brobanan av stål kommer prefabriceras i mindre element som transporteras till byggplatsen med lastbil. Väl på byggplatsen svetsas delarna samman till större enheter och inspekteras innan de lyfts upp för montage. Med balkarna på plats kommer brodäcket platsgjutas ovanpå balken. Då stål används som konstruktionsmaterial för lådbalkstvärsnittet krävs en liten materialåtgång för dessa broelement.

Förvaltning

Likt balkbron kommer tillgång till förvaltning vara simpel. Utöver de två materialens vanliga nedbrytningsprocesser, se avsnitt 3.1.2 och 3.1.3, kan problem uppstå där materialen möts och vid andra anslutningar. Mer tid till inspektioner kommer behövas då flera detaljer förekommer som till exempel svetsar.

Den kontinuerliga balken minskar antalet övergångskonstruktioner och därmed underhållet för bron. På stöden monteras lager som överbygganden är upplagd på. Dessa lager kommer behöva bytas ut med ett intervall på cirka 30 år under brons livslängd på grund av slitage (Noury, 2017). Bytet av lagren gör att trafiken kommer behövas stängas av.

4.3.4 Koncept 9 - Snedkabelbro i stål med en pylon

Koncept 9 innebär en snedkabelbro med en pylon centrerad över brons längd vilket ger två spann på 150 meter på vardera sida om pylontornet. Pylonen består av en pelare på varsin sida om brobanan som tillsammans går att utforma på olika sätt, till exempel som ett A, ett H eller en diamant. Kablarna sätts upp i två lateralplan över brobanans kantbalkar och fästs i pylonen. Brobanan utgörs av stålelement, pylonen görs i armerad betong och kablarna består av stålvaror. Då bron använder sig av enbart ett stöd krävs ett mer omfattande grundläggningsarbete för stödet eftersom all last koncentreras på en plats.

Produktion

Då utrymmet under bron är lättillgängligt och det finns gott om utrymme för tillfälliga stöd och ställningar under bron kommer detta att utnyttjas vid uppförandet av bron. Produktionen av bron börjar med grundläggningsarbete för pylonen. Pylonen gjuts sedan med en klätterform där tvärbalken och förankringspunkter till stålklablarna prefabriceras och gjuts in under uppförandet av pylonen. Likt koncept 3 prefabriceras brobanans stålelement och monteras på tillfälliga stöd som kan bära hela brobanans vikt innan kablarna har kopplats mellan banan och pylonen.

Förvaltning

Bron förvaltas och underhålls för stålets nedbrytningsmekanismer, se avsnitt 3.1.3. Inspektionen av brons pylon och brobana utförs likt balkbron. Snedklablarna

kommer bytas inom den tekniska livslängden för bron vilket blir ett större ingrepp och påverkar trafiken under arbetet. Dessutom medför kablarna fler anslutningar som ökar förvaltningsarbetet. Den höga höjden på pylonen kräver mer omfattande säkerhetsåtgärder vid inspektion och åtgärder för pylonen.

4.4 Riskanalys

I detta skede gjordes en riskanalys för de brokoncept som återstod efter den första utvärderingen. Riskanalysen genomfördes för att identifiera svagheter i brokoncepten vilket utgjorde ett stöd vid val av brokoncept, samt för att ge indikationer på eventuella åtgärder som kunde komma att bli nödvändiga vid utvecklingen av brokoncepten. För att göra en uppskattning av risken vägdes sannolikheten för att en händelse sker med dess konsekvens, se tabell 3. En bedömning av konsekvenserna med utgångspunkt från människa, ekonomi och miljö gjordes enligt tabell, se bilaga C.

Tabell 3: Bedömning av risker

Sannolikhet (S)	Konsekvens (K)	Riskbedömning	ERICPD
5 Mycket hög	5 Katastrofal	12 - 25 Hög risk	E = Eliminera
4 Hög	4 Allvarlig	6 - 11 Medel risk	R = Reducera
3 Medel	3 Medel	1 - 5 Låg risk	I = Isolera
2 Låg	2 Liten		C = Kontrollera
1 Mycket låg	1 Låg		P = Personligt skydd D = Disciplin

I analysen togs risker i projekterings-, produktions- och användningsfasen fram för varje brokoncept. Därefter bedömdes sannolikheten för att risken ska inträffa samt dess konsekvenser, för att sedan sättas ihop till en sammanvägd risk för respektive brokoncept. Se bilaga C för den genomförda riskanalysen. Resultatet av riskanalysen med brokonceptens sammanvägda risk presenteras i tabell 4 nedan.

Tabell 4: Sammanställning av riskanalysen

Brokoncept	Sammanvägd risk
Koncept 1	5.8
Koncept 2	5.4
Koncept 3	5.5
Koncept 9	7.0

4.5 Utvärdering av kvarstående koncept

I detta avsnitt delades de fem huvudkriterierna in i delkriterier och viktades mot varandra. Därefter utvärderades de fem utvecklade brokoncepten vilket gav ett slutgiltigt resultat över hur väl lämpade brokoncepten var för de givna förutsättningarna.

4.5.1 Utvärderingskriterier

De slutgiltiga utvärderingskriterierna som användes för att komma fram till vilken enskild bro som var mest lämplig presenteras nedan.

Estetik

- Möjlighet till landskapsanpassning - Hur väl bron kommer smälta in i landskapet.
- Möjlighet till estetisk utformning - Hur estetiskt tilltalande brons geometri kan utformas.

Ekonomi

- Produktionskostnad - Hur mycket bron kommer kosta att producera med avseende på material och arbetstimmar.
- Förvaltningskostnad - Hur mycket bron kommer kosta att inspektera och underhålla under hela livslängden.

Miljöpåverkan

- Påverkan på lokal miljö - Hur mycket produktion samt placeringen av bron kommer påverka lokala ekosystem.
- Påverkan på global miljö - Hur materialval och mängd material för bron påverkar det totala utsläppet av växthusgaser (CO_2 -ekvivalenter).

Produktion

- Byggtid - Hur lång tid det kommer ta att uppföra bron.
- Arbetsmiljö - Hur säker och lättillgänglig arbetsmiljön för arbetare är under produktion.
- Temporära konstruktioner - Hur många och avancerade temporära konstruktioner det kommer behövas.
- Rationellt byggande - Hur stor möjlighet som finns till upprepande produktionssätt.
- Lämplighet - Lämplighet för byggande i den befintliga sträckningen.

Förvaltning

- Arbetsmiljö - Hur säkert och lättillgängligt utförandet är vid förvaltning.
- Underhåll - Hur frekvent kommer bron behöva inspekteras och hur stort är behovet för underhåll.

Viktningen av dessa kriterier gjordes inbördes inom varje område för att sedan multipliceras med den tidigare viktningen för respektive område. Resultatet av viktningen presenteras i tabell 5.

4.5.2 Betygsättning av kvarvarande koncept

De kvarvarande koncepten bedömdes på samma sätt som vid föregående betygsättning av brokoncepten. I tabell 6 återfinns bedömningen för varje koncept utifrån alla kriterier samt dess viktade totalbetyg baserat på vägningen av kriterierna. Utifrån utvärderingen kunde det konstateras att koncept 3 var den brotyp som var mest lämpad för de givna förutsättningarna.

Tabell 5: Vikting av utvecklade kriterier

Utvärderingskriterier		α	β	Total
Estetik				
Landskapsanpassning	1	50,0%	20%	10,0%
Estetiskt utformad	2	50,0%		10,0%
Ekonomi				
Produktionskostnad	3	30,0%	10%	3,0%
Förvaltningskostnad	4	70,0%		7,0%
Miljöpåverkan				
Lokal miljö	5	40,0%	25%	10,0%
Global miljö	6	60,0%		15,0%
Produktion				
Byggtid	7	10,0%	15%	1,5%
Arbetsmiljö	8	30,0%		4,5%
Tillfälliga konstruktioner	9	17,5%		2,6%
Rationellt byggande	10	17,5%		2,6%
Lämplighet	11	25,0%		3,8%
Förvaltning				
Arbetsmiljö	12	60,0%	30%	18,0%
Mängden underhåll	13	40,0%		12,0%

Tabell 6: Andra utvärderingen av brokoncept

Kriterier	Koncept 1a	Koncept 1b	Koncept 2	Koncept 3	Koncept 9
Estetik					
Landskapsanpassning	3	3	3	3	2
Estetiskt utformad	2	2	2	2	4
Ekonomi					
Produktionskostnad	3	3	2	3	1
Förvaltningskostnad	3	3	4	2	1
Miljöpåverkan					
Lokal miljö	3	3	4	4	4
Global miljö	2	2	2	3	3
Produktion					
Byggtid	2	2	1	4	3
Arbetsmiljö	2	1	1	3	2
Tillfälliga konstruktioner	1	1	4	3	3
Rationellt byggande	3	3	1	4	1
Lämplighet	3	4	1	4	2
Förvaltning					
Arbetsmiljö	4	3	3	3	2
Underhåll	3	3	4	2	1
Totalt	2,82	2,63	2,79	2,89	2,35

4.5.3 Utvärdering av slutgiltigt brokoncept

Brokoncept 3 blev det koncept som presterat bäst enligt de två utvärderingsprocesserna. Konceptet var dessutom det som gav näst bäst resultat i riskanalysen. Utifrån dessa resultat och förutsättningarna för bron, bedöms det resulterade konceptet vara lämpligt som slutgiltigt val av brokoncept.

5 Slutgiltigt brokoncept

Urvalsprocessen resulterade i att brokoncept 3, en samverkansbro med lådbalk i stål och brobana i betong, blev det vinnande brokonceptet. I följande kapitel utvecklas och beskrivs det valda brokonceptet. I figur 14 visas modeller av den valda bron och dess tvärsnitt.



(a) Landskapsmodell



(b) Tvärsnittmodell

Figur 14: Bilder på modeller av det slutgiltiga brokonceptet

5.1 Antal brobanor

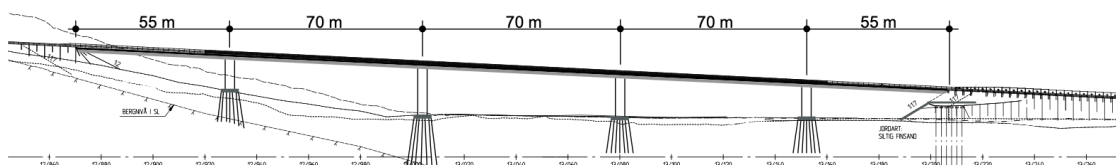
I detta skede diskuterades för- och nackdelar med en bro bestående av en eller två brobanor. Alternativet med en brobana innefattade två låd tvärsnitt där en gemensam brobana gjuts ovanpå. Det senare alternativet utgjordes på samma sätt av två separata låd tvärsnitt men där även brobananorna är separata.

Möjligheten till att enbart stänga av halva bron är gynnsamt då det minskar trafikpåverkan från förvaltning. Att exempelvis byta lager skulle innebära ett mer omfattande arbete och en större trafikstörning om bron skulle ha en gemensam brobana. Med två separata broar tillkommer en redundans som kan utnyttjas om problem uppstår med en av broarna så att trafiken inte behöver stoppas helt, exempelvis en större trafikolycka där bronns bärförmåga behöver analyseras innan trafiken kan släppas på. Däremot kan fördelarna med att endast ha en brobana vara exempelvis att konstruktionen blir mer vridstyv och att bron därmed blir mer stabil.

Sammantaget konstaterades det att fördelarna med två separata brobanor var övervägande med hänsyn till förvaltning och redundans. Med detta i beaktning valdes därmed två separata brobanor. Brobanorna separerades med 2,5 m enligt minimikrav för motorväg (Trafikverket, 2022b). Kommande beskrivningar beaktar endast ena brobanan, eftersom de antas vara identiska.

5.2 Antal stöd

Brobanorna kommer, som tidigare nämnts, vardera bäras upp av fyra stycken stöd i betong. Avståndet mellan stöden görs med fördel lika stort med hänsyn till symmetri. Stödens avstånd till varandra bestämdes till 70 m, se figur 15. Enligt Lebet och Hirt (2013) ska avståndet mellan landfäste och stöd närmast landfäste vara mellan 70-80% av längden på innerspannet. Detta avstånd ansattes därmed till 55 m, vilket motsvarar 78% av innerspannet.



Figur 15: Slutgiltigt brokoncept med antal stöd och grundläggning

5.3 Grundläggning

De två västra stöden för varje brobana kommer att grundläggas med spetsbärande pälars då berg ligger relativt nära markytan, och resterande stöd kommer grundläggas med mantelburna pälars. Det ansågs mest lämpligt eftersom berg ligger djupt ner i öst och det skulle därmed innebära stora kostnader med långa pälars hela vägen ner till berget. I figur 15 redovisas grundläggningen översiktligt.

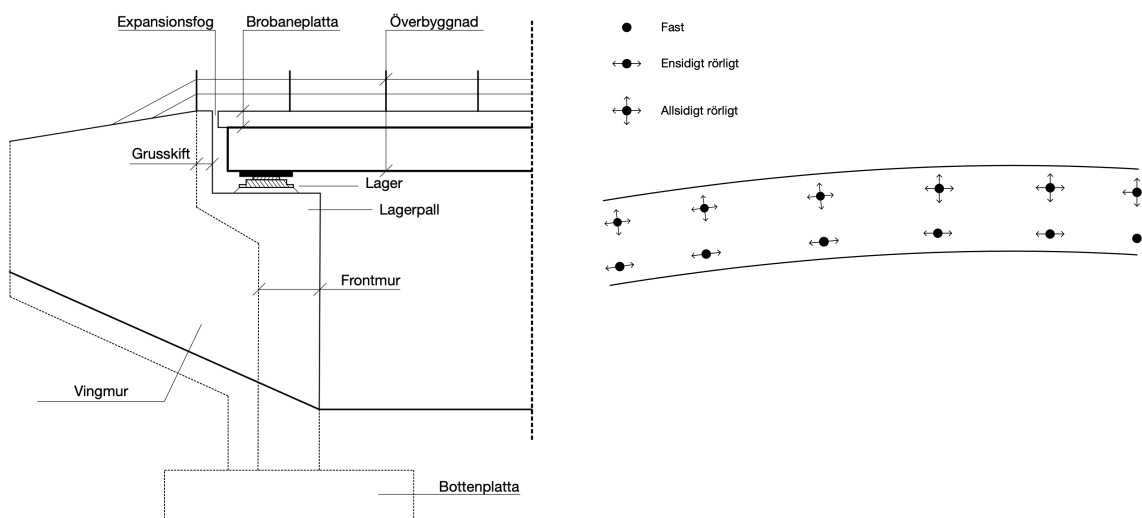
5.4 Landfästen, lager och övergångskonstruktioner

Lager och övergångskonstruktioners syfte är att hantera rörelser som uppstår i överbyggnaden på grund av temperaturförändringar och laster (Trafikverket, 2022a). Om rörelserna förhindras uppstår tvångskrafter och spänningförhållandena i bron förändras. Enligt teknisk beskrivning ska övergångskonstruktioner placeras vid landfästena vilket innebär att landfästena är fristående. Vid fristående landfästen placeras överbyggnaden på lager och ett grusskift anordnas (Trafikverket, 2022a), se figur 16a för principskiss.

Val och placering av lager påverkas av antalet spann, brobredden, storlek på horisontal- och vertikalkrafter samt grundförhållanden (Trafikverket, 2022a). Lagren delas in i fasta, ensidigt rörliga och allsidigt rörliga lager. Lagrens rörelseriktning bestäms med hänsyn till rörelser i både längsled och tvärled i överbyggnaden. Minst ett fast lager placeras för att fixera brobanan. Ensidigt rörligt lager tillåter rörelse i en riktning och allsidigt rörligt lager tillåter rörelser i flera riktningar. Vid längdändringar i flera riktningar kan allsidigt rörligt lager behövas (Trafikverket, 2022a). Allsidiga rörelsemöjligheter är fördelaktigt för en krökt bro med flera lager på samma upplag.

Eftersom bron kröker sig placerades lagrena tangentiellt med bronns kurvatur för att kunna röra sig radiellt. Bron fixerades med ett fast lager vid det östra

landfästet. I figur 16b redovisas en principiell skiss över hur lagren placerades, både i längsled och tvärlängd.

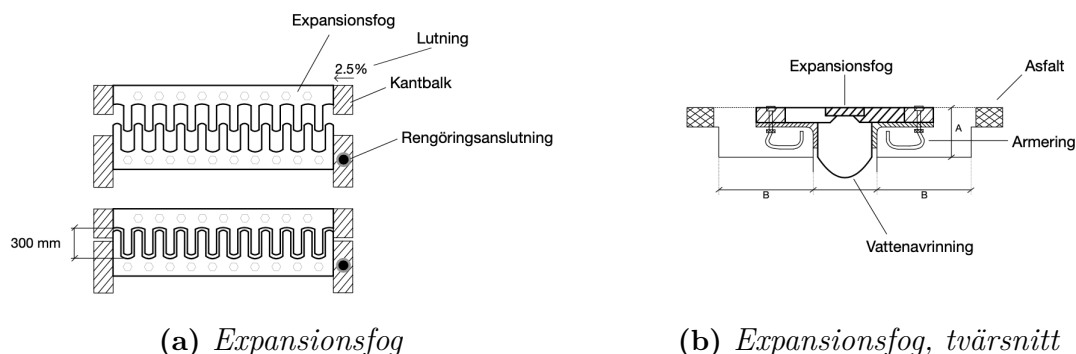


(a) Principalskiss av det västra landfästet

(b) Placering av lager

Figur 16: Skiss på landfäste och lager

Då bron är kontinuerlig kommer endast två övergångskonstruktioner behövas, vid det östra och västra landfästet. Det östra landfästet motverkar horisontella laster vilket gör att bron enbart kan expandera mot det västra stödet där en expansionsfog monterats. Brons temperaturutvidgning räknades ut till 224 mm, se bilaga D. Utifrån detta valdes en fingerformad expansionsfog som monterats för att ta upp rörelserna i brons längsled. Fingerplåtarna är utformade i rostfritt stål för att minska risken för korrosion och därmed rörelseproblem. Expansionsfogen ska förses med samma tätskikt som brobanan med vattenavledande system samt tillgång till rengöring och underhåll. Se figur 17a och 17b för principalskisser.



(a) Expansionsfog

(b) Expansionsfog, tvärsnitt

Figur 17: Principalskisser expansionsfog

5.5 Vattenavledning

Vägbanan måste utformas för att leda bort vatten för att förebygga korrosion, frostsprängning, kloridinträngning och vattenplaning (Lebet & Hirt, 2013). Vägbanan måste ha en långsgående lutning på minst 1% för att undvika vattenansamlingar, vilket uppfylls genom vägsträckans lutning, se avsnitt 2.1. Brunnar kommer placeras med ett intervall på 15 meter, vilket är i enlighet med rekommendationen på 10-40 meter (Lebet & Hirt, 2013). Vid varje brunn ska möjlighet till rengöring av vattenavrinningsystemet finnas. I och med att bron ligger i en kurva kommer brobanan med fördel ha en skevning transversiellt mot söder, vilket innebär att brunnar kommer placeras längs den södra kantbalken där vattnet kommer samlas. Vattnet åker ned i brunnarna som sedan transporteras via stuprör ned längs med brons pelare där det sedan förs vidare till lämplig dagvattenhantering enligt den tekniska beskrivningen. Enligt denna ska även övergångskonstruktionerna avvattnas med hjälp av tratt och stuprör, vars delar ska utföras av syrafast rostfritt stål. För att förhindra att vatten samlas i lådbalken behövs även vattenavrinning beaktas i en detaljutformning.

5.6 Brobeläggning och räckesutformning

Enligt VGU (2022) ska broräcken för ytterkant på motorväg med hastighet 100 km/h minst uppfylla säkerhetsklass H2. Räckenas infästning ska placeras minst 50 mm in på kantbalken från trafiksidan och 250 mm från kantbalkens fria ände.

Enligt teknisk beskrivning ska brobanan ha en total beläggningstjocklek på 115 mm.

5.7 Produktionsplan

För att projektet ska hålla budget och tidsplan samt för att säkerställa en säker arbetsmiljö på arbetsplatsen är det viktigt med en produktionsmetod som är väl anpassad till platsens förutsättningar och val av brotyp. Eftersom det finns gott om utrymme på arbetsplatsen kan det utnyttjas för att möjliggöra ett smidigare produktionsflöde. Bra markförhållande i kombination med den relativt låga brohöjden möjliggör att huvudbalkarna kan lyftas på plats från marken med hjälp av en mobilkran. Nedan presenteras produktionsstegen.

1. Innan arbetet tar sin början etableras platskontor samt ett tält där de prefabricerade stålelementen kommer svetsas samman under kontrollerade former, där de färdiga elementen kan inspekteras innan de lyfts på plats.
2. En gjutform för brons stöd konstrueras och därefter gjuts stöden ett efter ett.
3. Parallellt med gjutningen av stöden levereras de prefabricerade stålelementen från fabrik med lastbil i korta segment.
4. Väl på plats svetsas de mindre segmenten ihop till långa balkar som motsvarar halva spännvidderna.
5. För att möjliggöra montaget av stålbalkarna uppförs tillfälliga stöd som balkarna kan vila på innan de har svetsats samman till en kontinuerlig balk. Den sammansvetsade balken byggs med en upphöjning på 10,1 cm mitt i fält

för att kompensera för nedböjning av brons egentygnd, se bilaga E för beräkningar av nedböjning för egentygnd längsled.

6. Med alla huvudbalkar på plats byggs gjutform där armeringen och detaljer, som till exempel räckesinfästningar och dräneringsrör, placeras in före brobana och kantbalkar slutligen gjuts.
7. Beläggning appliceras och slutligen monteras broräcke och andra detaljer.

5.8 Förvaltningsplan

Bron ska inspekteras regelbundet under dess livslängd (Skogforsk, 2018). Syftet med inspektionen är att upptäcka eventuella skador och brister som kan uppkomma över tid och säkerställa att både funktion och säkerhet bibehålls. Utifrån inspektionerna ska konstruktionens tillstånd dokumenteras och bedömas hur det utvecklats över tid (Trafikverket, 2015a). En översiktlig inspektion utförs årligen och en huvudsaklig inspektion ska ske med ett tidsintervall på maximalt sex år. Där emellan kan särskilda inspektioner ske efter behov. Den översiktliga inspektionen innefattar att verifiera kraven på underhållsentrepnaderna. Huvudinspektionens syfte är att bedöma skador och brister som påverkar brons funktion och säkerhet inom en period på tio år.

Nedan presenteras återkomsttider för underhållningsarbeten:

1 år - Rengöring av fuktbindande material t.ex. växtlighet, grus, jord och löv (Skogforsk, 2018). Räcken kontrolleras enligt leverantör. Eventuell bättringsmålning av ytbehandling på stålbalkar. Rengöring av gummiprofiler på övergångskonstruktioner.

6 år - Huvudinspektion. Vid inspektionen kontrolleras samtliga konstruktionselement för brister som sprickor i betongen och sprickor i stålkonstruktionen, vilket görs på handnära avstånd (Trafikverket, 2015a). Även kloridhalt och karbonatisering i betongen, korrosion på armering, svetsförband och skruvförband inspekteras för att avgöra om särskild inspektion är nödvändig.

10 år - Förnya ytbehandling som skyddar betongen från kloridintränging (Vägverket, 1994). Utbyte av gummiprofiler (Eriksen, 2009).

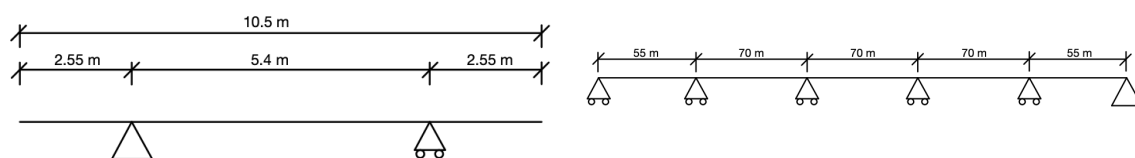
30 år - Ommålning av stålbalkar, kantbalks- och kanträckesbyte samt byte av lager (Eriksen, 2009).

6 Preliminära beräkningar

I följande kapitel presenteras resultatet av de beräkningar som gjorts under den preliminära dimensioneringen av bron. I beräkningarna antogs de två separata brobanorna vara identiska och därmed genomfördes enbart beräkningar på en av dem.

6.1 Beräkningsmodell

I figur 18 nedan presenteras beräkningsmodeller som redovisar brons randvillkor i både längs- och tvärled. För att underlätta beräkningar har vissa förenklingar av beräkningsmodellerna gjorts samtidigt som de behåller en tillräckligt god representation av verkligheten för omfattningen av denna rapport. Lutning och skevning av brobanan försumrades samt brobaneplattan i tvärled beräknades som en balk istället för en platta. Vid beräkningar av tvärkraftskapacitet antas liven vinkelräta mot brobaneplattan och att liven tar upp all tvärkraft.



(a) Beräkningsmodell för betongbrobana i tvärled

(b) Beräkningsmodell i för samverkantvårsnitt i längsled

Figur 18: Beräkningsmodeller

6.2 Lastfall

Beräkningar av lastfall gjordes enligt Eurokod SS-EN 1991-2 och lastmodell 1 användes. Ett antal lastfall ställdes upp för att beräkna de mest ogynnsamma lastkombinationerna. Antalet lastfall i tvärled var fyra stycken och antalet lastfall i längsled var tre stycken. Dimensionerande tvärkrafter och moment från lastmodell 1 tillsammans med egentygnden i stöd och fält presenteras i tabell 7, för tvärled respektive längsled. Se bilaga E för beräkningar och lastfall.

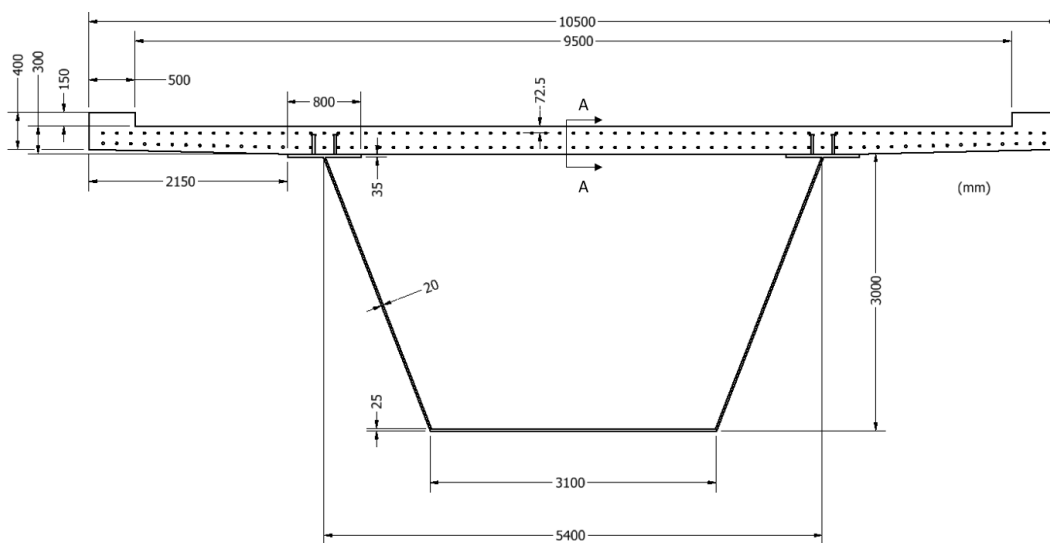
Tabell 7: Dimensionerande tvärkrafter och moment i stöd och fält

	$V_{Ed, stöd}$ [kN]	$M_{Ed, fält}$ [kNm]	$M_{Ed, stöd}$ [kNm]
Tvärled	439,1	371,31	-374,85
Längsled	8210,2	65356	-90438,3

6.3 Tvärsnitt

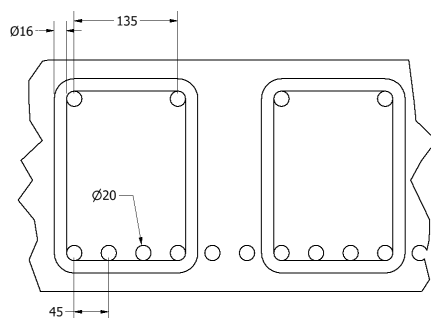
Utifrån dimensionerande moment och tvärkraft i bronns tvär- och längsled togs preliminära dimensioner för lådbalken och brobanepattan fram, se figur 19 för resulterande tvärsnitt. Dimensionering och kontroller av tvärsnittets kapacitet i brott och bruksgränstillstånd presenteras i bilaga F för tvärled och i bilaga G för längsled.

Utifrån exponeringsklass XD3 valdes betongklass C35/45 och ett minsta täckande betongskikt till 40 mm. Stålet i lådbalken består av stålqualität S355. All armering i betongbroplattan är av stålqualität B500B.



Figur 19: *Tvärsnitt längsled över stöd*

I längsled armeras betongen enligt figur 19. Längsgående armering i fält består av 66 armeringsjärn $\phi 20$ mm jämnt fördelade över två lager. Över stöd består armeringen av 130 armeringsjärn $\phi 25$ mm jämnt fördelade över två lager. Armeringen längsled är nedsänkt 25 mm för att inte korsa armeringen i tvärled. I tvärled armeras betongen enligt figur 20 som visar hur tvärgående armering är inlagd i brobanans mitt.

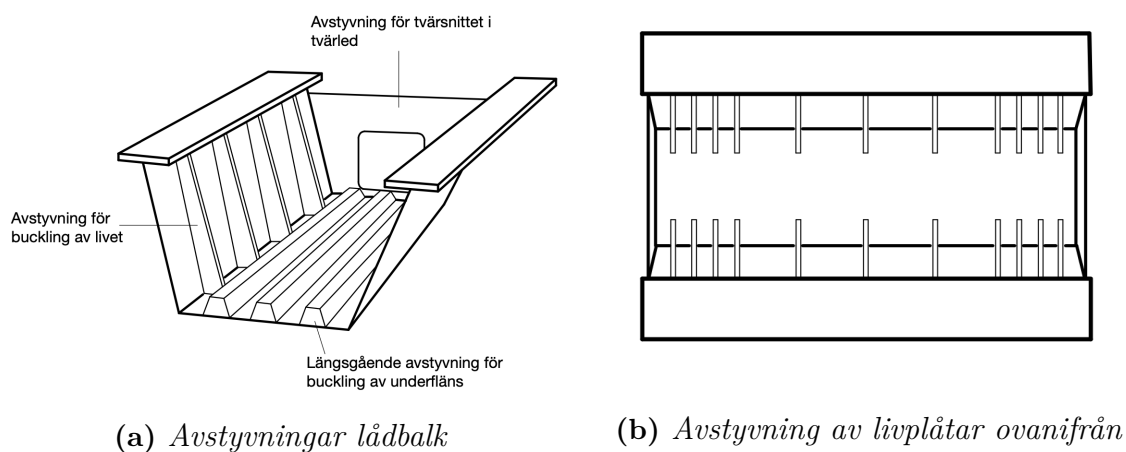


Figur 20: *Sektion A-A i figur 19. Tvärsnitt i tvärled för betongplattans mitt*

6.4 Avstyvningar

Med hjälp av avstyvningar minskar risken för instabilitetsfenomen som vippning och buckling. För att lådbalken ska klara av de dimensionerande tvärkrafterna måste avstyvningar för livplåtarna sättas längsmed balken. Längsgående avstyvningar behövs för att underflänsen inte ska buckla och livet styvas av i tvärläng över stöd med en tvärgående plåt. Den tvärgående plåten förses med ett hål för att möjliggöra förvaltning i lådbalken.

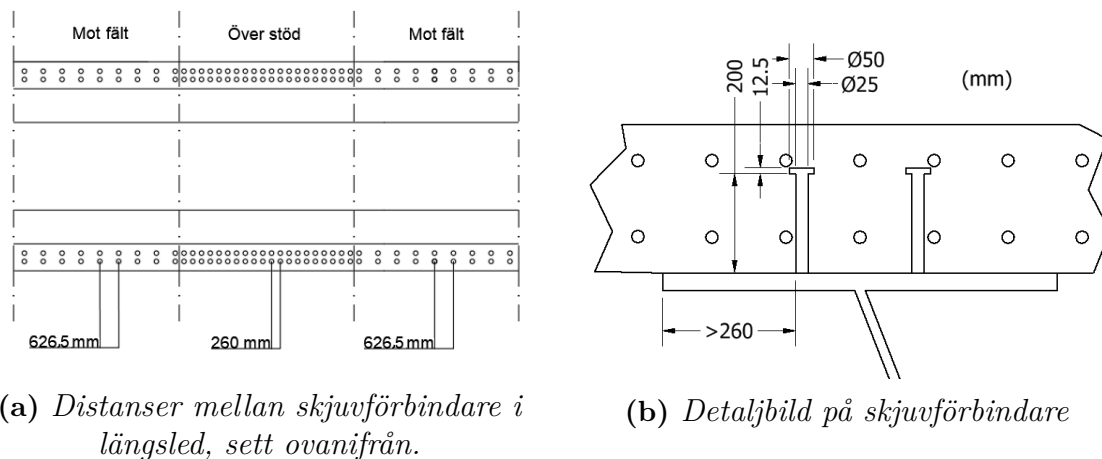
Figur 21 visar principiellt hur livavstyvningarna ska placeras i lådbalken. Avstånden mellan livavstyvningar varierar vid stöd och fält, över stöd är avståndet mellan livavstyvningarna satta till 1,5 m och i fält 6 m. Se bilaga G för beräkningar av avstånden.



Figur 21: Principskisser på avstyvningar

6.5 Samverkan

För att brobanan och lådbalken ska kunna samverka måste skjuvförbindare svetsas fast på de två övre flänsarna och gjutas in i betongen. Varje fläns förses med två 25 mm tjocka skjuvförbindare som placerades parvis längsgående balken. Se figur 22a och 22b för placering och utformning av skjuvförbindarna. Beräkningar för dessa återfinns i bilaga H.

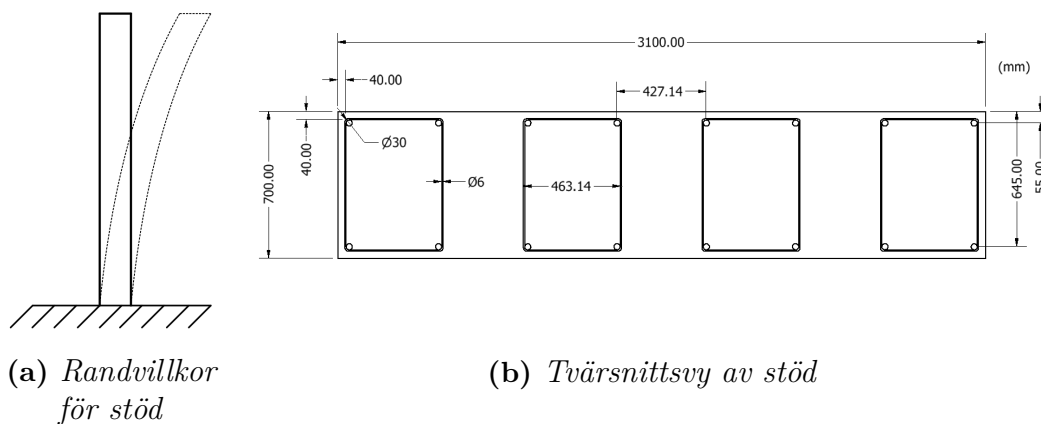


Figur 22: Dimensioner för skjuvförbindare

6.6 Stöd

Vid beräkning av stöd har endast det högsta stödet, med en höjd på 16,7 m, beaktats eftersom det är det mest kritiska. Detta stöd antas vara fast inspänt i marken och har rörliga lager i brons längsled i överkant, se avsnitt 5.4. Detta resulterar i en beräkningsmodell för pelare enligt figur 23a nedan. Då det inte går någon väg under bron har stödet inte dimensionerats för olyckslast och det har därmed maximalt avstånd mellan tvärkraftsarmeringen i längsled. Stödet har endast dimensionerats utifrån den maximala stödreaktionen enligt lastfallsberäkningarna.

Det slutgiltiga tvärsnittet blev ett rektangulärt tvärsnitt med bredden 3,1 m och höjden 0,7 m med betongklass C35/45. Betongen är armerad med 16 $\phi 30$ mm stänger uppdelade jämnt på vardera sida enligt figur 23b. Tvärkraftsarmering är placerad med ett mellanrum på 0,96 m i längsled och i varje snitt finns 4 byglar $\phi 6$ mm. Se bilaga I för beräkningar.



Figur 23: Vyer för dimensionering av stöd

7 Diskussion

Framtagningen av brokoncept och den preliminära dimensioneringen har varit en iterativ process. Under projektets gång har ny kunskap erhållits som ändrat de tidigare bedömningarna av de olika brokoncepten och beräkningar har gjorts upprepade gånger för att resultera i en bro som uppfyller kraven.

Viktning av kriterierna samt bedömning av brokoncepten har i viss utsträckning varit subjektiva, exempelvis estetiken. Om kriterierna hade viktats annorlunda skulle det möjligtvis resulterat i ett annat slutgiltigt brokoncept. I bedömningen baserades konceptens miljöpåverkan på grova uppskattningar och inte någon livscykelanalys, vilket hade krävts för en rättvis bedömning. I och med att miljöpåverkan viktats högt bland kriterierna ger eventuella fel i bedömningen ett stort utslag i urvalsprocessen. Dessutom hade inte ekonomin, i ett realistiskt scenario, viktats lika lågt som det gjorts i denna rapport utan hade istället varit ett av de mest styrande kriterierna. Följden av detta blir att skillnaderna i kostnaderna för brokoncepten inte ger lika stora utslag i utvärderingen som det hade gjort i ett realistiskt scenario.

Med hänsyn till att dimensioneringen endast varit i det preliminära skedet har en del beräkningar förenklats och flera beräkningar återstår. En genomgående förenkling är att det endast har gjorts beräkningar på en av brobanorna. Dessa antogs vara identiska även om de i verkligheten skiljer sig, exempelvis på deras längd. Alla förenklingar som gjorts under beräkningar i brodimensioneringen är sammantaget svåra att avgöra om de har en gynnsam eller ogynnsam effekt på det valda brokonceptet. Med detta i åtanke har en utnyttjandegrad på kapaciteten, för samtliga beräkningar, som högst varit 90%. Detta för att bron dimensioner ska vara rimliga när förenklingarna inte gäller.

Beräkningar för tvärsnittet har gjorts utifrån kritiska snitt, vilket resulterat i ett tvärsnitt med tillräcklig kapacitet för maximal tvärkraft och maximalt moment. En detaljdimensionering skulle inkludera fler lastfall och fler snitt för att optimera tvärsnitten längs bron, med lägre materialåtgång och egentynngd som resultat.

Genomgående för projektet är att litteratur av varierande typer använts. För urval av brokoncept användes bland annat givna källor från handledare och rapporter från myndigheter. För den preliminära dimensioneringen av det slutgiltiga brokonceptet har förhållning till gällande standarder och krav styrt utformningen av bron. Detta har varit en tydlig vägledning för tillvägagångssätt vid utformning av bron men har begränsat möjligheten till kreativitet i viss mån.

8 Slutsats

Syftet med rapporten var att ta fram och preliminärt dimensionera en bro på riksväg 40 vid Karlsnäs industriområde i Ulricehamn. Detta resulterade i en samverkansbro med en ställådbalk och en överliggande brobana i betong, efter ett urval från ett flertal olika brokoncept. Att bron planeras ligga i en kurva har tagits hänsyn till vid val av tvärsnittet. Två separata brobanor valdes framför en gemensam brobana då fördelarna visade sig vara fler och större för detta.

Brons tvärsnitt har dimensionerats utifrån de värst utsatta snitten och är på grund av detta överdimensionerad för stora delar av bron, vilket gör att bron har en betydande materialineffektivitet. Innan bron kan produceras och uppföras, återstår en mängd beräkningar och dimensioneringar. Exempel på dessa är dimensionering av svetsar, räckesinfästningar och avstyvningar samt avkortning av armering, optimering av tvärsnitt, beräkning av horisontella laster, flänsbuckling, interaktion, och materialutmattning.

Sammantaget kan det konstateras att broprojektering är en lång och iterativ process med många faktorer att beakta och mycket beräkningar att utföra. Det brokoncept som tagits fram uppfyller de krav som ställs på en motorvägsbro och trots att flera beräkningar återstår, anses den framtagna bron vara rimlig för tilltänkt plats.

Referenser

- Al-Ermani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner del 1*. Chalmers Tekniska Högskola.
- Eriksen, J. (2009). *Bro utan lager vinnare när miljöanalys görs*. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:987389/FULLTEXT01.pdf?fbclid=IwAR3bU-cz_ZHfBKP1BtGvFbjFsAuFBXWMC8oUkNTFALAY_-lhY7zhxZunlE0
- Lebet, J.-P. & Hirt, M. A. (2013). *Steel Bridges - Conceptual and Structural Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges*. EPFL Press. <https://doi.org/10.1201/b15429-20>
- Lin, W. & Yoda, T. (2017). *Bridge Engineering - Classifications, Design Loading, and Analysis Methods*. Butterworth-Heinemann.
- Noury, P. (2017). *On failiur of high strenght steel bridge roller bearings* (Doktorsavhandling). Luleå University of Technology. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1134615/FULLTEXT01.pdf>
- Region Jönköping. (2016). *Åtgärdsvalsstudie väg 40 Ulricehamn - Jönköping*. <https://www.ulricehamn.se/innehall/2016/12/Rapport-%C3%85VS-inklusive-bilagor-och-framsida-f%C3%B6r-webben.pdf>
- Ritter, M. A. (1990). *Timber Bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance*. <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=umn.31951d00276578k&view=1up&seq=3&skin=2021>
- Skogforsk. (2018). *Förvaltning - En övergripande brohandledning*. https://www.skogforsk.se/cd_20190114162828/contentassets/5fa76c46521a4b2daac59f0e9dd16607/forvaltning---en-overgripande-brohandledning.pdf
- Svensk Betong. (u. å-a). *Koldioxidutsläpp*. Hämtad 15 februari 2022, från <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-platsgjutet/hallbart-byggande/bestandighet-och-livslangd-2>
- Svensk Betong. (u. å-b). *Koldioxidutsläpp*. Hämtad 15 februari 2022, från <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/miljo-och-hallbarhet/koldioxidutslapp>
- Svenska Kommunförbundet. (1998). *Träbroar - Ett alternativ till stål och betong*. <https://docplayer.se/9494438-Trabroar-svenska-ett-alternativ-till-stal-och-betong-kommunforbundet.html>
- Tillväxtanalys. (2018). *Metaller och deras betydelse för produkters klimatavtryck*. <https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.62dd45451715a00666f1c3c1/1586366166371/Metaller%5C%20och%5C%20deras%5C%20betydelse%5C%20f%C3%B6r%5C%20produkters%5C%20klimatavtryck.pdf>

- Trafikverket. (2005). *Den goda resan, Investeringar i det nationella stamnätverket*. https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10870/RelatedFiles/2004_93C_Den_goda_resan_Investering_i_det_nationella_stamvagnatet_revidering_november_2005.pdf
- Trafikverket. (2014). *BaTMan - Kodförteckning och beskrivning av brotyper*.
- Trafikverket. (2015a). *BaTMan - Handbok för inspektion av byggnadsverk*. <https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/biblioteket/Dokument/Handbok%5C%20foer%5C%20inspektion%5C%20av%5C%20byggnadsverk.pdf>
- Trafikverket. (2015b). *Väg 40 Ulricehamn utbyggd till motorväg*. <https://docplayer.se/31602214-Vag-40-ulricehamn-utbyggd-till-motorvag.html>
- Trafikverket. (2019). *Transport av odelbar last utan dispens*. Hämtad 24 februari 2022, från <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/Transportdispens/Transport-av-odelbar-last-utan-dispens/#:~:text=En%5C%20transport%5C%20av%5C%20l%5C%20C3%5C%A5ng%5C%20odelbar,f%5C%20B6reskrifterna%5C%20%5C%20C3%5C%A4r%5C%2030%5C%20C0%5C%20meter>.
- Trafikverket. (2022a). *Broprojekteringshandbok Utgåva 1*.
- Trafikverket. (2022b). *VGU - Vägars och gators utformning Version 1.0*. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1621114/FULLTEXT02.pdf>
- Turner, L. K. & Collins, F. G. (2013). Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymers and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials*, 43, 125–130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023>
- Vägverket. (1994). *BRO 94, 7. Brounderhåll*. https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11034/RelatedFiles/1994_7_bro_94_del_7_brounderhall.pdf
- Vägverket. (1999). *Optimala standarder (bro)*. https://www.trafikverket.se/contentassets/8425704897db43059cb747ece4421b95/forstudie_till_fou_projektet_optimala_standarder_bro.pdf

A Teknisk Beskrivning



Kontraktshandling 11.9
Förfrågningshandling 11.9

TRAFIKVERKET
PROJEKT VÄG 40 DÅLLEBO-ULRICEHAMN
DELEN DÅLLEBO-HESTER, ETAPP 2
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN

TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK

avseende

15-1758-1

BRO ÖVER KARLSNÄS IND-OMRÅDE, 300 m S VIST KYRKA, KM 12/880 - 13/200

OBJEKTNR 85 43 60 30

CHAOSNR 2K110002

Handlingen upprättad 2011-09-15

Handlingen reviderad: 2011-11-30

Innehåll

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA	4
Objektdata	4
Dokumentdata	4
REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING	5
Dokumentutformning	5
Avsnitt	5
Rubriker enligt Dispositionen	5
Typer av konstruktioner	5
Kravhierarkier	6
Förteckning över okodade underrubriker	6
B. TRAFIK	7
B1. Vägtrafik	7
C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER	8
C1. Befintlig mark och miljö	8
C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden	8
C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden	8
C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden	9
C1. Befintlig mark och miljö/Naturmiljö	9
C1. Befintlig mark och miljö/Kulturmiljö	9
C2. Befintliga konstruktioner	9
C2. Befintliga konstruktioner/ Ledningar	9
C2. Befintliga konstruktioner/ Högspanningsledning	9
C2. Befintliga konstruktioner/ Fjärrvärmeledning	9
C2. Befintliga konstruktioner/ VA-nät	10
D. VÄGANLÄGGNING	11
DB. Vägkonstruktion	13
DB2. Underbyggnad	13
DC. Vägbro	14
DC1. Bärverk i vägbro	14
DC12. Balk/ Kantbalk	14
DC13. Stöd, upplagsanordningar eller vingmur	15
DC13b. Stöd	15
DC13c. Upplagsanordningar	15
DC13cb. Lager	15
DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning	15
DC2. Grundläggning av vägbro/ fyllning	16
DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning	16
DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta	17
DC3. Komplettering i vägbro	17
DC31. Beläggning	17
DC33. Tätskikt, skyddslager	17
DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt	17
DC35. Övergångskonstruktioner	17
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa	18

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb	18
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubb	18
DC4. Slänt eller kon	18
DC41. Slänt	18
DC42. Kon	18
DE. Avvattningssystem	18
DE1. Dagvattensystem	18
DE2. Dränvattensystem	19
DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro	19
DF. Trafikskyddsanordning	19
DF2. Räcke	19
DF21. Sidoräcke	19
DF21. Sidoräcke/ Broräcke	20
DF22. Mitträcke/ Broräcke	20
DF25. Räckeskomplettering/ Bullerskyddsskärm	20
DK. Elsystem och telesystem	21
DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsror på bärverk	21
DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsror i betongkonstruktion	21
X. DOKUMENTATION	22
X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering	22
XB. Projekteringshandling	22
XB. Projekteringshandling/ Design basis	22
XC. Arbetshandling	22
XC. Arbetshandling/ Vägbro	22
XD. Relationshandling	23
XD. Relationshandling/ Vägbro	24

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA

Objektdata

Vägnummer: Väg 40

Vägnamn: Väg 40 Borås - Ulricehamn

Objektnamn: Delen Dällebo – Hester, Etapp 2

Objektnummer: 85 43 60 30

Kommun: Ulricehamns Kommun

Län: Västra Götaland

Dokumentdata

Titel: Teknisk Beskrivning Byggnadsverk
15-1758-1 Bro över Karlsnäs ind-område, 300 m S Vist Kyrka

Dokumentslag: 2K110002, Bygghandling

Utgivningsdatum: 2011-09-15

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Gunnar Jellbin

Konsulter: COWI AB

Carl Kiviloo Broprojektör

Ove Bramstång Geotekniker

REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING

Dokumentutformning

Avsnitt

För denna OTB gäller att den innehåller rubriker under avsnitten:

- Objekt- och dokumentdata
- Regler för denna beskrivning
- B. Trafik
- C. Befintlig mark, miljö och konstruktioner
- D. Väganläggning
- X. Dokumentation.

I avsnitt "Objekt- och dokumentdata", anges uppgifter som en del av förvaltningsdata.

I avsnitt "Regler för denna beskrivning" anges regler för tolkning av denna beskrivning. Här anges bland annat uppdelning i avsnitt, användning av rubriker och underrubriker samt kravhierarkier (pyramidregel).

I avsnitt "B. Trafik" anges den trafik som konstruktionerna ska dimensioneras för.

I avsnitt "C. Befintlig mark, miljö och konstruktioner" beskrivs de befintliga förhållandena före entreprenadens genomförande samt eventuella krav på åtgärder.

I avsnitt "D. Väganläggning" anges förutsättningar och krav som gäller för entreprenaden avseende gestaltning, utformning och byggande.

I avsnitt "X. Dokumentation" anges krav på dokumentation m.m.

Rubriker enligt Dispositionen

Avsnitt som inleds med en bokstavskod (Exempel: "B. Trafik") är strukturerade med rubriker enligt en av Trafikverket framtagen disposition. Texterna är insorterade under dessa rubriker. Rubrikerna består av kod och benämning.

Exempel: Rubriken "D. Väganläggning", där "D" är koden och "Väganläggning" är benämningen (klartexten) för koden "D".

Typer av konstruktioner

Väganläggning (hel väganläggning) uttrycks av rubriken "D. Väganläggning". Där beskrivs det som gäller för hel väganläggning.

Konstruktion eller konstruktionsdel (del av väganläggning) uttrycks i Dispositionen av de bokstavskodade rubrikerna "DB. Vägkonstruktion", "DC. Vägbro" och så vidare inklusive deras underliggande bokstavskoder (som alltså saknar snedstreck). Under varje sådan rubrik beskrivs det som gäller för denna konstruktion.

Typ av konstruktion uttrycks i Dispositionen av rubrik för konstruktion följt av "/x" där x anger typ av konstruktion. Exempel på rubrik är "DC11. Brobaneplatta/ Platsgjuten brobaneplatta" där brobaneplatta är konstruktion och platsgjuten brobaneplatta är typ av sådan konstruktion.

Kravhierarkier

Koderna är uppbyggda så att varje tillkommande tecken, räknat från vänster till höger, anger ett begrepp på underordnad nivå. Exempelvis är "DB" underordnad "D" och "D" är överordnad "DB".

Vissa koder innehåller dock i stället för ett tillkommande tecken ett snedstreck ("/") följt av en benämning. Detta snedstreck och benämning motsvarar ett tillkommande tecken, det vill säga en (1) kodposition i hierarkiskt avseende.

Krav under rubrik med överordnad kod gäller även som krav under en underordnad kod. Exempelvis gäller krav under "D" som tillägg till krav under "DB".

Krav under en underrubrik gäller även som krav under en mera specificerad underrubrik. Exempelvis gäller krav under "Teknisk lösning" som tillägg till krav under "Teknisk lösning. Märkning".

Förteckning över okodade underrubriker

Under okodade underrubriker anges krav indelade enligt följande.

De okodade underrubrikerna är:

- Omfattning
- Funktion
- Teknisk lösning
- Kontroll

Under "Funktion" och under "Teknisk lösning" ställs krav och anges kvalitetsnivåer. För varje krav ställs i direkt anslutning krav på dess kontroll under rubriken "Kontroll".

Under "Funktion" hanteras följande:

- Bärförmåga, stadga och beständighet
- Säkerhet vid användning
- Hälsa och miljö
- Buller
- Energihushållning
- Säkerhet vid brand

Under "Teknisk lösning" hanteras följande:

- Material
- Vara
- Konstruktion
- Utförande
- Märkning

Under "Kontroll" hanteras följande:

- Provning (inklusive mätning)
- Beräkning
- Besiktning

B. TRAFIK

B1. Vägtrafik

ÅDT för väg 40 beräknas till 12000 (år 2015). År 2035 beräknas ÅDT till 15100. Andel tung trafik ska förutsättas vara 22%.

Alla personbilar ska förutsättas ha dubbdäck under perioden 1 oktober till 30 april. Vidare ska förutsättas att vägbanan saltas.

C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER

Omfattning

De befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar, som berörs eller behöver rivras eller flyttas eller mark som behöver avverkas eller röjas, beror på hur entreprenören utformar brobygget. Under ”C1. Befintlig mark och miljö” samt under ”C2. Befintliga konstruktioner” listas de objekt som kan komma att beröras med typ och läge.

Entreprenören ska för befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar, som berörs av entreprenaden, projektera och utföra vad som erfordras för att uppfylla angivna krav.

Där det på ritning anges att hus eller anläggning, t.ex. väg eller annan anläggning ska bortschaktas ska även berörda trafikskydds- och trafikledningsanordningar rivras. Återställning efter bortschaktning ska ske till standard lika omgivande mark.

Funktion

Befintliga funktioner på befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar ska vara oförändrade under byggandet av den nya bron och efter det att den har tagits i bruk.

Kontroll

Kontroll ska ske på sätt som anges under aktuell rubrik. Saknas kontrollmetod gäller att kontroll ska ske enligt vedertagna och beprövade metoder eller enligt dokumenterade vetenskapliga metoder eller genom besiktning där besiktningsmannen genom besiktning avgör om alla krav uppfyllts.

C1. Befintlig mark och miljö

Se plan, längd- och tvärsnitt på ritning nummer 244G1101, 244G1201-244G1203 och 201G13AU-201G13AZ.

C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden

Omfattning

Från blivande brons västra ändpunkt består terrängen mestadels av skogsmark till ungefär km 13/020. Markytan sluttar inom denna del mycket brant åt öster mellan nivåerna +200 och +175. Därefter förekommer industrimark där markytan ligger relativt plan på nivån +175 till ungefär km 13/140. Resterande del till brons östra ändpunkt består terrängen av en gles trädbevuxen bäckravin där botten ligger som lägst på nivån +171 och ravinkrönen på nivån +174. Omedelbart söder om brons östra landfäste sträcker sig en industrigata där körbanan ligger på nivån ungefär +174,5.

C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden

Omfattning

Teknisk lösning

Schakt för väg kommer att utföras enligt TB/väg.

C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden

Omfattning

En fri vattenyta har avlästs 2005-06-01 i öppna skruvprovtagningshålet A8. Vattenytan befinns då ligga på nivån +172,8 d v s 1,5m under befintlig markyta. Även en filterspets (A8R) installerades på nivån +134,1 i det fastare friktionsjordslagret. Denna har avlästs mellan 2005-05-26 och 2010-06-24. Grundvattentrycket antages hydrostatiskt från nivån +166 strömningsriktningen går mot älven både för det i den överst liggande zonens fria grundvatten liksom i det undre liggande bundna grundvattnet.

C1. Befintlig mark och miljö/Naturmiljö

Omfattning

Omläggning av bäck i läge för bron i km 12/880-13/200 utförs enligt handling 10.1 MF Väg 40, se ritning 200W5113-14 för slutligt utförande samt befintlighetsplan 201N0211 för nuvarande placering.

C1. Befintlig mark och miljö/Kulturmiljö

Omfattning

Arbetsområdet i läge för bron i km 12/880-13/200 ligger i anslutning till område för kulturmiljö, se ritning 201N0211.

C2. Befintliga konstruktioner

C2. Befintliga konstruktioner/ Ledningar

Omfattning

Befintliga ledningar för el, tele och opto i anslutning till område för bron i Bron över Karlsnäs ind-område är placerad enligt ritning 200W5113-14.

C2. Befintliga konstruktioner/ Högspänningsledning

Omfattning

Befintliga markförlagda högspänningsledningar 40 kV och 10 kV i anslutning till område för Bron över Karlsnäs ind-område läggs om. Omläggningarna ombesörjs av ledningsägare (UEAB), se ritning 200W5113-14.

C2. Befintliga konstruktioner/ Fjärrvärmeledning

Omfattning

Befintliga fjärrvärmeledningar i anslutning till område för Bron över Karlsnäs ind-område är placerad enligt ritning 200W5113-14.

C2. Befintliga konstruktioner/ VA-nät

Omfattning

Befintliga vattenledningar i anslutning till område för Bron över Karlsnäs ind-område läggs om enligt handling 10.1 MF väg40, se ritning 200W5113-14.

D. VÄGANLÄGGNING

Omfattning

Denna tekniska beskrivning byggnadsverk omfattar 15-1758-1 Bro över Karlsnäs ind-område, 300 m S Vist Kyrka.

Kontroll

Kontroll ska ske på sätt som anges under aktuell rubrik. Saknas kontrollmetod gäller att kontroll ska ske enligt vedertagna och beprövade metoder eller enligt dokumenterade vetenskapliga metoder eller genom besiktning där besiktningsmannen genom besiktning avgör om alla krav uppfyllts.

Funktion

Väganläggning ska uppfylla de krav som föranleds av den trafik som framgår av avsnitt B1. Vägtrafik.

Vid dimensionering ska VVFS 2003:140 "Vägverkets föreskrifter om tekniska egenskapskrav vid byggande på vägar och gator (vägregler)" och VVFS 2004:31 "Vägverkets föreskrifter om bärförmåga, stadga och beständighet hos byggnadsverk vid byggande av vägar och gator" följas i kombination med VVFS 2004:43 "Vägverkets föreskrifter om tillämpning av europeiska beräkningsstandarder".

Vid utformning och dimensionering för bärförmåga, stabilitet och upplyftning av de delar i väganläggning som omfattas av Vägverkets publikation 2009:46, TK Geo ska minst krav i kap. 1, 2, 3, 4 och 5 uppfyllas.

Vid utformning och dimensionering av de delar i väganläggning som omfattas av Vägverkspublikation 2009:120 VVK Väg ska minst krav i kap. 1, 2 och 4 uppfyllas.

Vid utformning och dimensionering av byggnadsverk ska VV publikation 2009:27 TK Bro följas. TK Bro ska tillämpas enligt avsnitt A.1.5.3. För dimensioneringsmetoder, utformningar eller utförandemetoder och som har använts av entreprenören och som inte är beskrivna i TK Bro ska förslag till teknisk lösning innehållande en särskild kravspecifikation upprättas enligt avsnitt A.1.4 Teknisk lösning. Väganläggningens utformning, gestaltning och miljö ska uppfylla krav i denna TB.

All utformning ska utgå från ett trafiksäkerhetstänkande samt att drift och underhåll ska kunna utföras effektivt och med moderna metoder. Trafikmiljön ska utformas förlåtande. Oskyddade trafikanters behov ska beaktas.

Entreprenadarbeten ska bedrivas så att fornminnen inte skadas.

För del av väganläggning där krav inte ställts ska den ambitions- och kvalitetsnivå följas som uttryckts genom ställda krav för övriga delar av aktuell väganläggning.

Kontroll. Funktion

Under byggskedet ska entreprenören följa upp och kontrollera i tillräcklig omfattning att beräkningsförutsättningar, beräkningsantaganden, materialegenskaper och lagertjocklekar samt övriga produktionsresultat och gjorda utfästelser för material och varor som förutsatts vid projekteringen överensstämmer med förutsättningar och antaganden som använts vid projekteringen.

För dimensioneringsmetoder, utformningar eller utförandemetoder som inte omfattar krav på produktionsresultat som ansluter till AMA Anläggning 07 ska kontroll uppfylla krav enligt en särskild kravspekifikation som är upprättad och godtagen enligt VV publikation 2009:27 TK Bro, A.1.4 och A.1.9.

Teknisk lösning

Avvikelse från förfrågningsunderlagets profilhöjder får inte ske.

I de fall entreprenören väljer tekniska lösningar eller material ska krav enligt TK Bro, TK Geo kapitel 6-17 eller VVK Väg och krav på material eller utförande som återopas genom hänvisning till AMA Anläggning 07 vara uppfyllda. Produktionsresultat utifrån dessa val ska uppfylla krav på kontroll enligt AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska tillämpas.

Kravnivå för enskilda produkter ingående i broar och byggnadsverk ska uppfylla implementerade SS-EN standarder och där sådan saknas ska nivå på tillämplig egenskap specificerad i AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 uppfyllas, varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska uppfyllas.

Ingående material ska ha sådana egenskaper att konstruktionsdelen i allt väsentligt behåller sina hållfasthetsegenskaper under hela den dimensionerande tekniska livslängden.

Om för material och vara särskilda bestämmelser för SS-EN utgivits ska entreprenören eller dennes leverantör genom kontroll eller intyg eller genom verifiering enligt nivå 1 visa att bestämmelserna för aktuell standard tillämpas med i bestämmelserna angivna förutsättningar avseende t.ex. utförande och samhörighet med andra standarder.

Material ska vara:

- acceptabla ur miljö- och hälsosynpunkt
- sådana att de inte ger problem vid återanvändning, deponering eller destruktion.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske i byggskedet enligt av entreprenören upprättat kontrollprogram

För produkt, material eller vara ska tillverkaren genom verifiering eller kontroll visa att den tekniska livslängden minst motsvarar kraven på dimensionerande livslängd för den konstruktion som material eller vara är avsedd för.

I de fall entreprenören väljer tekniska lösningar eller material ska krav enligt TK Bro, TK Geo kapitel 6-17 eller VVK Väg och krav på material eller utförande som återopas genom hänvisning till AMA Anläggning 07 vara uppfyllda. Produktionsresultat utifrån dessa val ska uppfylla krav på kontroll enligt AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska tillämpas.

Om produkter, material och varor som är beskrivna i AMA Anläggning 07 väljs för väganläggningen ska kontroll och verifiering uppfylla krav enligt AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska tillämpas.

För produkter, material och varor som inte är beskrivna i AMA Anläggning 07 ska kontroll och verifiering uppfylla krav enligt en särskild kravspecifikation som är upprättad och godtagen enligt VV publikation 2009:27 TK Bro, A.1.4 och A.1.9 alternativt VVK 1.1.1. Verifiering av att sådana produkter, material och varor uppfyller ställda krav kan ske genom certifiering enligt nivå 1 enligt AMA Anläggning 07 kod YE eller genom tillverkarförsäkring enligt nivå 2-4. Att produkt, material eller vara uppfyller ställda krav kan alternativt, där en europeisk standard, SS-EN, finns, ske genom att krav i aktuell standard uppfylls till i standarden angiven bekräftelseprocedur.

Teknisk lösning. Märkning

Märkning ska överensstämja med upprättad teknisk dokumentation och däri återopade produktstandarder.

Märkning ska utföras av beständigt material med beständig text och betryggande fastsättning. Text ska skrivas på svenska. Endast vedertagna förkortningar får användas.

Märkning ska placeras synlig.

Märkband och skyltar placerade utomhus ska vara beständiga mot UV-strålning, föroreningar m.m.

Märkkulörer ska vara enligt SS 03 14 11.

Märkning ska utföras innan installation tas i drift. Märkning ska utföras så att tvekan inte kan uppstå om vilken komponent märkningen avser och så att märktext lätt kan läsas under drift.

Märkskyltar, märkband o.d. som riskerar nedsmutsning ska förses med ytskikt eller vara behandlade med preparat som underlättar rengöring.

Kontroll. Teknisk lösning. Märkning

Kontroll ska ske genom besiktning.

DB. Vägkonstruktion

DB2. Underbyggnad

Omfattning

Fyllning mot bro skall utföras med förstärkningslagermaterial (0-90 mm) enligt AMA DCB.211 och enligt TK Geo, tabell 7.3-1 upp till terrassnivå för anslutande väg eller underkant släntkappor.

Teknisk lösning

Fyllning skall ske med försiktighet så att betongkonstruktioner inte skadas.

Aktuell vägöverbyggnad framgår av normalsektionsritning.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske genom besiktning och provning.

DC. Vägbro

Funktion

Funktionskrav utöver VV publikation 2009:27 TK Bro framgår av geometriska krav för fria utrymmen enligt förslagsritningar.

Formgivningsvillkor framgår av förslagsskiss.

Bron ska ha en dimensionerade teknisk livslängd på 80 år.

Broarbetet påverkas inte av allmän trafik.

Kontroll. Funktion

Grundläggingsarbetena skall kontrolleras i Geoteknisk kategori GK2.

Teknisk lösning

Gjutfog får inte placeras i synliga ytor på vingmurar eller stödmurar.

För kantbalkars yttersidor får endast bräder som tidigare använts som formmaterial nyttjas. Kantbalkars insida formsätts med valfri form som kläs med formsättningsduk. Detta gäller även del av vingmurar som formsätts med lutande överform.

Alla skarpa hörn fasas genom att en trekantlist sätts i formen. Droppnäsor utförs med 20 mm trekantlist.

Gjutetapper på pelarstödens synliga delar ska vara symmetriska och planeras så att ungefär samma etapplängder uppnås. Trekantlist ska sättas i formen vid gjutfogarna.

Formsläppmedel ska vara av vegetabilisk art och av typ som med dokumenterat gott resultat tidigare använts vid gjutning av brokonstruktioner.

Samtliga platsgjutna konstruktionsdelar ska utföras med anslutningar för elektrokemisk potentialmätning.

DC1. Bärverk i vägbro

Teknisk lösning

För kantbalk skall basmåttet vara minst 50 mm. Måttet ska innehållas även vid droppnäsor. För övriga konstruktionsdelar skall bas-måttet vara minst 40 mm.

Minsta differens mellan basmått skall vara 10 mm.

På synliga ytor ska formsteg av kompositmaterial eller rostfritt material användas.

DC12. Balk/ Kantbalk

Teknisk lösning

Kantbalkens bredd ska vara 500 mm. Vid kantbalksände fasas kantbalk 100 mm i plan på 200 mm längd på sida som vetter mot överliggande väg.

Kantbalken utformas som förhöjd och med rundning i underkant enligt förslagsritning 244K2002.

DC13. Stöd, upplagsanordningar eller vingmur

Teknisk lösning

Vingmurar, stödmurar och pelarstöd ska förses med reliefer med utformning och omfattning enligt förslagsritning 2 44 K 2002.

DC13b. Stöd

Teknisk lösning

Landfäste och mellanstöd ska förses med loddubbar på bägge sidor i princip enligt före detta VV ritning nr 582:2S-c.

DC13c. Upplagsanordningar

DC13cb. Lager

Teknisk lösning

Bron ska förutsättas med toplager. Lager ska vara CE-märkta.

DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning

Funktion

Krav på max tillåtna vibrationer m m framgår av Handling 13.2 "Riskanalys Mark- och Bergschaktningsarbeten".

Teknisk lösning

Schaktningsarbetena skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kap CBB.51

Schaktnings- och fyllningsarbeten för bottenplattor skall ske i torrhet.

Schaktning och gjutning i torrhet ska innefatta länshållning vid varje schakt för en tillrinning av 2000 l/min.

Terrassbotten för stöd 1 och dess stödmur skall packas så att minst medelhög relativ fasthet uppnås.

Eventuell bergschakt för stöd 1 skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kap CBC.5121 och kap CBC tabell CBC/2 bergschaktningstolerans 2.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska utföras genom besiktning samt för stöd 1 även undersökning av jordens relativa fasthet under grundläggningsnivån.

DC2. Grundläggning av vägbro/ fyllning

Teknisk lösning

Parametrar tagna ur TK Geo (VV publikation 2009:46):

Material	Egenskap	Karaktäristiskt värde
Packad fyllning	Tunghet (Tabell 5.2-1)	$\gamma_k = 18,0 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 21,0 \text{ kN/m}^3$
	Friktionsvinkel (Tabell 5.2-4)	$\Phi'_k = 38^\circ$
	E-modul (Tabell 5.2-3)	$E_k = 50 \text{ MPa}$
Friktionsmaterial (grusig siltig sand)	Tunghet (Tabell 5.2-1)	$\gamma_k = 18,0 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 21,0 \text{ kN/m}^3$
	Friktionsvinkel (Tabell 5.2-4)	$\Phi'_k = 33^\circ$
	E-modul (Tabell 5.2-3)	$E_k = 20 \text{ kPa}$

DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning

Omfattning

Grundläggning skall ske på betongpålar, där varje enskild påle är spets- och mantelburen och där huvuddelen av bärförmågan erhålls längs manteln i friktionsjord.

Funktion

Krav på max tillåtna vibrationer m m framgår av Handling 13.2 ”Riskanalys Mark- och Bergschaktningsarbeten” daterad.

Pålarna skall drivas ner till djup så att erforderlig geoteknisk bärförmåga kan verifieras (se även bilaga 8 till MUR Geo, handling 13.5, ”Sammanställning Provpålning Ätradalen” innehållande av Pålanalys utförd ”PDA mättningsrapport” över provpålning daterad 2009-12-15).

Teknisk lösning

Pålning skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CCB.121 samt pyramidalt överordnade koder.

Kontroll. Teknisk lösning

Produktionspålning inleds med provpålning av minst 3 pålar/stöd.

Grund- och tilläggskontroll skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CCB.

DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta

Teknisk lösning

Gjutningsarbete för bottenplattor skall förutsättas ske i torrhet.

Bottenplattas överyta skall ges en lutning av minst 2% mot fri kant.

Gjutning godtas utförd mot vattenavvisande papp eller plastfolie.

I tvärlid får den vertikala stödförskjutningen inte överstiga 1/500 av bottenplattans längd.

DC3. Komplettering i vägbro

Teknisk lösning

En skylt med god beständighet visande året för färdigställande ska monteras på varje bro. Placering bestäms i samråd med beställaren.

Klotterskydd av typ ”offerskydd” ska anbringas på synliga betongytor på landfästen, stödmurar och pelastöd. Klotterskyddet ska vara utprovat tillsammans med valt ytbehandlingspreparat.

DC31. Beläggning

Teknisk lösning

Bron ska förses med beläggning för väg 40 med 25 mm tillfälligt slitlager TSK, permanent slitlager om 40 mm utförs i sidoentreprenad enligt normalsektion 201T0401. Kombinerat skydds- och bindlager utförs med 50 mm PGJA.

DC33. Tätskikt, skyddslager

DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt

Teknisk lösning

Bron förses med tätskikt av isoleringsmatta på MMA-primer.

DC35. Övergångskonstruktioner

Omfattning

Övergångskonstruktioner anordnas vid landfästen.

Teknisk lösning

Bultinfästade övergångskonstruktioner godtas inte.

Stålet i övergångskonstruktionen ska på avrinningssidor dras ut 150 mm och gummidelen 200 mm utanför kantbalkens utsida.

Övergångskonstruktioner ska avvattas med tratt och stuprör vars samtliga delar ska utföras av syrafast rostfritt stål enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436.

Övergångskonstruktionen ska utformas tät längs med hela brobredden.
Fogbanden ska vara utbytbara för ett körfält i taget.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa

Teknisk lösning

Fog med fogmassa djup 40, bredd 20, utförs i slitlagret längs kantbalkar.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb

Teknisk lösning

Bron ska försees med avvägningsdubbar enligt TK Bro.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubb

Teknisk lösning

Bron, inklusive mellanstöden, ska försees med loddubbar enligt TK Bro.

DC4. Slänt eller kon

Omfattning

Ytskikt ingår ej i broarbetet.

DC41. Slänt

Teknisk lösning

Slänter runt bron (dock ej under bron) kläs med släntkappor bestående av 100 mm växtjord som besås, GR2-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 i Handling 11.1, TB väg.

Slänter i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:1,7.

DC42. Kon

Teknisk lösning

Koner runt bron kläs med släntkappor bestående av 100 mm växtjord som besås, GR2-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 i Handling 11.1, TB väg.

Koner i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:1,7.

DE. Avvattningssystem

DE1. Dagvattensystem

Funktion

Dagvattensystemet ska kunna leda bort och ta hand om vatten från vägyta och brobana. Vattnen från vägkropp, sidoområde och omgivande yta samt dräneringsvatten ska avledas så att

stabilitet och säkerhet mot skred eller uppflytning inte försämras samt att sättningar och negativ påverkan på miljön inte uppstår.

Dagvattensystemet ska kunna leda bort vatten till befintliga diken eller naturlig recipient. Vid behov leds vattnet via en i systemet anordnad överströmningsyta eller damm.

Kontroll. Funktion

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

Teknisk lösning

Bron förses med 10 ytavlopp per brohalva. Ytavloppen placeras enligt förslagsritning 2 44 K 2001. Ytavlopp leds till stuprör. Stuprören leds till anslutande diken enligt förslagsritning 2 44 K 2001 med hänvisningar.

Ytavlopp, stuprör, tratt, utkastare och övriga detaljer skall utföras av syrafast rostfritt stål enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436.

DE2. Dränvattensystem

Omfattning

Dränvattensystem avleder dräneringsvattnet och omfattar dräneringsledningar och dräneringsbrunnar.

Funktion

Dräneringssystem ska kunna dränera vägkroppen, där så är erforderligt, så att stabilitet och säkerhet mot skred eller uppflytning inte försämras samt att sättningar inte uppstår.

Kontroll. Funktion

Kontroll ska ske genom nivåkontroll och inre inspektion av dräneringsledningar och tillhörande brunnar.

Dräneringsledningar ska uppfylla krav på deformation enligt toleransklass A vid kontroll av deformation enligt Svenskt Vatten P91.

DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro

Teknisk lösning

Grundavlopp enligt VV ritning 584:6 S-g, rev A och 584:6 S-m. Grundavloppsrör och tratt skall utföras av rostfritt stål enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436.

DF. Trafikskyddsanordning

DF2. Räcke

DF21. Sidoräcke

Omfattning

I anslutning till broräcke ska vägräcke förses med kapacitetsutjämnande övergång enligt TK Bro G.9.1.8. Ingår i vägarbetet.

DF21. Sidoräcke/ Broräcke

Teknisk lösning

Broräcken ska utföras enligt TK Bro.

Räcken skall uppfylla funktionskrav enligt SS-EN 1317-2 samt vara CE-märkt enligt SS-EN 1317-5. Räck ska dessutom uppfylla material- och utförandekrav enligt SS-EN ISO 1461 (1), SS-EN ISO 10684 (1), SS-EN 206-1 (1), SS 137010 (1).

Bron förses med broräcke med topp- och navföljare av rörprofil.

På broar med kantbalk ska räckesståndare skruvas fast.

Broräcken och anslutande vägräcken ska utföras med samma typ av navföljare och tillhöra samma CE-märkta räckesfamilj och ha samma tillverkare.

Fotplåtar till broytterräckets ståndare fästs till kantbalk med syrafasta rostfria skruvar, muttrar och brickor enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436. Fotplåtarnas kanter rundas till mellan 3-4 mm radie. Fotplåtarna utformas så att inte kiselutarmning av stålet uppkommer.

Fotplåtar ska inte undergjutas.

Skruvarna förses med grafitfett eller vax.

Räckesskruvar får inte komma i kontakt med kantbalkens armering.

Leverans av broräckesavslutningar ingår i broarbetet. Montage ingår i vägarbetet.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

DF22. Mitträcke/ Broräcke

Omfattning

Mitträcke ska utföras som vajerräcke enligt Handling 11.1 TB väg. Ståndare ovan brobanepattan placeras i fotplatta med utförande i princip enligt VV Gruppritning 584:1G-j eller likvärdigt.

DF25. Räckeskomplettering/ Bullerskyddsskärm

Omfattning

Bullerskyddsskärm infäst i norra broräcket ska utföras med omfattning enligt förslagsritning 2 44 K 2001.

Teknisk lösning

Broräcket på norra sidan ska kompletteras med genomsiktig bullerskyddsskärm. Svetsarbeten för infästningsanordningar ska utföras före förzinkning.

Infästningsanordningen ska vara utförd så att skärmen säkras i vertikalled lika väl som i horisontalled.

Bullerskyddsskärm ska utföras med genomskinliga, rektangulära skivor av polykarbonat. Bullerskyddsskärmens överkant sätts lika med broräckets överkant och i underkant ska bullerskyddsskärmen gå omlott med kantbalken med minst 150 mm. Avstånd mellan bullerskyddsskärm och utsida kantbalk maximeras till 50 mm.

DK. Elsystem och telesystem

DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsrör på bärverk

Teknisk lösning

Tre längsgående kabelskyddsrör SRN PVC $\phi 110$ samt ett SRN PVC $\phi 50$, som förläggs i ett av $\phi 110$ -rören, monteras på överbyggnad med placering enligt förslagsritning 244K2002.

Längsgående kabelrör ansluts mot dragbrunnar på ömse sidor om bron.

Alla rör ska förses med galvaniserad dragtråd. Dragtråd och kabelrör ska märkas med färgmarkering i samråd med byggherren.

DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsrör i betongkonstruktion

Teknisk lösning

Grusskift på landfästen skall förses med ursparingar för genomföring av kabelrör med placering motsvarande placering av kabelrör enligt förslagsritning 244K2001.

X. DOKUMENTATION

X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering

Se handling 11.1 TBväg, YC.

XB. Projekteringshandling

XB. Projekteringshandling/ Design basis

Entreprenören ska inledningsvis lämna en redogörelse för förutsättningar och metoder vanligen benämnd ”design basis”. Denna ska minst behandla följande:

- objektspecifika förutsättningar för dimensionering och utformning
- beskrivning av beräknings- och analysmetoder som avses att användas vid dimensionering och utformning
- objektspecifika val avseende material och utförande
- beskrivning av provnings- och kontrollmetoder som avses att användas samt avstämning hur gjorda beräkningsantaganden, materialval, utförandemetod etc. säkerställs och hur avvikelser av dessa hanteras och åtgärdas
- beskrivning av rutiner för verifiering
- en redovisning av principer för hur dokumentation av provnings- och kontrollresultat samt verifiering av dessa ska utföras
- en redovisning av hur dokumentation avseende drift- och underhållsplaner upprättas.

XC. Arbetshandling

Entreprenören ska projektera och upprätta konstruktionshandlingar med beräkningar, ritningar, beskrivningar och kontrollprogram med tillhörande kontrollplaner.

Kontroll av projekteringsresultatet ska ske före arbetenas påbörjande, dels genom entreprenörens kontroll i tillräcklig omfattning och dels genom beställarens granskning. Detta ska även ske under byggskedet och för vissa delar även under garantitiden.

Kontroll av fri höjd, angiven på av beställaren godtagen arbetsritning skall utföras av entreprenör innan arbete med broöverbyggnad påbörjas. Kontroll ska utföras genom mätning och mätresultat skall protokollföras.

För de delar i väganläggningen som omfattas av VV publikation 2009:27 TK Bro ska krav på konstruktionsredovisning och kontroll av konstruktionsredovisning i denna uppfyllas.

Arbetshandlingar ska levereras digitalt.

XC. Arbetshandling/ Vägbro

I inledning av konstruktionsarbetet ska entreprenör kalla till startmöte enligt VV publikation 2009:27 TK Bro. Vid mötet skall redogörelse för förutsättningar och metoder för dimensionering presenteras. Eventuella förändringar i förhållande till förfrågningsunderlaget ska redovisas tydligt. Beställaren ska ges möjlighet att lämna remissynpunkter på handlingarna inom 10 arbetsdagar.

Konstruktionsredovisningen och eventuella remissyttranden sänds för kontroll tillsammans med den av beställaren godtagna förslagsritningen till Trafikverket, avd Teknik och Miljö, enhet Byggnadsverk, IVtb och till Trafikverkets projektledning.

Vid tillämpning av VV publikation 2009:84 "Kontroll av konstruktionsredovisning" kan en indelning i grupper enligt råden i denna publikation preliminärt förutsättas. Gruppindelningen bestäms slutgiltigt efter att entreprenörens förslag till tekniska lösningar har presenterats.

En tidplan för insändandet av konstruktionsredovisning för kontroll ska upprättas av entreprenören och insändas till beställaren. Beställarens redovisningskrav och administrativa krav som ska uppfyllas framgår av VV publikation 2009:27 TK Bro, del A.

Beställarens rutiner för kontroll framgår av handling 9, AF Bilaga 3.

Kopior av märkta handlingar fördelas av entreprenören enligt följande:

- tre omgångar ritningar och beskrivningar sänds till beställarens projektledning
- en omgång handlingar enligt krav i VV publikation 2009:27 TK Bro del A sänds till Trafikverket, avd Teknik och Miljö, enhet Byggnadsverk, IVtb.

XD. Relationshandling

Relationshandlingar för utförda arbeten ska utgöra informationsunderlag under garantitid samt efterföljande drift och underhåll under anläggningens hela livslängd.

Alla relationshandlingar som produceras i projektet ska levereras till beställarens projekthanteringssystem och i dess struktur. Relationshandlingar ska vara daterade, granskade och godkända av ansvarig person hos entreprenören. Relationshandlingar ingår i entreprenaden och ska godkännas av beställaren. Krav på leveranstid för relationshandlingar anges i Entreprenadkontraktet § 7

Blanketterna "Registrering av beläggningsåtgärder" och "För rapportering av fri höjd i vägportar" ska ifyllas efter färdigställt objekt och redovisas till beställaren.

Relationshandlingar för byggnadsverket ska dokumentera lägen, dimensioner, använda material, uppmätta funktionella egenskaper, utföranden o d, med beräkningar, ritningar och beskrivningar samt protokoll för utförda kontrollmätningar.

Beställda utförandehandlingar, protokoll och intyg från beställda provningar och kontroller samt produktverifikationer i nivåer 1, 2 och 3 enligt YE i handling 11.1, TB Väg, ska bifogas relationshandlingarna.

Bestyrkta egenskaper för produkter enligt SS-EN ska vara dokumenterade.

Relationshandling ska vara daterad och signerad av ansvarig person hos entreprenören samt försedd med uppgift om vilken anläggningsdel som handlingen avser. Förteckning över aktuella relationshandlingar ska bifogas.

Relationsritning ska vara försedd med "RELATIONSRTNING" i statusraden i ritningshuvudet.

Symboler, beteckningar, definitioner, scheman o.d. ska vara enligt svensk standard där sådan finns.

Handlingar för drift- och underhåll ska vara skrivna på svenska.

Skalenliga ritningar ska förses med grafisk skala.

Handling ska vara i format enligt A-serien.

Inmätning för relationshandling ska utföras i för objektet gällande koordinat- och höjdsystem.

Anordning som ska fyllas över eller på annat sätt blir dold ska mätas in under arbetets gång.

Material som av miljöskäl enligt handlingarna ska hanteras på angivet sätt dokumenteras med avseende på kemisk sammansättning, placering och vidtagna skyddsåtgärder.

Material som kan orsaka skada vid oriktig behandling ska dokumenteras.

Relationshandlingar i original är beställarens egendom.

Relationshandlingar i original ska vara arkivbeständiga.

Planritningar ska vara försedda med koordinatbestämt rutnät.

Drift- och underhållsinstruktion ska upprättas enligt Arbetsmiljöverkets författningssamling AFS 1999:39 1§ rörande objektets slutliga konstruktion och utformning samt de byggprodukter som använts, i den omfattning som är av betydelse för säkerhet och hälsa vid arbete med drift, underhåll, reparation, ändring och rivning av objektet.

XD. Relationshandling/ Vägbro

För de handlingar som omfattas av kraven på konstruktionsredovisning enligt VV publikation 2009:27 TK Bro gäller denna i sin helhet.

Relationshandlingar ska bestå av:

- arbetsritningar i original (ovikta)
- under byggskedet tillkommande geotekniska utredningar, beräkningar, beskrivningar och ritningar
- betonggjutningsjournaler
- eventuella avvikelserapporter
- förteckning över aktuella handlingar
- ifyllda kontrollplaner för tilläggskontroll
- konstruktionshandlingar till elanläggningar och till avfuktningssystem
- I tillägg till TK Bro gäller kontrollintyg enligt BSK 99, avsnitt 9:4 samt röntgenfilmer och röntgenfilmplaner enligt AMA Anläggning 07, GBD.1
- mätprotokoll avseende lagerinställningar, fogöppningar, lod- och avvagningsdubbar
- provningsintyg
- pålningsprotokoll och pålplan
- redovisning av kvarlämnad spont i plan och höjd med inmätta värden
- arbetsbeskrivningar upprättade av entreprenören
- verifikat och certifikat enligt SS-EN standard alternativt YE i handling 11.1, TB Väg.
- drift- och underhållsplan.

På originalexemplaret av sammanställningsritningen ska redovisas

- använd typ av tillsatsmedel i betong
- beteckning på färgsystems ingående delar samt kulör på yttersta färgskiktet
- fogöppningar
- förteckning över av beställaren godtagna handlingar
- lagerinställningar
- sammansättning av injekteringsbruk med uppgift om cementfabrikat, tillsatsmedel, dosering samt $v_{ct,kv}$
- typ av och beteckning på lager inklusive antal per stöd
- typ av och beteckning på övergångskonstruktioner
- uppmätta värden vid inmätning av lod- och avvagningsdubbar
- vid grundläggning på berg, höjder för bottenplattas underkant.

Uppgift om valt material ska föras in på originalritningarna om det på de godtagna ritningarna

- anges att likvärdigt material kan användas
- hänvisats till material enligt av beställaren upprättad förteckning över godtagna produkter.

Uppgift om vald standardritning ska föras in på originalritningarna om hänvisning endast gjorts till beställarens standardritningar utan att precisering gjorts till speciell ritning.

Eventuella smärre avsteg från godtagen ritning ska vara införda på originalritningarna.

Mätprotokollen avseende inmätning av lagerinställningar och fogöppningar ska utöver mätresultaten innehålla datum för mätningen samt lufttemperaturen vid mätningen.

Inmätning av lod- och avvagningsdubbar ska utföras enligt BJB.22 i handling 11.1, TB Väg.

Konstruktionshandlingar för konstruktioner som ska omfattas av TK Bro ska registreras i Trafikverkets digitala register över broar och tunnlar, BatMan.

I tillägg till vad som anges i TK Bro, A.4.3.8 ska drift- och underhållsplaner för broar upprättas oavsett brons typ och storlek:

- underhållsmålning
- drift och underhåll av inspektionsanordningar.

C Riskanalyser

Sannolikhet						
		Obetydlig	Liten	Medel	Allvarlig	Katastrofal
Mycket hög	>1/10					
Hög	1/1000 - 1/10					
Medel	1/100000 - 1/1000					
Låg	1/10 000 000 - 1/100 000					
Mycket låg	<1/10 000 000					

Konsekvens						
		Insignifikant	Kortvarig	Personskada	Enstaka dödsfall	Flertalet dödsfall
Människa		Insignifikant	Kortvarig	Personskada	Enstaka dödsfall	Flertalet dödsfall
Ekonomi		Mycket små kostnader	Små kostnader	Medelstora ekonomiska följder	Svåra ekonomiska följder	Katastrofala ekonomiska följder
Miljö		Insignifikant	Liten omfattning, kortvarig	Stor omfattning, kortvarig	Mycket stor omfattning eller permanent	Mycket stor omfattning och permanent

Brokoncept 1 - Balkbro i betong

Område	Risk (händelse)	Riskbeskrivning (Orsak)	Konsekvens	S	K	Bedömd risk
Projektering	Avgörande felberäkningar	Avgörande felberäkningar som inte märks förrän under produktionsfasen eller under användningsfasen	Bron håller inte för vad den ska och behöver omkonstrueras delvis eller helt.	1	5	5
	Mindre felberäkningar	Mindre felberäkningar som hinner upptäckas under projekteringsfasen	Element eller andra mindre komponenter behöver omdimensioneras	4	1	4
	Missförstånd mellan olika parter	Viktig information missas helt eller missuppfattas när det förs vidare mellan olika personer	Eventuella problem under produktionsfasen eller senare under användningsfasen.	3	2	6
	Felaktiga förutsättningar/Falsa premisser	Bristfällig förundersökning ger felaktiga förutsättningar	Förseningar och/eller byte av broelement	2	3	6
Produktion	Temporär konstruktion fallerar	Felbyggd eller feldimensionerad konstruktion	Personskador och strukturskador	2	4	8
	Materialbrist / brist på företag som vill samarbeta	Förseningar hos leverantörer	Förseiad produktion av bron samt ekonomiska kostnader	3	2	6
	Problem vid betonggjutning eller när broelementen ska lyftas på plats	Dåliga väderförhållanden	Förseningar eller fel vid betonggjutningen eller installation av broelement på grund av att man måste vänta på bättre väder eller att materialet tar skada av rådande väder.	5	1	5
	Arbetskada bland hantverkare	Dåliga ergonomiska förhållanden under produktion, alternativt dålig säkerhet på arbetsplatsen, vilket kan bero på dålig utbildning bland hantverkare	Utredningar behöver göras och åtgärder behöver vidtas för att se till att byggarbetsplatsen skärper säkerheten	4	2	8
Användningsfas	Olyckslaster	Påkörning av brostöd/pelare/pylon	Försvagning av konstruktion	2	2	4
	Förvaltningsolyckor	Allvarlig personskada vid förvaltning av bron t.ex. påkörning vid förvaltning	Personskador med eventuellt dödligutgång	2	4	8
	Sabotage	Avsiktligt sabotage som syftar till att rasera bron	Minskad brokapacitet och eventuella personsador med dödligutgång	1	4	4
	Oväntade deformationer	Dålig grundläggning, framtida pålning i området	Behöver stänga bron och åtgärda dessa förändring. Kommer ha ekonomiska, och samhälleliga konsekvenser	2	4	8
	Snöras	Samlad snö och is på broelement som kan orsaka person eller fordonskador vid eventuellt ras	Personskador med eventuellt dödligutgång, skador på fordon och brodetaljet som tex broräcke	1	1	1
	Brand	Brand orsakad av trafikolycka, sabotage eller annat	Personskador med eventuellt dödligutgång, minskad kapacitet för bronmaterial som kan leda till ras av bron. Ekonomiska och ekologiska konsekvenser	2	2	4
	Trafikolycka	Krock på vägbana eller fordon kör av bron/in i vägräcke	Reparationsarbete som medför avstängning av bron samt personsador.	3	3	9
	Dåligt utförd förvaltning	Mänskligt fel vid inspektion eller åtgärder vid förvaltning av bron	Eventuell minskning i kapacitet för bro, minskar livslängd. Främst ekonomiska konsekvenser.	4	2	8
Sammanvägd risk						5,75

Koncept 2 - Lådbalkbro i betong med konsolbyggnad

Område	Risk (händelse)	Riskbeskrivning (Orsak)	Konsekvens	S	K	Bedömd risk
Projektering	Felberäkningar	Avgörande felberäkningar som inte märks till en början	Bron håller inte för vad den ska och bron behöver omdimensioneras	1	5	5
	Mindre felberäkningar	Mindre felberäkningar som hinner upptäckas under projekteringsfasen	Element eller andra mindre komponenter behöver omdimensioneras	4	1	4
	Missförstånd mellan olika parter	Viktig information missas helt eller missuppfattas när det förs vidare mellan olika personer	Eventuella problem under produktionsfasen eller senare under användningsfasen.	4	1	4
	Felaktiga förutsättningar/Falsa premisser	Bristfällig förundersökning ger felaktiga förutsättningar	Förseningar och/eller byte av broelement	3	2	6
Produktion	Temporär konstruktion fallerar	Felbyggd eller feldimensionerad konstruktion	Personskador och strukturskador	1	4	4
	Materialbrist / brist på företag som vill samarbeta	Förseningar hos leverantörer	Försenad produktion av bron samt ekonomiska kostnader	3	2	6
	Problem vid betonggjutning eller när broelementen ska lyftas på plats	Dåliga väderförhållanden	Förseningar eller fel vid betonggjutningen eller installation av broelement på grund av att man måste vänta på bättre väder eller att materialet tar skada av rådande väder.	3	1	3
	Arbetskada bland hantverkare	Dåliga ergonomiska förhållanden under produktion, alternativt dålig säkerhet på arbetsplatsen, vilket kan bero på dålig utbildning bland hantverkare	Utredningar behöver göras och åtgärder behöver vidtas för att se till att byggarbetsplatsen skärper säkerheten	4	2	8
Användningsfas	Olyckslaster	Påkörning av brostöd eller kollon/pelare	Försvagnig av konstruktion	2	2	4
	Förvaltningsolyckor	Allvarlig personskada vid förvaltning av bron tex påkörning vid förvaltning	Personskador med eventuellt dödligutgång	2	4	8
	Sabotage	Avsiktligt sabotage som syftar till att rasera bron	Minskad brokapacitet och eventuella personskador med dödligutgång	1	4	4
	Oväntade deformationer	Dålig grundläggning, framtida pålning i området	Behöver stänga bron och åtgärda dessa förändring. Kommer ha ekonomiska, och samhälliga konsekvenser	2	4	8
	Snöras	Samlad snö och is på broelement som kan orsaka person eller fordonskador vid eventuellt ras	Personskador med eventuellt dödligutgång, skador på fordon och brodetaljet som tex broräcke	1	1	1
	Brand	Brand orsakad av trafikolycka, sabotage eller annat	Personskador med eventuellt dödligutgång, minskad kapacitet för bronmaterial som kan leda till ras av bron. Ekonomiska och ekologiska konsekvenser	2	2	4
	Trafikolycka	Krock på vägbana eller fordon kör av bron/in i vägräcke	Reparationsarbete som medför avstängning av bron samt personskador.	3	3	9
	Dåligt utförd förvaltning	Mänskligt fel vid inspektion eller åtgärder vid förvaltning av bron	Eventuell minskning i kapacitet för bro, minskar livslängd. Främst ekonomiska konsekvenser	4	2	8
Sammanvägd risk						5,375

Koncept 3 - Samverkansbro med lådbalk i stål och brobana i betong

Område	Risk (händelse)	Riskbeskrivning (Orsak)	Konsekvens	S	K	Bedömd risk
Projektering	Felberäkningar	Avgörande felberäkningar som inte märks till en början	Bron håller inte för vad den ska och bron behöver omdimensioneras	1	5	5
	Mindre felberäkningar	Mindre felberäkningar som hinnes upptäckas under projekteringsfasen	Element eller andra mindre komponenter behöver omdimensioneras	4	1	4
	Missförstånd mellan olika parter	Viktig information missas helt eller missuppfattas när det förs vidare mellan olika personer	Eventuella problem under produktionsfasen eller senare under användningsfasen.	4	1	4
	Felaktiga förutsättningar/Falsa premisser	Bristfällig förundersökning ger felaktiga förutsättningar	Förseningar och/eller byte av broelement	3	2	6
Produktion	Temporär konstruktion fallerar	Felbyggd eller feldimensionerad konstruktion	Personskador och strukturskador	1	4	4
	Materialbrist / brist på företag som vill samarbeta	Förseningar hos leverantörer	Försenad produktion av bron samt ekonomiska kostnader	3	2	6
	Problem vid betonggiutning eller när broelementen ska lyftas på plats	Dåliga väderförhållanden	Förseningar eller fel vid betonggiutningen eller installation av broelement på grund av att man måste vänta på bättre väder eller att materialet tar skada av rådande väder.	4	1	4
	Arbetskada bland hantverkare	Dåliga ergonomiska förhållanden under produktion, alternativt dålig säkerhet på arbetsplatsen, vilket kan bero på dålig utbildning bland hantverkare	Personskador	3	3	9
Användningsfas	Olyckslaster	Påkörning av brostöd eller kollon/pelare	Försvagnig av konstruktion	2	2	4
	Förvaltningsolyckor	Allvarlig personskada vid förvaltning av bron tex påkörning vid förvaltning	Personskador med eventuellt dödligutgång	2	4	8
	Sabotage	Avsiktligt sabotage som syftar till att rasera bron	Minskad brokapacitet och eventuella personskador med dödligutgång	1	4	4
	Oväntade deformationer	Dålig grundläggning, framtida pålning i området	Behöver stänga bron och åtgärda dessa förändring. Kommer ha ekonomiska, och samhälliga konsekvenser	2	4	8
	Snöras	Samlad snö och is på broelement som kan orsaka person eller fordonskador vid eventuellt ras	Personskador med eventuellt dödligutgång, skador på fordon och brodetaljet som tex broräcke	1	1	1
	Brand	Brand orsakad av trafikolycka, sabotage eller annat	Personskador med eventuellt dödligutgång, minskad kapacitet för bronmaterial som kan leda till ras av bron. Ekonomiska och ekologiska konsekvenser	2	2	4
	Trafikolycka	Krock på vägbana eller fordon kör av bron/in i vägräcke	Reparationsarbete som medför avstängning av bron samt personskador.	3	3	9
	Dåligt utförd förvaltning	Mänskligt fel vid inspektion eller åtgärder vid förvaltning av bron	Eventuell minskning i kapacitet för bro, minskar livslängd. Främst ekonomiska konsekvenser	4	2	8
Sammanvägd risk						5,5

Koncept 9 - Snedkabelbro i stål med en pylon

Område	Risk (händelse)	Riskbeskrivning (Orsak)	Konsekvens	S	K	Bedömd risk
Projektering	Felberäkningar	Avgörande felberäkningar som inte märks till en början	Bron håller inte för vad den ska och bron behöver omdimensioneras	1	5	5
	Mindre felberäkningar	Mindre felberäkningar som hinner upptäckas under projekteringsfasen	Element eller andra mindre komponenter behöver omdimensioneras	4	1	4
	Missförstånd mellan olika parter	Viktig information missas helt eller missuppfattas när det förs vidare mellan olika personer	Eventuella problem under produktionsfasen eller senare under användningsfasen.	4	1	4
	Felaktiga förutsättningar/Falsa premisser	Bristfällig förundersökning ger felaktiga förutsättningar	Förseningar och/eller byte av broelement	3	2	6
Produktion	Temporär konstruktion fallerar	Felbyggd eller feldimensionerad konstruktion	Personskador och strukturskador	2	4	8
	Materialbrist / brist på företag som vill samarbeta	Förseningar hos leverantörer	Försenad produktion av bron samt ekonomiska kostnader	3	2	6
	Problem vid betonggiutning eller när broelementen ska lyftas på plats	Dåliga väderförhållanden	Förseningar eller fel vid betonggiutningen eller installation av broelement på grund av att man måste vänta på bättre väder eller att materialet tar skada av rådande väder.	5	2	10
	Arbetskada bland hantverkare	Dåliga ergonomiska förhållanden under produktion, alternativt dålig säkerhet på arbetsplatsen, vilket kan bero på dålig utbildning bland hantverkare	Utredningar behöver göras och åtgärder behöver vidtas för att se till att byggarbetsplatsen skärper säkerheten	2	4	8
Användningsfas	Olycksklaster	Påkörning av brostöd eller kollon/pelare	Försvagnig av konstruktion	2	3	6
	Förvaltningsolyckor	Allvarlig personskada vid förvaltning av bron tex påkörning vid förvaltning	Personskador med eventuellt dödligutgång	3	4	12
	Sabotage	Avsiktligt sabotage som syftar till att rasera bron	Minskad brokapacitet och eventuella personskador med dödligutgång	1	5	5
	Oväntade deformationer	Dålig grundläggning, framtida pålning i området	Behöver stänga bron och åtgärda dessa förändring. Kommer ha ekonomiska, och samhälliga konsekvenser	2	4	8
	Snöras	Samlad snö och is på broelement som kan orsaka person eller fordonskador vid eventuellt ras	Personskador med eventuellt dödligutgång, skador på fordon och brodetaljet som tex broräcke	3	1	3
	Brand	Brand orsakad av trafikolycka, sabotage eller annat	Personskador med eventuellt dödligutgång, minskad kapacitet för bronmaterial som kan leda till ras av bron. Ekonomiska och ekologiska konsekvenser	2	3	6
	Trafikolycka	Krock på vägbana eller fordon kör av bron/in i vägräcke	Reparationsarbete som medför avstängning av bron samt personskador.	3	3	9
	Dåligt utförd förvaltning	Mänskligt fel vid inspektion eller åtgärder vid förvaltning av bron	Eventuell minskning i kapacitet för bro, minskar livslängd. Främst ekonomiska konsekvenser	4	3	12
Sammanvägd risk						7

D Beräkningar temperaturutvidgning längsled

Beräkningarna nedan gjordes enligt TDOK 2013:0267, Bärighetshetsberäkningar av Trafikverket.

$$T_0 = -20^\circ \quad (\text{Figur 2-7})$$

$$T^- = -20^\circ - 5^\circ = -25^\circ \quad (\text{Tabell 2-7})$$

$$T^+ = 45^\circ \quad (\text{Tabell 2-7})$$

$$\alpha = 1 \cdot 10^{-5} \frac{1}{C^\circ} \quad (\text{Avsnitt 2.3.8.2})$$

$$L = 320 \text{ m} \quad \text{Brons längd}$$

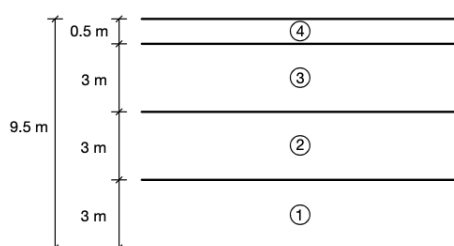
$$\Delta T = T^+ - T^- = 70C^\circ$$

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T = 0.224 \text{ m}$$

E Lastfall

Beräkning av trafiklaster på bron gjordes enligt Eurokod 1 SS-EN 1991-2. Körbanan delades in i lastfält enligt SS-EN 1991-2 Tabell 4.1 .

$w = 9,5m$	Bredd på körbana
$w_1 = 3m$	Bredd på lastfält
$6m \leq w$	Ger nedanstående ekvation
$n_1 = \text{Int}\left(\frac{w}{w_1}\right) = \text{Int}\left(\frac{9,5}{3}\right) = 3$	Antal lastfält
$w - w_1 \cdot n_1 = 9,5 - 3 \cdot 3 = 0,5$	Återstående ytans bredd



Figur 24: Lastfält för bron

Lastmodell 1 (LM1) används vid lastfallsberäkning då bron är tungt trafikerad och har en längd över 300 meter. LM1 innebär både utbredda laster och punktlaster vilket innefattar de sorters belastningar som kan förekomma på bron. Punkt- och utbredda laster för varje lastfält ges i SS-EN 1991-2 tabell 4.2 och multiplicerades med anpassningsfaktorer från TRVFS 2018:57* tabell 11.1 samt faktorer för lastkombinationer i brottgränstillstånd enligt SS-EN 1990.

$\alpha_{q1} = 0,8$	Anpassningsfaktor för utbredd last lastfält 1
$\alpha_{q2} = 1$	Anpassningsfaktor för utbredd last lastfält 2
$\alpha_{q3} = 1$	Anpassningsfaktor för utbredd last lastfält 3

$q_{1k} = 9kN/m^2$	Karaktäristisk utbredd last lastfält 1
$q_{2k} = 2,5kN/m^2$	Karaktäristisk utbredd last lastfält 2
$q_{3k} = 2,5kN/m^2$	Karaktäristisk utbredd last lastfält 3

$q_1 = q_{1k} \cdot \alpha_{q1} \cdot 1,5 = 10,8kN/m^2$	Dimensionerande utbredd last lastfält 1
$q_2 = q_{2k} \cdot \alpha_{q2} \cdot 1,5 = 3,75kN/m^2$	Dimensionerande utbredd last lastfält 2
$q_3 = q_{3k} \cdot \alpha_{q3} \cdot 1,5 = 3,75kN/m^2$	Dimensionerande utbredd last lastfält 3

$\alpha_{Q1} = 0,9$	Anpassningsfaktor för axellast lastfält 1
$\alpha_{Q2} = 0,9$	Anpassningsfaktor för axellast lastfält 2
$\alpha_{Q3} = 0$	Anpassningsfaktor för axellast lastfält 3

*https://www.transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202018_57.pdf

$$Q_{1k} = 300kN$$

$$Q_{2k} = 200kN$$

$$Q_{3k} = 100kN$$

Karaktäristisk axellast lastfält 1
 Karaktäristisk axellast lastfält 2
 Karaktäristisk axellast lastfält 3

$$Q_1 = Q_{1k} \cdot \alpha_{Q1} \cdot 1,5 = 405kN$$

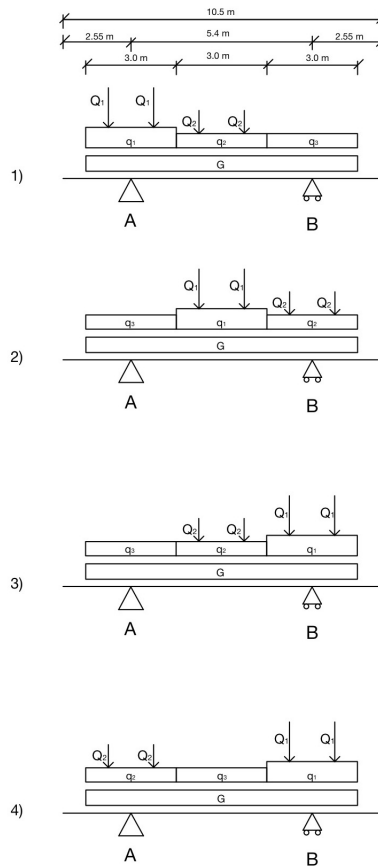
$$Q_2 = Q_{2k} \cdot \alpha_{Q2} \cdot 1,5 = 270kN$$

$$Q_3 = Q_{3k} \cdot \alpha_{Q3} \cdot 1,5 = 0kN$$

$$G = 10.462 \text{ kN/m}$$

Dimensionerande axellast lastfält 1
 Dimensionerande axellast lastfält 2
 Dimensionerande axellast lastfält 3
 Egentyngd brobana i betong

För att beräkna dimensionerande moment och tvärkraft i tvärled gjordes beräkningar med fyra lastfall. Axellasterna placerades enligt Eurokod 1 med två punktlaster, med två meters avstånd i tvärled, en halvmeter in i lastfältet. De utbredda lasterna placerades utefter mest ogynnsamma kombination av axel- och utbredd last. Alla fyra lastfall beräknades med egentyngd från brobanaplattan. De fyra lastfall som beräknades i tvärled av brobanaplattan visas nedan.



Figur 25: Lastfall tvärled

Lastfall i längsled beräknades med tre av vardera dimensionerande axellaster vilket ger tre boggilaster P_1 , P_2 och P_3 . Utbredda laster i alla lastfält summerades och placerades utefter mest ogynnsamma kombination av boggi- och utbredd last för

att beräkna dimensionerande moment, tvärkraft, upplagskraft och nedböjning. Egentyngden beräknades i en separat beräkning då egentyngden enbart agerar på lådbalken och inte samverkantvärsnittet. Sedan superpositioneras dessa lastberäkningar för vidare beräkningar.

$$P_1 = Q_1 \cdot 2 = 810 \text{ kN}$$

$$P_2 = Q_2 \cdot 2 = 540 \text{ kN}$$

$$P_3 = Q_3 \cdot 2 = 0 \text{ kN}$$

$$Q = q_1 \cdot w_1 + q_2 \cdot w_1 + q_3 \cdot w_1 = 54,9 \text{ kN/m}$$

$$G = G_{tot} \cdot 1.35 = 144.6 \text{ kN/m}$$

Boggilast för lastfält 1

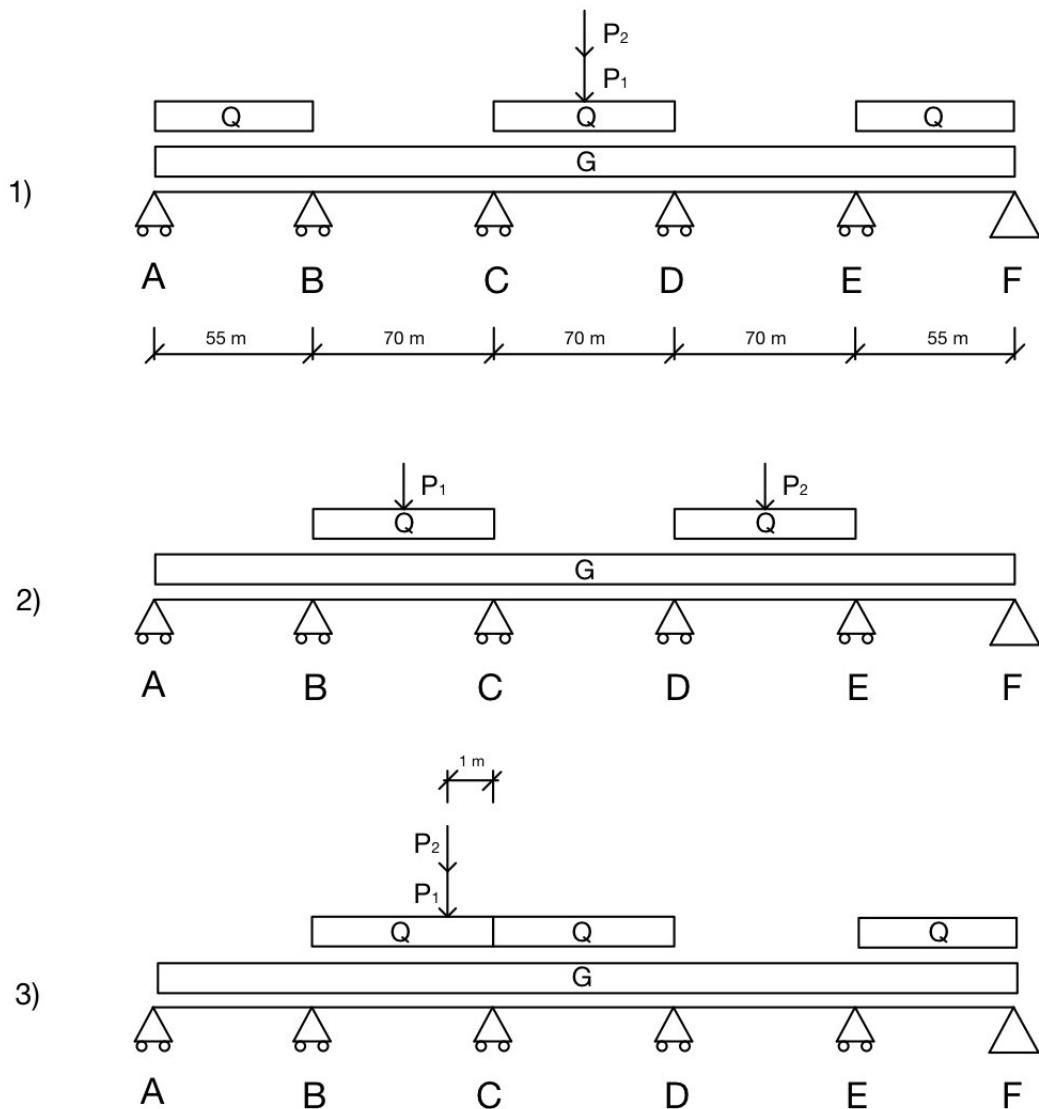
Boggilast för lastfält 2

Boggilast för lastfält 3

Utbredd last längsled

Egentyngd för ställåda och brobana

De tre lastfall som beräknades i längsled av bron visas nedan.



Figur 26: Lastfall längsled

Lastfallsberäkningar i MATLAB med CALFEM

Nedan visas kod och resultat av lastfallsberäkningar för tvär- och längsled.

Lastfallsberäkningar tvärlid

Contents

- Lastfall 1
- Lastfall 2
- Lastfall 3
- Lastfall 4
- Sammanställning alla lastfall

```
clc
clear

n=50; % Antal beräkningar per element

E = 34e9; % Elasticitetsmodul
A = 0.31; % effektiv medelhöjd tvärsnitt
I = 0.002979; % Yttröghetsmoment m4

G = (-25e3*A)*1.35; % 1m brostycke
G_kant = (-25e3*(0.25+0.17))*1.35; % 1m kantbalk 0.25 m + 0.17 m är höjd
ep = [E A I];

P1 = -270e3*1.5 /2; % Punktlast 1 0.9 * 300 kN. Delat på 2 för
% utbredd på 2 meter i planet
P2 = -180e3*1.5 /2; % Punktlast 2 0.9 * 200 kN. Delat på 2 för
% utbredd på 2 meter i planet
q1 = -7.2e3*1.5; % Utbredd last 0.7 * 9 kN/m
q2 = -2.5e3*1.5; % Utrbedd last 1 * 2.5 kN/m

c = 5.4; % lådans bredd liv till liv överkant
au = (10.5-c)/2 -0.5; % Avstånd konsol till liv

for i = 1:(10.5/0.5) % Skapar ex med elementlängd 0.5 m
    ex(i,1)=(i-1)-i/2;
    ex(i,2)=(i-0.5)-i/2;
end

for i = 1:length(ex) % Räkna ut var stöden ska läggas
    if ex(i,1) < au && ex(i,2) > au
        s1=i-1;
    end
    if ex(i,1) < (au+c) && ex(i,2) > (au+c)
        s2=i-1;
    end
end
```

```

end
end

elest1 = [ex(s1,2) au;          % Matriser för stöden som ska in i ex
          au ex(s1+2,1)];
elest2 = [ex(s2,2) au+c;
          au+c ex(s2+2,1)];

ex = [ex(1:s1,:); elest1; ex(s1+2:s2,:); elest2;ex(s2+2:end,:)];
                                           % Lägger in stöden i ex

ey = zeros(length(ex),2);
dof = zeros((length(ex)+1),3);
Edof = zeros(length(ex),7);

for i = 1:length(dof)                       % Skapar dof av Edof
    dof(i,:) = [3*i-2 3*i-1 3*i];
    if i~=length(dof)
        Edof(i,1)=i;
    end
    if i~=1
        Edof(i-1,2:7) = [dof(i-1,:) dof(i,:)];
    end
end

eq = zeros(length(ex),2);                  % Lägger in bestämda utbredda krafter i eq
eq(1,2) = G_kant;                          % Egentyngd kantbalk
eq(length(eq),2) = G_kant;                 % Egentyngd kantbalk
eq(length(eq)-1,2) = G;                    % Egentyngd "återstående yta"

% Lägger in 1,2 och 3 för varje element beroende vilket lastfält de tillhör
% för att senare kunna lägga rätt krafter i rätt lastfält
for i = 2:length(eq)-1
    if ex(i,1) >= 0 && ex(i+1,1) <= 3
        eq(i,2) = 1;
    end
    if ex(i,1) >= 3 && ex(i+1,1) <= 6
        eq(i,2) = 2;
    end
    if ex(i,1) >= 6 && ex(i+1,1) <= 9
        eq(i,2) = 3;
    end
end

end

bc=zeros(3,2);
for i = 1:length(ex)                       % Lägger till randvillkor för stöd
    if ex(i,1) == au

```

```

        bc(1,1) = i*3-2;
        bc(1,2) = 0;
        bc(2,1) = i*3-1;
        bc(2,2) = 0;
    end
    if ex(i,1) == au+c
        bc(3,1) = i*3-1;
        bc(3,2) = 0;
    end
end
end

```

Lastfall 1

```

clc
close all

eq1 = eq;
for i = 1:length(eq)
    if eq(i,2) == 1
        eq1(i,2) = q1+G;
    elseif eq(i,2) == 2
        eq1(i,2) = q2+G;
    elseif eq(i,2) == 3
        eq1(i,2) = q2+G;
    end
end
end

f = zeros(max(max(Edof)),1);

for i = 1:length(ex)
    if ex(i,1) == 0.5
        f(i*3-1) = P1;
    end
    if ex(i,1) == 2.5
        f(i*3-1) = P1;
    end
    if ex(i,1) == 3.5
        f(i*3-1) = P2;
    end
    if ex(i,1) == 5.5
        f(i*3-1) = P2;
    end
end
end

K=zeros(max(max(Edof)));
for i=1:size(Edof,1)
    [Ke,fe] = beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq1(i,:));

```

```

    [K,f] = assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

[a,r]=solveq(K,f,bc);
rs(1) = r(20);
rs(2) = r(52);

for i = 1:length(ex(:,1))
    ed1 = extract(Edof,a);
    [es1(i*n-(n-1):i*n,:),edi(i*n-(n-1):i*n,:),eci(i*n-(n-1):i*n,:)]...
    = beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep,ed1(i,:),eq1(i,:),n);
end

figure(1)
eldraw2(ex,ey,[1 3 1],Edof)
hold on
xlabel('x [m]')
ylabel('Tvärkraft')
title('Tvärkraftsdiagram - Lastfall 1')
plotpar=[2 1];
sfactvarkraft=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(1:n,2),0.05);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es1(i*n-(n-1):i*n,2),plotpar,sfactvarkraft, ...
    eci(i*n-(n-1):i*n));
end

figure(2)
eldraw2(ex,ey,[1 3 1],Edof)
hold on
xlabel('x [m]')
ylabel('Moment')
title('Momentdiagram - Lastfall 1')
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(1:n,2),0.05);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es1(i*n-(n-1):i*n,3),plotpar,sfacmoment, ...
    eci(i*n-(n-1):i*n));
end

fprintf('RA: %1.1f [kN]\n',r(bc(2,1))/1000) %reaktionskraft vid stöd A [Kn]
fprintf('RB: %1.1f [kN]\n',r(bc(3,1))/1000) %reaktionskraft vid stöd B [Kn]

Mfalt=max(es1(:,3)); %maximalt moment i fält
Mstod=min(es1(:,3)); %maximalt moment vid stöd
Vmax=max(max(abs(es1(:,2))))); %maximal tvärkraft
fprintf('Maxmoment fält: %f kNm\n',Mfalt/1000)
fprintf('Maxmoment stöd: %f kNm\n',Mstod/1000)

```

```
fprintf('Maximal tvärkraft: %f kN\n',Vmax/1000)
```

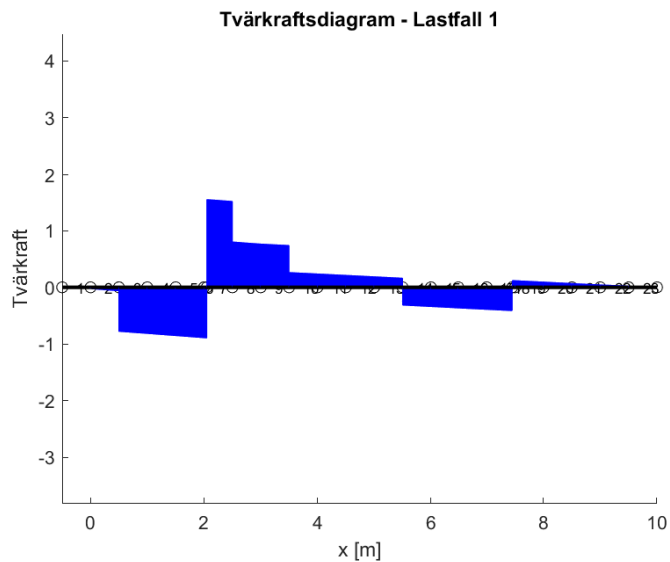
```
RA: 692.3 [kN]
```

```
RB: 151.2 [kN]
```

```
Maxmoment fält: 158.035156 kNm
```

```
Maxmoment stöd: -374.854078 kNm
```

```
Maximal tvärkraft: 439.100417 kN
```



Lastfall 2

```
clc
```

```
close all
```

```
eq2 = eq;
```

```
for i = 1:length(eq)
```

```
    if eq(i,2) == 1
```

```
        eq2(i,2) = q2+G;
```

```
    elseif eq(i,2) == 2
```

```

        eq2(i,2) = q1+G;
    elseif eq(i,2) == 3
        eq2(i,2) = q2+G;
    end
end
end

f = zeros(max(max(Edof)),1);

for i = 1:length(ex)
    if ex(i,1) == 3.5
        f(i*3-1) = P1;
    end
    if ex(i,1) == 5.5
        f(i*3-1) = P1;
    end
    if ex(i,1) == 6.5
        f(i*3-1) = P2;
    end
    if ex(i,1) == 8.5
        f(i*3-1) = P2;
    end
end
end

K=zeros(max(max(Edof)));
for i=1:size(Edof,1)
    [Ke,fe] = beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq2(i,:));
    [K,f] = assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

[a,r]=solveq(K,f,bc);
rs(3) = r(20);
rs(4) = r(52);

for i = 1:length(ex(:,1))
    ed2 = extract(Edof,a);
    [es2(i*n-(n-1):i*n,:),edi(i*n-(n-1):i*n,:),eci(i*n-(n-1):i*n,:)]...
    = beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep,ed2(i,:),eq2(i,:),n);
end

figure(1)
eldraw2(ex,ey,[1 3 1],Edof)
hold on
xlabel('x [m]')
ylabel('Tvärkraft')
title('Tvärkraftsdiagram - Lastfall 2')
plotpar=[2 1];

```

```

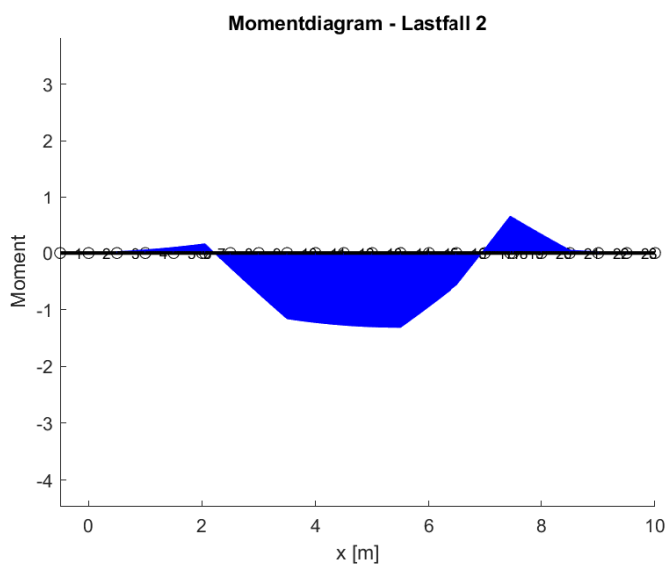
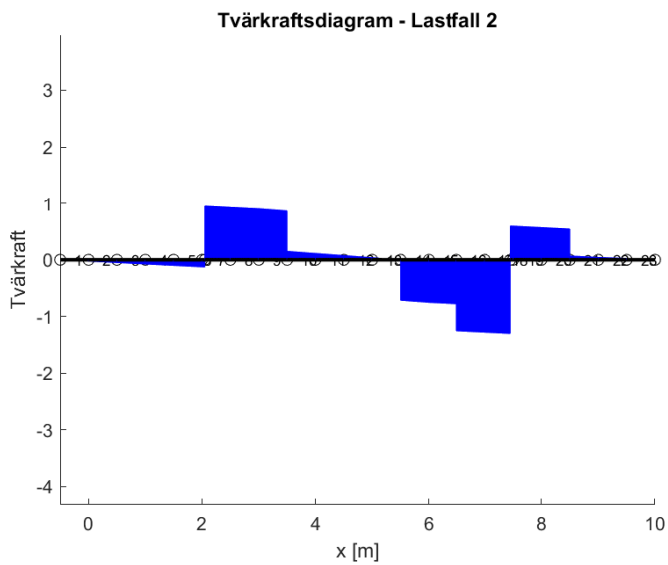
sfactvarkraft=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es2(1:n,2),0.05);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es2(i*n-(n-1):i*n,2),plotpar,sfactvarkraft, ...
        eci(i*n-(n-1):i*n));
end

figure(2)
eldraw2(ex,ey,[1 3 1],Edof)
hold on
xlabel('x [m]')
ylabel('Moment')
title('Momentdiagram - Lastfall 2')
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es2(1:n,2),0.05);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es2(i*n-(n-1):i*n,3),plotpar,sfacmoment, ...
        eci(i*n-(n-1):i*n));
end

fprintf('RA: %1.1f [kN]\n',r(bc(2,1))/1000) %reaktionskraft vid stöd A [Kn]
fprintf('RB: %1.1f [kN]\n',r(bc(3,1))/1000) %reaktionskraft vid stöd B [Kn]

Mfalt=max(es2(:,3)); %maximalt moment i fält
Mstod=min(es2(:,3)); %maximalt moment vid stöd
Vmax=max(max(abs(es2(:,2))))); %maximal tvärkraft
fprintf('Maxmoment fält: %f kNm\n',Mfalt/1000)
fprintf('Maxmoment stöd: %f kNm\n',Mstod/1000)
fprintf('Maximal tvärkraft: %f kN\n',Vmax/1000)
fprintf('Maximal nedböjning: %f m\n',a(35))
RA: 305.5 [kN]
RB: 537.9 [kN]
Maxmoment fält: 371.316406 kNm
Maxmoment stöd: -184.540266 kNm
Maximal tvärkraft: 368.594583 kN
Maximal nedböjning: -0.010763 m

```



Lastfall 3

```

clc
close all

eq3 = eq;
for i = 1:length(eq)
    if eq(i,2) == 1
        eq3(i,2) = q2+G;
    elseif eq(i,2) == 2
        eq3(i,2) = q2+G;
    elseif eq(i,2) == 3
        eq3(i,2) = q1+G;
    end
end
end

```

```

f = zeros(max(max(Edof)),1);

for i = 1:length(ex)
    if ex(i,1) == 6.5
        f(i*3-1) = P1;
    end
    if ex(i,1) == 8.5
        f(i*3-1) = P1;
    end
    if ex(i,1) == 3.5
        f(i*3-1) = P2;
    end
    if ex(i,1) == 5.5
        f(i*3-1) = P2;
    end
end

K=zeros(max(max(Edof)));
for i=1:size(Edof,1)
    [Ke,fe] = beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq3(i,:));
    [K,f] = assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

[a,r]=solveq(K,f,bc);
rs(5) = r(20);
rs(6) = r(52);

for i = 1:length(ex(:,1))
    ed3 = extract(Edof,a);
    [es3(i*n-(n-1):i*n,:),edi(i*n-(n-1):i*n,:),eci(i*n-(n-1):i*n,:)]...
    = beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep,ed3(i,:),eq3(i,:),n);
end

figure(1)
xlabel('x [m]')
ylabel('TvÃ¶rkraft')
title('TvÃ¶rkraftsdiagram - Lastfall 3')
plotpar=[2 1];
sfactvarkraft=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es3(1:n,2),0.05);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es3(i*n-(n-1):i*n,2),plotpar,sfactvarkraft, ...
    eci(i*n-(n-1):i*n));
end
figure(2)
xlabel('x [m]')
ylabel('Moment')

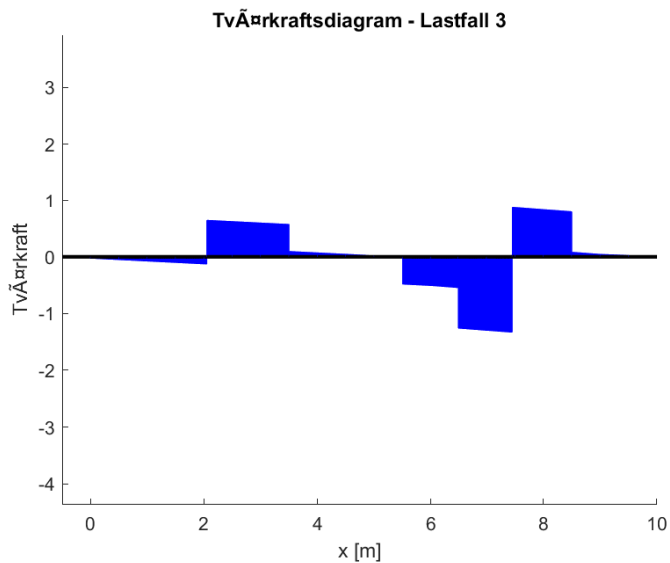
```

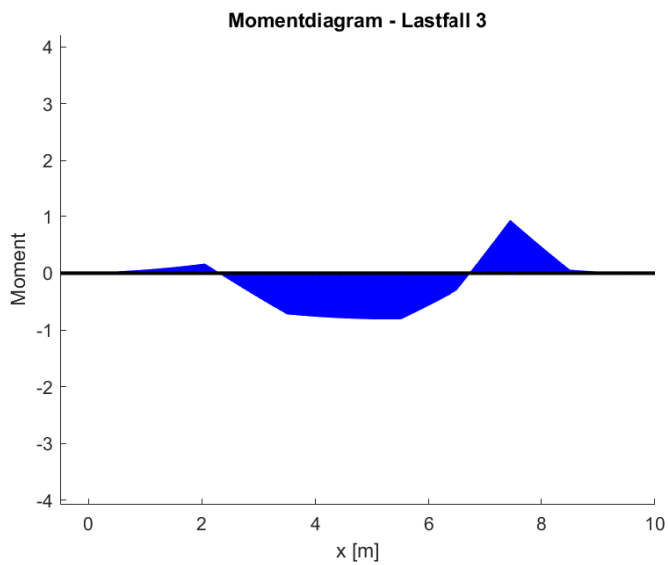
```

title('Momentdiagram - Lastfall 3')
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es3(1:n,2),0.05);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es3(i*n-(n-1):i*n,3),plotpar,sfacmoment, ...
        eci(i*n-(n-1):i*n));
end
fprintf('RA: %1.1f [kN]\n',r(bc(2,1))/1000) %reaktionskraft vid stöd A [Kn]
fprintf('RB: %1.1f [kN]\n',r(bc(3,1))/1000) %reaktionskraft vid stöd B [Kn]

Mfalt=max(es3(:,3)); %maximalt moment i fält
Mstod=min(es3(:,3)); %maximalt moment vid stöd
Vmax=max(max(abs(es3(:,2))))); %maximal tvärkraft
fprintf('Maxmoment fält: %f kNm\n',Mfalt/1000)
fprintf('Maxmoment stöd: %f kNm\n',Mstod/1000)
fprintf('Maximal tvärkraft: %f kN\n',Vmax/1000)
RA: 218.8 [kN]
RB: 624.7 [kN]
Maxmoment fält: 229.137205 kNm
Maxmoment stöd: -263.884078 kNm
Maximal tvärkraft: 376.917083 kN

```





Lastfall 4

```

clc
close all

eq4 = eq;
for i = 1:length(eq)
    if eq(i,2) == 1
        eq4(i,2) = q2+G;
    elseif eq(i,2) == 2
        eq4(i,2) = q2+G;
    elseif eq(i,2) == 3
        eq4(i,2) = q1+G;
    end
end

f = zeros(max(max(Edof)),1);

for i = 1:length(ex)
    if ex(i,1) == 6.5
        f(i*3-1) = P1;
    end
    if ex(i,1) == 8.5
        f(i*3-1) = P1;
    end
    if ex(i,1) == 0.5
        f(i*3-1) = P2;
    end
    if ex(i,1) == 2.5
        f(i*3-1) = P2;
    end
end

```

```

        end
    end

K=zeros(max(max(Edof)));
for i=1:size(Edof,1)
    [Ke,fe] = beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq4(i,:));
    [K,f] = assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

[a,r]=solveq(K,f,bc);
rs(7) = r(20);
rs(8) = r(52);

for i = 1:length(ex(:,1))
    ed4 = extract(Edof,a);
    [es4(i*n-(n-1):i*n,:),edi(i*n-(n-1):i*n,:),eci(i*n-(n-1):i*n,:)]...
    = beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep,ed4(i,:),eq4(i,:),n);
end

figure(1)
xlabel('x [m]')
ylabel('TvÄrskraft')
title('TvÄrkraftsdiagram - Lastfall 4')
plotpar=[2 1];
sfactvarkraft=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es4(1:n,2),0.05);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es4(i*n-(n-1):i*n,2),plotpar,sfactvarkraft, ...
    eci(i*n-(n-1):i*n));
end
figure(2)
xlabel('x [m]')
ylabel('Moment')
title('Momentdiagram - Lastfall 4')
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es4(1:n,2),0.05);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es4(i*n-(n-1):i*n,3),plotpar,sfacmoment, ...
    eci(i*n-(n-1):i*n));
end

fprintf('RA: %1.1f [kN]\n',r(bc(2,1))/1000) %reaktionskraft vid stöd A [Kn]
fprintf('RB: %1.1f [kN]\n',r(bc(3,1))/1000) %reaktionskraft vid stöd B [Kn]

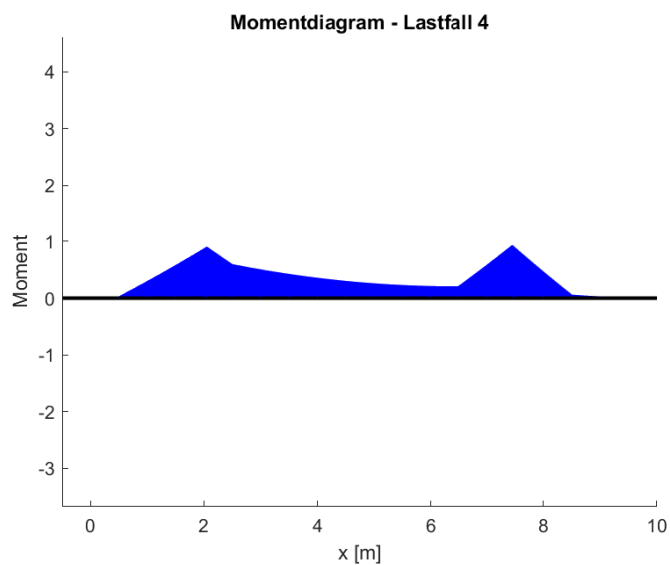
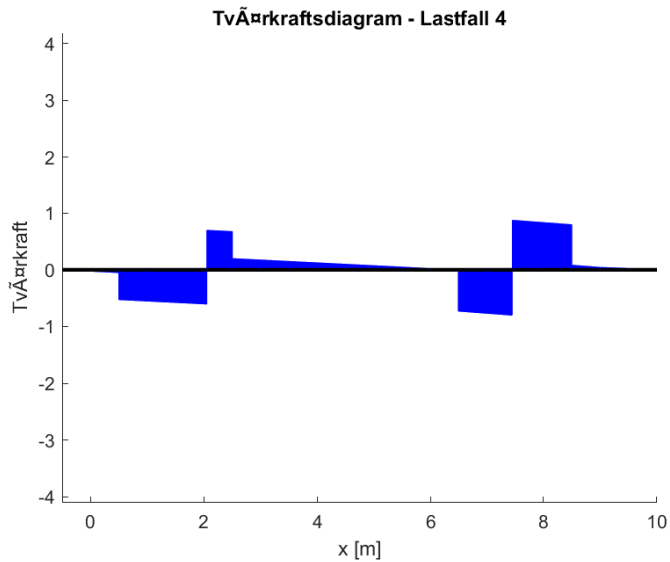
Mfalt=max(es4(:,3)); %maximalt moment i fält
Mstod=min(es4(:,3)); %maximalt moment vid stöd
Vmax=max(max(abs(es4(:,2)))); %maximal tvärkraft
fprintf('Maxmoment fält: %f kNm\n',Mfalt/1000)

```

```

fprintf('Maxmoment stöd: %f kNm\n',Mstod/1000)
fprintf('Maximal tvärkraft: %f kN\n',Vmax/1000)
RA: 368.8 [kN]
RB: 474.7 [kN]
Maxmoment fält: 0.000000 kNm
Maxmoment stöd: -263.884078 kNm
Maximal tvärkraft: 247.775625 kN

```



Sammanställning alla lastfall

```

clc
close all

for i=1:length(es1(:,1))
    esm(i,1)=es1(i,3);
    esm(i,2)=es2(i,3);
    esm(i,3)=es3(i,3);

```

```

    esm(i,4)=es4(i,3);
end

for i=1:length(es1(:,1))
    esm(i,5)=max(esm(i,:));
    esm(i,6)=min(esm(i,:));
end

figure(1)
xlabel('x [m]')
ylabel('Moment')
title('Momentdiagram - worst case')
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es4(1:n,2),0.05);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),esm(i*n-(n-1):i*n,6),plotpar,sfacmoment, ...
        eci(i*n-(n-1):i*n));
end
hold on
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),esm(i*n-(n-1):i*n,5),plotpar,sfacmoment, ...
        eci(i*n-(n-1):i*n));
end

for i=1:length(es1(:,1))
    est(i,1)=es1(i,2);
    est(i,2)=es2(i,2);
    est(i,3)=es3(i,2);
    est(i,4)=es4(i,2);
end

for i=1:length(es1(:,1))
    est(i,5)=max(est(i,:));
    est(i,6)=min(est(i,:));
end

figure(2)
xlabel('x [m]')
ylabel('Tvärkraft')
title('Tvärkraft - worst case')
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es4(1:n,2),0.1);
for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),est(i*n-(n-1):i*n,6),plotpar,sfacmoment, ...
        eci(i*n-(n-1):i*n));
end
hold on

```

```

for i = 1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),est(i*n-(n-1):i*n,5),plotpar,sfacmoment, ...
        eci(i*n-(n-1):i*n));
end

Mfalt=max(esm(:,5));           %maximalt moment i fält
Mstod=min(esm(:,6));          %maximalt moment vid stöd

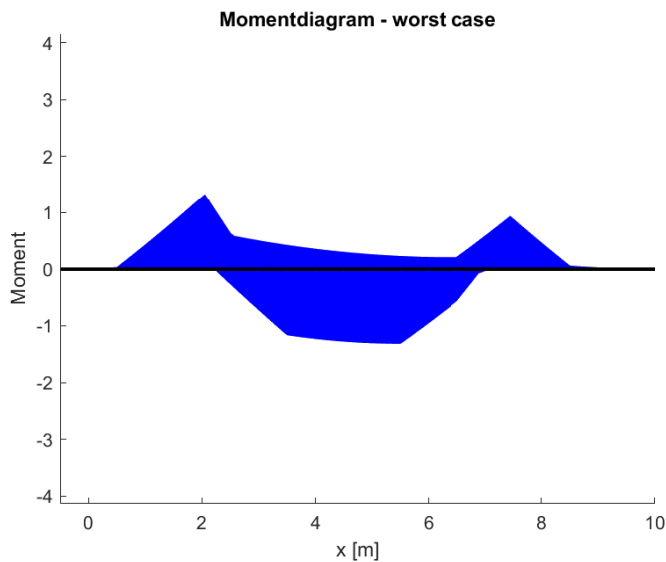
fprintf('Maxmoment fält: %f kNm\n',Mfalt/1000)
fprintf('Maxmoment stöd: %f kNm\n',Mstod/1000)

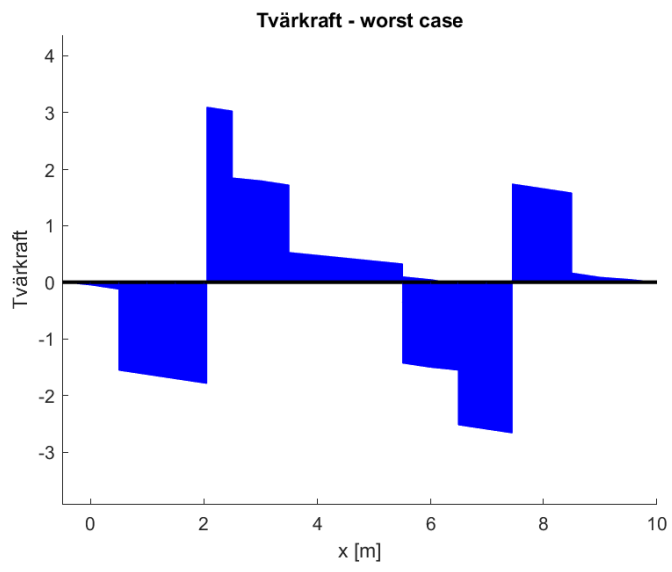
Tfalt=max(est(:,5));          %maximalt tvärkraft i fält
Tstod=min(est(:,6));          %maximalt tvärkraft vid stöd

fprintf('Max tvärkraft: %f kN\n',Tfalt/1000)
fprintf('Min tvärkraft: %f kN\n',Tstod/1000)

rmax = max(rs);
fprintf('Max reaktionskraft: %f kN\n',rmax/1000)
Maxmoment fält: 371.316406 kNm
Maxmoment stöd: -374.854078 kNm
Max tvärkraft: 376.917083 kN
Min tvärkraft: -439.100417 kN
Max reaktionskraft: 692.276042 kN

```





Lastfallsberäkningar längsled

Contents

- Moment och tvärkraft längsled på lådbalken (enbart egentygnd)
- Moment och tvärkraft längsled lastfall 1 (max fält)
- Moment och tvärkraft längsled, lastfall 2 (max stöd)
- Moment och tvärkraft längsled, lastfall 3 (max tvärkraft och upplagskraft)

Moment och tvärkraft längsled på lådbalken (enbart egentygnd)

```
clc
clear all
close all
%indata
I_stal=0.3806; %yttröghetsmoment lådbalk [m4] (från tvärsnittsberäkningar)
E=210*10.^9; %E-modul konstruktionstål [Pa]
A_stal=0.262; %tvärsnittsarea för lådbalk [m2](från tvärsnittsberäkningar)
gamma_stal=78*10.^3; %tunghet konstruktionsstål från Eurocode 2 [N/m3]
A_btg=3.126; %tvärsnittsarea för btgbanan [m2](från tvärsnittsberäkningar)
gamma_btg=25*10.^3; %tunghet armerad betong enligt Eurocode 2[N/m3]
g=((A_stal*gamma_stal)+(A_btg*gamma_btg))*1.35; %egentyngd [N/m]
L1=55; %spann mellan landfäste och första stöd [m]
L2=70; %spann mellan pelare [m]

e=6; %antal element
Edof=zeros(e,7); %skapar en matris med element och frihetsgrader
for i=1:e
Edof(i,1)=i;
Edof(i,2:7)=i*3-2:i*3-2+5;
end

ex=[0 L1; L1 L1+L2; L1+L2 L1+L2+L2/2;
    L1+L2+L2/2 L1+L2+L2;
    L1+L2+L2 L1+L2+L2+L2; %x-koordinater för alla element
    L1+L2+L2+L2 L1+L2+L2+L2+L1];
ey=zeros(6,2); %y-koordinater för alla element (alla är 0)
ep=[E A_stal I_stal]; %material och tvärsnittsparemeterar för balken
eq=[0 -g]; %utbredd egentygnd på alla element

%assemblerar styvhetsmatris
K=zeros(max(Edof(e,:)),max(Edof(e,:)));
f=zeros(max(Edof(e,:)),1);
for i=1:length(Edof(:,1))
[Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq);
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end
```

```

bc=[2 0; 5 0; 8 0; 14 0; 17 0; 19 0; 20 0]; %låsta frihetsgrader
%(vertikalt alla stöd och horisontellt på östra)
[a,rstod]=solveq(K,f,bc); %löser ekvationssystemet

fprintf('RA: %1.1f [Kn]\n',rstod(2)/1000) %reaktionskraft vid stöd A [Kn]
fprintf('RB: %1.1f [Kn]\n',rstod(5)/1000) %reaktionskraft vid stöd B [Kn]
fprintf('RC: %1.1f [Kn]\n',rstod(8)/1000) %reaktionskraft vid stöd C [Kn]
fprintf('RD: %1.1f [Kn]\n',rstod(14)/1000) %reaktionskraft vid stöd D [Kn]
fprintf('RE: %1.1f [Kn]\n',rstod(17)/1000) %reaktionskraft vid stöd E [Kn]
fprintf('RF: %1.1f [Kn]\n',rstod(20)/1000) %reaktionskraft vid stöd F [Kn]

Ed=extract(Edof,a); %tar ut förskjutningar för varje frihetsgrad
n=200; %antal snitt i elementen
for i=1:length(ex(:,1))
    [es(i*n-(n-1):i*n,:),edi(i*n-(n-1):i*n,:),eci(i*n-(n-1):i*n,:)]...
    =beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep,Ed(i,:),eq,n);
end

figure(1) %momentdiagram
plotpar=[2 1]; %färg och linjetyp
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(1:n,3),0.9); %ger en skalfaktor
for i=1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es(i*n-(n-1):i*n,3),plotpar,sfacmoment, ...
    eci(i*n-(n-1):i*n));
end
xlabel('x [m]')
ylabel('Moment')
title('Momentdiagram lådbalk')
legend('Egentyngd')
grid on

figure(2)
sfactvarkraft=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es(1:n,2),0.9); %ger en skalfaktor
for i=1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es(i*n-(n-1):i*n,2),plotpar,sfactvarkraft, ...
    eci(i*n-(n-1):i*n));
end
xlabel('x [m]')
ylabel('Tvärkraft')
title('Tvärkraftsdiagram')
legend('Egentyngd')
grid on

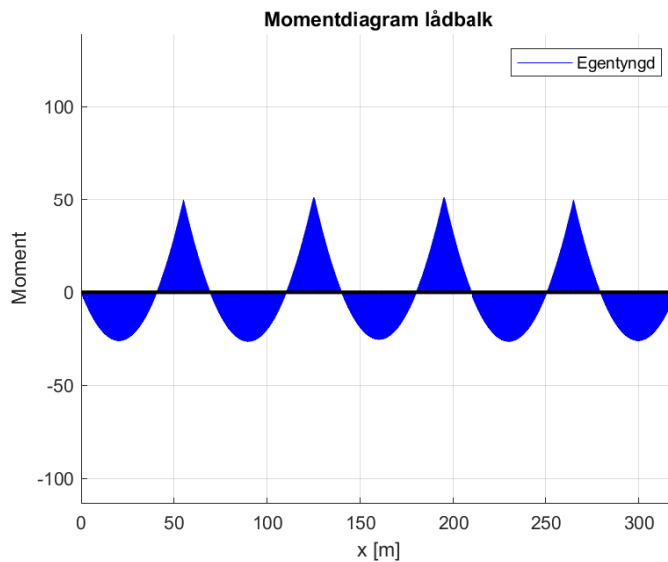
Mfalt=max(es(:,3)); %maximalt moment i fält
Mstod=min(es(:,3)); %maximalt moment vid stöd
Vmaxstod=max(abs(es(:,2))); %maximal tvärkraft över stöd

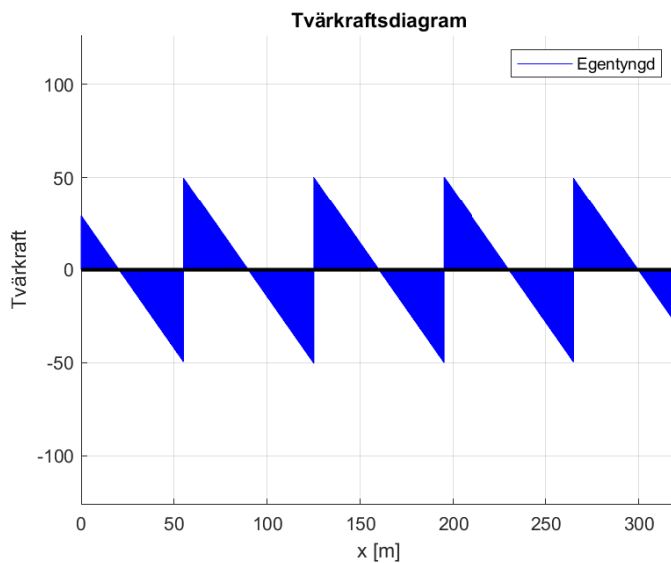
```

```

Vmaxfalt=abs(es(485,2)); %maximal tvärkraft 15 meter in i spannet
fprintf('Maxmoment fält: %f KNm\n',Mfalt/1000)
fprintf('Maxmoment stöd: %f KNm\n',Mstod/1000)
fprintf('Maximal tvärkraft över stöd: %f KN\n',Vmaxstod/1000)
fprintf('Maximal tvärkraft 15 meter in i fält: %f KN\n',Vmaxfalt/1000)
fprintf('Utböjning fält: %f mm',a(11)*1000)
RA: 2706.0 [Kn]
RB: 9240.1 [Kn]
RC: 9348.5 [Kn]
RD: 9348.5 [Kn]
RE: 9240.1 [Kn]
RF: 2706.0 [Kn]
Maxmoment fält: 27925.935186 KNm
Maxmoment stöd: -54720.321173 KNm
Maximal tvärkraft över stöd: 4690.313243 KN
Maximal tvärkraft 15 meter in i fält: 2691.917977 KN
Utböjning fält: -101.244922 mm

```





Moment och tvärkraft längsled lastfall 1 (max fält)

```

clc
clear all
close all
%indata
I=0.7772; %yttröghetsmoment i fält [m4] (från tvärsnittsberäkningar)
E=210*10.^9; %E-modul konstruktionstål [Pa]
A=0.262; %tvärsnittsarea för lådbalk [m2]
g=0; %egentyngden beräknas med superposition
p1=810*10.^3; %Punktlast LM1 lastfält 1 boggielast [N]
p2=540*10.^3; %Punktlast LM1 lastfält 2 [N]
Q=54.9*10.^3; %utbredda trafiklast [N/m]
L1=55; %spann mellan landfäste och första stöd [m]
L2=70; %spann mellan pelare [m]

e=8; %antal element
Edof=zeros(e,7); %skapar en matris med element och frihetsgrader
for i=1:e
Edof(i,1)=i;
Edof(i,2:7)=i*3-2:i*3-2+5;
end

ey=zeros(length(Edof(:,1)),2); %y-koordinater för alla noder (alla är 0)
ex=[0 L1/2;
    L1/2 L1;
    L1 L1+L2;
    L1+L2 L1+L2+L2/2;
    L1+L2+L2/2 L1+L2+L2; %x-koordinater för alla noder
    L1+L2+L2 L1+L2+L2+L2;

```

```

L1+L2+L2+L2 L1+L2+L2+L2+L1/2;
L1+L2+L2+L2+L1/2 L1+L2+L2+L2+L1];

kontrollangder=zeros(1,8);
for i=1:8
kontrollangder(i)=ex(i,2)-ex(i,1);
end
kontrollangder; %distanser mellan frihetsgrader

ep=[E A I]; %material och tvärsnittsparameterar för balken
eq1=[0 -g-Q];
eq2=eq1;
eq4=eq1;
eq5=eq1; %element med egenvikt och utbredda laster
eq7=eq1;
eq8=eq1;
eq3=[0 -g]; %element med enbart egenvikt
eq6=eq3;
%lägger ihop all elements utbredda laster i en matris
eq=zeros(length(Edof(:,1)),2);
eq(1,:)=eq1; eq(2,:)=eq2; eq(3,:)=eq3; eq(4,:)=eq4;
eq(5,:)=eq5; eq(6,:)=eq6; eq(7,:)=eq7; eq(8,:)=eq8;

%assemblerar styvhetsmatris
K=zeros(max(Edof(e,:)),max(Edof(e,:)));
f=zeros(max(Edof(e,:)),1);
f(14)=-p1-p2; %plaserar punktlaster i nod (mitt i fält)
for i=1:length(Edof(:,1))
[Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq(i,:));
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end
bc=[2 0; 8 0; 11 0; 17 0; 20 0; 25 0; 26 0]; %låsta frihetsgrader
%(vertikalt alla stöd och horisontellt på östra)
[a,rstor]=solveq(K,f,bc);%löser ekvationssystemet

fprintf('RA: %1.1f [kN]\n',rstor(2)/1000) %reaktionskraft vid stöd A [Kn]
fprintf('RB: %1.1f [kN]\n',rstor(8)/1000) %reaktionskraft vid stöd B [Kn]
fprintf('RC: %1.1f [kN]\n',rstor(11)/1000) %reaktionskraft vid stöd C [Kn]
fprintf('RD: %1.1f [kN]\n',rstor(17)/1000) %reaktionskraft vid stöd D [Kn]
fprintf('RE: %1.1f [kN]\n',rstor(20)/1000) %reaktionskraft vid stöd E [Kn]
fprintf('RF: %1.1f [kN]\n',rstor(26)/1000) %reaktionskraft vid stöd F [Kn]

Ed=extract(Edof,a); %tar ut förskjutningar för varje frihetsgrad
n=200; %antal snitt i elementen
for i=1:length(ex(:,1))
[es1(i*n-(n-1):i*n,:),edi(i*n-(n-1):i*n,:),eci1(i*n-(n-1):i*n,:)]...

```

```

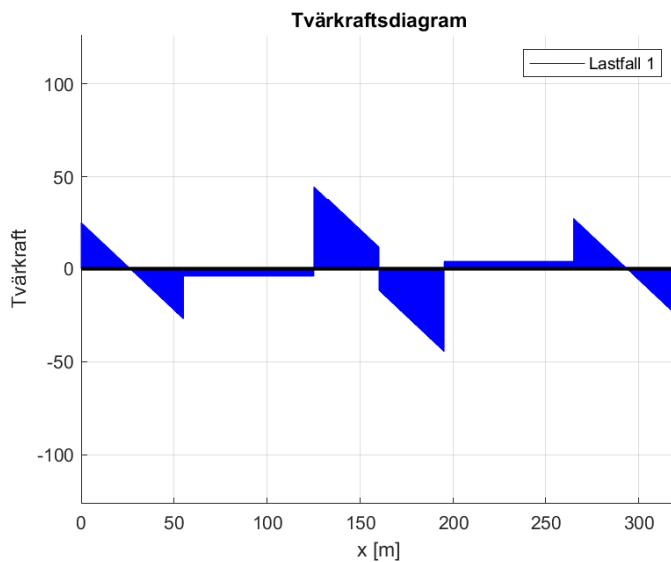
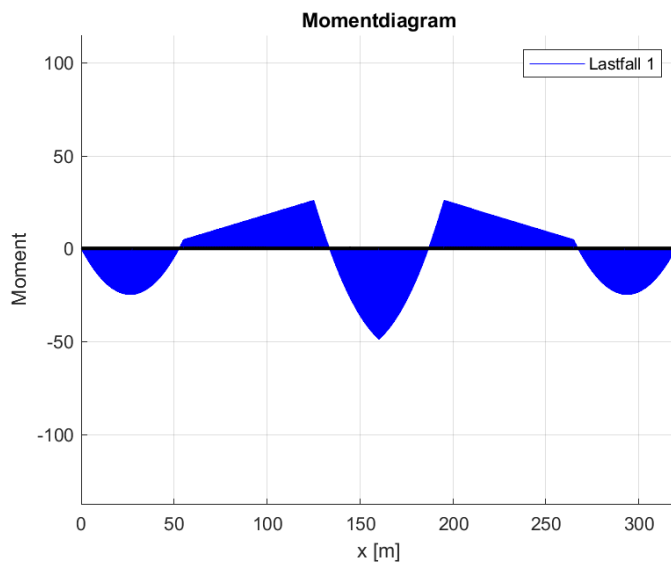
        =beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep,Ed(i,:),eq(i,:),n);
end

figure(1) %momentdiagram
plotpar=[2 1]; %färg och linjetyp
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(1:n,3),0.9); %ger en skalfaktor
for i=1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es1(i*n-(n-1):i*n,3),plotpar,sfacmoment, ...
        eci1(i*n-(n-1):i*n));
end
xlabel('x [m]')
ylabel('Moment')
title('Momentdiagram')
legend('Lastfall 1')
grid on

figure(2)
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(1:n,2),0.9); %ger en skalfaktor
for i=1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es1(i*n-(n-1):i*n,2),plotpar,sfacmoment, ...
        eci1(i*n-(n-1):i*n));
end
xlabel('x [m]')
ylabel('Tvärkraft')
title('Tvärkraftsdiagram')
legend('Lastfall 1')
grid on

Mfalt=max(es1(:,3)); %maximalt moment i fält
Mstod=min(es1(:,3)); %maximalt moment vid stöd
Vmax=max(abs(es1(:,2))); %maximal tvärkraft
fprintf('Maxmoment fält: %f kNm\n',Mfalt/1000)
fprintf('Maxmoment stöd: %f kNm\n',Mstod/1000)
fprintf('Maximal tvärkraft: %f kN\n',Vmax/1000)
fprintf('Utböjning i fält: %f mm',a(14)*1000)
RA: 1444.6 [kN]
RB: 1343.0 [kN]
RC: 2828.5 [kN]
RD: 2828.5 [kN]
RE: 1343.0 [kN]
RF: 1444.6 [kN]
Maxmoment fält: 37430.060911 kNm
Maxmoment stöd: -19821.189089 kNm
Maximal tvärkraft: 2596.500000 kN
Utböjning i fält: -89.881842 mm

```



Moment och tvårkraft längsled, lastfall 2 (max stöd)

```

clc
clear all
close all
%indata
I=0.5433; %yttröghetsmoment stöd (sprucket tvärsnitt) [m4]
E=210^10.^9; %E-modul konstruktionstål [Pa]
A=0.262; %tvärsnittsarea för lådbalk [m2]
g=0; %egentyngd beräknas med superpositon
p1=810*10.^3; %Punktlast LM1 lastfält 1 boggielast [N]
p2=540*10.^3; %Punktlast LM1 lastfält 2 [N]
Q=54.9*10.^3; %utbredda trafiklaster [N/m]
L1=55; %spann mellan landfäste och första stöd [m]
L2=70; %spann mellan pelare [m]

```

```

e=7; %antal element
Edof=zeros(e,7); %skapar en matris med element och frihetsgrader
for i=1:e
Edof(i,1)=i;
Edof(i,2:7)=i*3-2:i*3-2+5;
end

ey=zeros(length(Edof(:,1)),2); %y-koordinater för alla noder (alla är 0)
ex=[0 L1;
    L1 L1+L2/2;
    L1+L2/2 L1+L2;
    L1+L2 L1+L2+L2/2;
    L1+L2+L2/2 L1+L2+L2; %x-koordinater för alla noder
    L1+L2+L2 L1+L2+L2+L2;
    L1+L2+L2+L2 L1+L2+L2+L2+L1];
kontrollangder=zeros(1,7);
for i=1:7
kontrollangder(i)=ex(i,2)-ex(i,1);
end
kontrollangder; %distanser mellan frihetsgrader

ep=[E A I]; %material och tvärsnittsparameterar för balken
eq1=[0 -g]; %element med enbart egentyngd
eq6=eq1;
eq7=eq1;
eq2=[0 -g-Q]; %element med egenvikt och utbredda laster
eq3=eq2;
eq4=eq2;
eq5=eq2;
%lägger ihop all elements utbredda laster i en matris
eq=zeros(length(Edof(:,1)),2);
eq(1,:)=eq1; eq(2,:)=eq2; eq(3,:)=eq3; eq(4,:)=eq4;
eq(5,:)=eq5; eq(6,:)=eq6; eq(7,:)=eq7;

%assemblerar styvhetsmatris
K=zeros(max(Edof(7,:)),max(Edof(7,:)));
f=zeros(max(Edof(7,:)),1);
f(8)=-p1; f(14)=-p2; %plaserar punktlaster i noder (i fält)
for i=1:length(Edof(:,1))
[Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq(i,:));
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end
bc=[2 0; 5 0; 11 0; 17 0; 20 0; 22 0; 23 0]; %låsta frihetsgrader
%(vertikalt alla stöd och horisontellt på östra)
[a,rstor]=solveq(K,f,bc); %löser ekvationssystemet

```

```

fprintf('RA: %1.1f [kN]\n',rstor(2)/1000) %reaktionskraft vid stöd A [Kn]
fprintf('RB: %1.1f [kN]\n',rstor(5)/1000) %reaktionskraft vid stöd B [Kn]
fprintf('RC: %1.1f [kN]\n',rstor(11)/1000) %reaktionskraft vid stöd C [Kn]
fprintf('RD: %1.1f [kN]\n',rstor(17)/1000) %reaktionskraft vid stöd D [Kn]
fprintf('RE: %1.1f [kN]\n',rstor(20)/1000) %reaktionskraft vid stöd E [Kn]
fprintf('RF: %1.1f [kN]\n',rstor(23)/1000) %reaktionskraft vid stöd F [Kn]

Ed=extract(Edof,a); %tar ut förskjutningar för varje frihetsgrad
n=200; %antal snitt i elementen
for i=1:length(ex(:,1))
    [es2(i*n-(n-1):i*n,:),edi(i*n-(n-1):i*n,:),eci2(i*n-(n-1):i*n,:)]...
    =beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep,Ed(i,:),eq(i,:),n);
end

figure(1) %momentdiagram
plotpar=[2 1]; %färg och linjetyp
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es2(1:n,3),0.9); %ger en skalfaktor
for i=1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es2(i*n-(n-1):i*n,3),plotpar,sfacmoment, ...
    eci2(i*n-(n-1):i*n));
end
xlabel('x [m]')
ylabel('Moment')
title('Momentdiagram')
legend('Lastfall 2')
grid on

figure(2)
sfactvarkraft=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es2(1:n,2),0.2); %ger en skalfaktor
for i=1:length(ex(:,1))
    eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es2(i*n-(n-1):i*n,2),plotpar,sfactvarkraft, ...
    eci2(i*n-(n-1):i*n));
end
xlabel('x [m]')
ylabel('Tvärkraft')
title('Tvärkraftsdiagram')
legend('Lastfall 2')
grid on

Mfalt=max(es2(:,3)); %maximalt moment i fält
Mstod=min(es2(:,3)); %maximalt moment vid stöd
Vmaxstod=max(abs(es2(:,2))); %maximal tvärkraft vid stöd
Vmaxfalt=abs(es2(514,2)); %maximal tvärkraft 15 meter in i fält
fprintf('Maxmoment fält: %f kNm\n',Mfalt/1000)
fprintf('Maxmoment stöd: %f kNm\n',Mstod/1000)
fprintf('Maximal tvärkraft över stöd: %f kN\n',Vmaxstod/1000)

```

```
fprintf('Maximal tvärkraft 15 meter in i fält: %f kN\n',Vmaxfalt/1000)
```

RA: -268.8 [kN]

RB: 2296.2 [kN]

RC: 5151.8 [kN]

RD: 2081.5 [kN]

RE: -287.2 [kN]

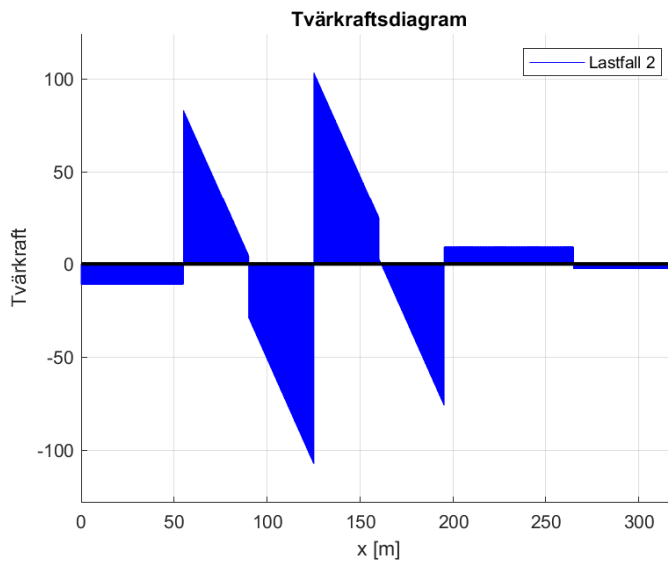
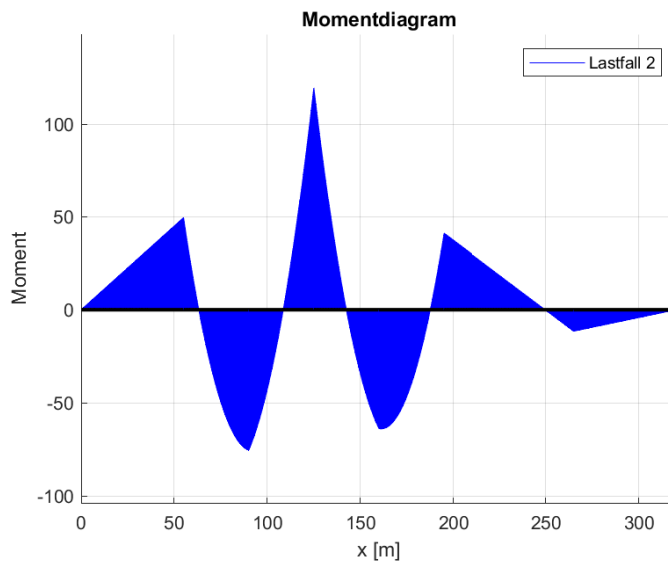
RF: 62.6 [kN]

Maxmoment fält: 22550.686690 kNm

Maxmoment stöd: -35717.953639 kNm

Maximal tvärkraft över stöd: 2625.568295 kN

Maximal tvärkraft 15 meter in i fält: 1795.171310 kN



Moment och tvärkraft längsled, lastfall 3 (max tvärkraft och upplagskraft)

```
clc
```

```

clear all
close all
%indata
I=0.5418; %ytttröghetsmoment stöd (sprucket tvärsnitt) [m4]
E=210^10.^9; %E-modul konstruktionstål [Pa]
A=0.262; %tvärsnittsarea för lådbalk [m2]
g=0; %egentyngd beräknas genom superposition
p1=810*10.^3; %Punktlast LM1 lastfält 1 boggielast [N]
p2=540*10.^3; %Punktlast LM1 lastfält 2 [N]
Q=54.9*10.^3; %utbredda trafiklaster [N/m]
L1=55; %spann mellan landfäste och första stöd [m]
L2=70; %spann mellan pelare [m]

e=7; %antal element
Edof=zeros(e,7); %skapar en matris med element och noder
for i=1:e
Edof(i,1)=i;
Edof(i,2:7)=i*3-2:i*3-2+5;
end

ey=zeros(length(Edof(:,1)),2); %y-koordinater för noder (alla är 0)
ex=[0 L1;
    L1 L1+(L2-1);
    L1+(L2-1) L1+L2;
    L1+L2 L1+L2+1; %x-koordinater för noder
    L1+L2+1 L1+L2+L2;
    L1+L2+L2 L1+L2+L2+L2;
    L1+L2+L2+L2 L1+L2+L2+L2+L1];

kontrollangder=zeros(1,7);
for i=1:7
kontrollangder(i)=ex(i,2)-ex(i,1);
end
kontrollangder; %distanser mellan frihetsgrader

ep=[E A I]; %material och tvärsnittsparameterar för balken
eq1=[0 -g]; %element med enbart egentyngd
eq6=eq1;
eq2=[0 -g-Q]; %element med egenvikt och utbredda laster
eq3=eq2;
eq4=eq2;
eq5=eq2;
eq7=eq2;
% %lägger ihop all elements utbredda laster i en matris
eq=zeros(length(Edof(:,1)),2);
eq(1,:)=eq1; eq(2,:)=eq2; eq(3,:)=eq3; eq(4,:)=eq4;

```

```

eq(5,:)=eq5; eq(6,:)=eq6; eq(7,:)=eq7;

%assemblerar styvhetsmatris
K=zeros(max(Edof(7,:)),max(Edof(7,:)));
f=zeros(max(Edof(7,:)),1);
f(8)=-p1-p2; %plaserar punktlaster 1m från stöd
for i=1:length(Edof(:,1))
[Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq(i,:));
[K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end
bc=[2 0; 5 0; 11 0; 17 0; 20 0; 22 0; 23 0]; %låsta frihetsgrader
%(vertikalt alla stöd och horisontellt på östra)
[a,rstor]=solveq(K,f,bc); %löser ekvationssystemet

fprintf('RA: %1.1f [kN]\n',rstor(2)/1000) %reaktionskraft vid stöd A [Kn]
fprintf('RB: %1.1f [kN]\n',rstor(5)/1000) %reaktionskraft vid stöd B [Kn]
fprintf('RC: %1.1f [kN]\n',rstor(11)/1000) %reaktionskraft vid stöd C [Kn]
fprintf('RD: %1.1f [kN]\n',rstor(17)/1000) %reaktionskraft vid stöd D [Kn]
fprintf('RE: %1.1f [kN]\n',rstor(20)/1000) %reaktionskraft vid stöd E [Kn]
fprintf('RF: %1.1f [kN]\n',rstor(23)/1000) %reaktionskraft vid stöd F [Kn]

Ed=extract(Edof,a); %tar ut förskjutningar för varje frihetsgrad
n=200; %antal snitt i elementen
for i=1:length(ex(:,1))
[es3(i*n-(n-1):i*n,:),edi(i*n-(n-1):i*n,:),eci3(i*n-(n-1):i*n,:)]...
=beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep,Ed(i,:),eq(i,:),n);
end

figure(1) %momentdiagram
plotpar=[2 1]; %färg och linjetyp
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es3(1:n,3),0.9); %ger en skalfaktor
for i=1:length(ex(:,1))
eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es3(i*n-(n-1):i*n,3),plotpar,sfacmoment, ...
eci3(i*n-(n-1):i*n));
end
xlabel('x [m]')
ylabel('Moment')
title('Momentdiagram')
legend('Lastfall 3')
grid on

figure(2)
sfacmoment=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es3(1:n,2),0.1); %ger en skalfaktor
for i=1:length(ex(:,1))
eldia2(ex(i,:),ey(i,:),es3(i*n-(n-1):i*n,2),plotpar,sfacmoment, ...
eci3(i*n-(n-1):i*n));
end

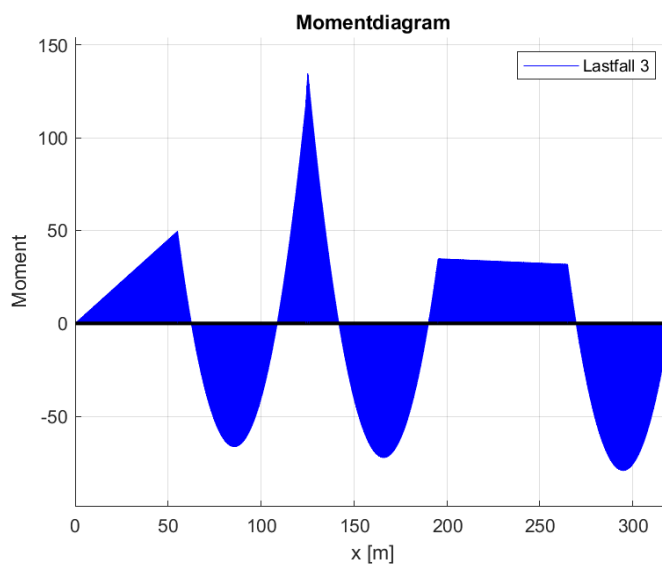
```

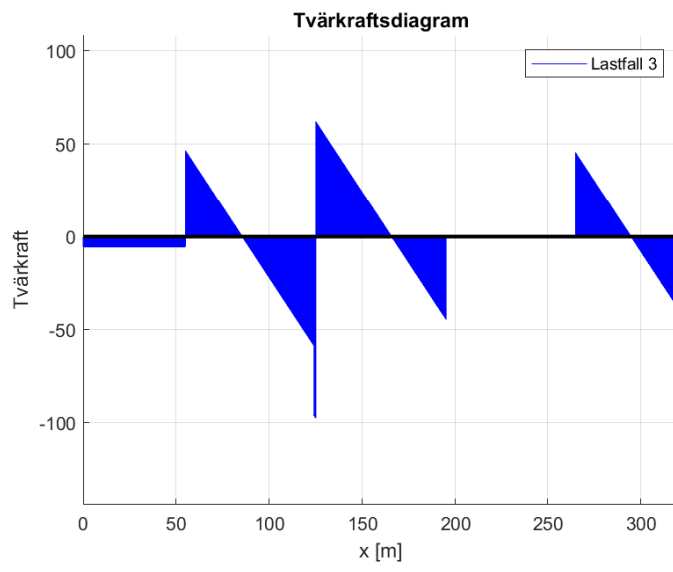
```

end
xlabel('x [m]')
ylabel('Tvärkraft')
title('Tvärkraftsdiagram')
legend('Lastfall 3')
grid on

Mfalt=max(es3(:,3)); %maximalt moment i fält
Mstod=min(es3(:,3)); %maximalt moment vid stöd
Vmax=max(abs(es3(:,2))); %maximal tvärkraft
fprintf('Maxmoment fält: %f kNm\n',Mfalt/1000)
fprintf('Maxmoment stöd: %f kNm\n',Mstod/1000)
fprintf('Maximal tvärkraft: %f kN\n',Vmax/1000)
RA: -198.3 [kN]
RB: 1871.4 [kN]
RC: 5755.6 [kN]
RD: 1616.8 [kN]
RE: 1627.4 [kN]
RF: 1382.6 [kN]
Maxmoment fält: 17410.707905 kNm
Maxmoment stöd: -29646.514114 kNm
Maximal tvärkraft: 3519.913074 kN

```



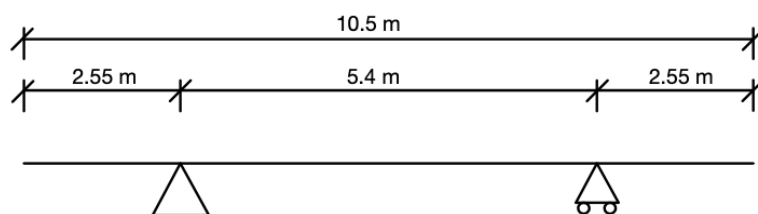


F Beräkningar för bron i tvärled

I följande avsnitt presenteras beräkningar som gjorts för bron i tvärled, det vill säga för brobanan i betong. Som beräkningsverktyg har Matlab använts men i avsnittet presenteras beräkningsgången och resultat från Matlab. Beräkningarna har gjorts enligt beräkningsgångar i Bärande Konstruktioner del 1 (2013) och del 2 (2014) som är baserade på Eurokod 2.

F.1 Beräkningsmodell för tvärled

Beräkningsmodellen för bron i tvärled är en fritt upplagd balk på två stöd (balkliven), med bredden $b = 1$ m, se figur 27 nedan. Följaktligen kontrolleras endast brobanaplattan i detta avsnitt. Valet av balk som beräkningsmodell istället för platta ger en dimensionering på den säkra sidan för punktlaster. Kontroller för momentkapacitet och sprickbredd kommer att ske i de två värsta snitten: i fält mellan upplagen och i snitten över upplagen. För tvärkraft kommer dimensionering ske i flertalet snitt för att bestämma avstånd mellan tvärmeringen längs balken.



Figur 27: Beräkningsmodell i tvärled

F.2 Dimensionerande laster

Dimensionerande moment

De dimensionerande momenten är hämtade ur CALFEM-beräkningarna, se bilaga E

$$M_{Ed,fält} = 372 \text{ kNm}$$

Dimensionerande moment i fält

$$M_{Ed,stöd} = -375 \text{ kNm}$$

Dimensionerande moment vid stöd

Dimensionerande tvärkraft

De dimensionerande tvärkrafterna i snitten a-j är hämtade ur CALFEM-beräkningarna i bilaga E. De dimensionerande tvärkrafterna lästes av grafiskt ur diagram och presenteras inte explicit i bilaga E.

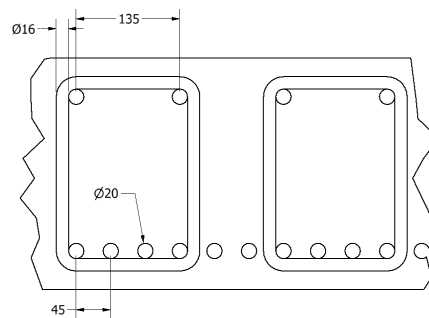
$$V_{Ed,a} = 20 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,b} = 256 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
V_{Ed,c} &= 443 \text{ kN} \\
V_{Ed,d} &= 270 \text{ kN} \\
V_{Ed,e} &= 76 \text{ kN} \\
V_{Ed,f} &= 270 \text{ kN} \\
V_{Ed,g} &= 443 \text{ kN} \\
V_{Ed,h} &= 256 \text{ kN} \\
V_{Ed,i} &= 20 \text{ kN}
\end{aligned}$$

F.3 Tvärsnittsdimensioner och materialparametrar

I följande avsnitt presenteras de materialparametrar som används i dimensioneringen av bron i tvärlängd. I figur 28 nedan presenteras tvärsnittet som kontrolleras. Figuren i bilden visar ett snitt av brobaneplattan som fortsätter med samma dimensioner och mått längs hela bronns utsträckning.



Figur 28: *Sektion av tvärsnitt för betongplatta i tvärlängd över stöd*

Exponeringsklass och val av betong

Miljön som bron är belägen i avgör valet av betong. För att ta fram hållfasthetsklassen för betongen behövs exponeringsklassen som beror av miljön och risken för korrosion. Korrosion orsakas av andra klorider än klorider från havsvatten och brodelar antas vara cykliskt våta och torra. Enligt tabell 4.1 i Eurokod 2 (SS-EN 1992-1-1:2005) fås exponeringsklassen XD3.

Enligt tabell E.1N i Eurokod 2 fås en rekommenderad hållfasthetsklass utifrån exponeringsklassen. Rekommenderad betong för exponeringsklass XD3 är C35/45.

Krav på minsta täcksikt

$$c_{min} = 30mm$$

Tabell 4.4N

$$\Delta c_{dev} = 10mm$$

B4-26

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 40mm$$

Täckande betongskikt

Betong C35/45

$$f_{ck} = 35MPa$$

Karakteristisk tryckhållfasthet betong

$$f_{cm} = 43MPa$$

Medeltryckhållfasthet betong

$$f_{ctm} = 35MPa$$

Medeldraghållfasthet betong

$f_{ctk0,05} = 35MPa$	Karakteristisk draghållfasthet betong 5%-fraktil
$E_{cm} = 35MPa$	E-modul betong
$\varepsilon_{cu} = 3,5 \cdot 10^{-3}$	Brottstukning betong
$\gamma_c = 1,5$	Partialkoefficient betong
$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 23,3MPa$	Dimensionerande tryckhållfasthet betong

Armering B500B

$f_{yk} = 500MPa$	Karakteristisk sträckgräns armeringsstål
$\gamma_s = 1,15$	Partialkoefficient stål
$E_s = 200GPa$	E-modul stål
$\phi = 20mm$	Armeringsdiameter

$f_{yd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = 434,8MPa$	Dimensionerande sträckgräns armeringsstål
---	---

$\varepsilon_{syd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 0,0022$	Brottöjning armeringsstål
---	---------------------------

$A_{si} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 3,1416 \cdot 10^{-4}m^2$	Area för en armeringsstång
---	----------------------------

Ekvivalent betongtvärsnitt

$\alpha_{ekv} = \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.8824$	Faktor som gör om stål till ekvivalent betong
--	---

F.4 Inplacering av armering

Avstånd mellan tryck-och dragarmering

$$cc_{arm} = 160 \text{ mm}$$

Brobanepatta $h_{btg} = 2 \cdot c_{nom} + \phi + cc_{arm} = 300 \text{ mm}$ Brobaneplattans tjocklek

Fält

$cc_f = 45 \text{ mm}$	Centrumavstånd dragarmering
$cc'_f = 135 \text{ mm}$	Centrumavstånd tryckarmering*
$n_f = \frac{1}{cc_f}$	Antal dragarmeringsstänger per breddmeter
$n'_f = \frac{1}{cc'_f}$	Antal tryckarmeringsstänger per breddmeter
$A_{s,f} = A_{s,i} \cdot n_f = 0.006981 \text{ m}^2$	Dragarmeringsarea per breddmeter
$A'_{s,f} = A_{s,i} \cdot n'_f = 0.002327 \text{ m}^2$	Area tryckarmering
$d_f = h_{btg} - d'_f = 260 \text{ mm}$	Avstånd från tryckt kant till dragarmering
$d'_f = c_{nom} + \frac{\phi}{2} = 50 \text{ mm}$	Avstånd från tryckt kant till tryckarmering

Stöd

$cc_s = 45 \text{ mm}$	Centrumavstånd dragarmering
$cc'_s = 135 \text{ mm}$	Centrumavstånd tryckarmering
$n_s = \frac{1}{cc_s}$	Antal dragarmeringsstänger per breddmeter

*Centrumavståndet mellan tryckarmeringen styrs av att bredden på tvärrarmeringsbyglarna begränsas för breda konstruktioner.

$n'_s = \frac{1}{cc'_s}$	Antal tryckarmeringsstänger per breddmeter
$A_{s,s} = A_{s,i} \cdot n_s = 0.006981 \text{ m}^2$	Dragarmeringsarea per breddmeter
$A'_{s,s} = A_{s,i} \cdot n_s = 0.002327 \text{ m}^2$	Area tryckarmering
$d_s = h_{btg} - d'_s = 260 \text{ mm}$	Avstånd från tryckt kant till dragarmering
$d'_s = c_{nom} + \frac{\phi}{2} = 50 \text{ mm}$	Avstånd från tryckt kant till tryckarmering

Kontroll av minsta fria avstånd mellan armering

$c_{fri,krav} = \max(\phi, d_g, 20 \text{ mm})$, där d_g är största stenstorleken i betongen (16 mm)
 $c_{fri,krav} = 20 \text{ mm}$

$$c_{fri} = cc_f - 2 \cdot \frac{\phi}{2} = 45 \text{ mm} < c_{fri,krav} \text{ OK!}$$

$$c_{fri} = cc_s - 2 \cdot \frac{\phi}{2} = 45 \text{ mm} < c_{fri,krav} \text{ OK!}$$

F.5 Analys i brottgränstillstånd

F.5.1 Tvärsnittskonstanter i stadium III

Tvärsnittsarea fält:

$$A_f = b \cdot x_f + (\alpha - 1) \cdot A_{s,f1} + \alpha \cdot A_{s,f2} + \alpha \cdot A_{s,f3} = 0.11807 \text{ m}^2$$

Yttröghetsmoment fält:

$$I_f = \frac{b \cdot x_f^3}{3} + 1 \cdot x_f \cdot \left(\frac{x_f}{2}\right)^2 + (\alpha - 1) \cdot A_{s,f1} \cdot (x_f - d_1)^2 + \alpha \cdot A_{s,f2} \cdot (d_2 - x_f)^2 + \alpha \cdot A_{s,f3} \cdot (d_3 - x_f)^2 = 0.0008999 \text{ m}^4$$

Tvärsnittsarea stöd:

$$A_s = b \cdot x_s + (\alpha - 1) \cdot A_{s,s1} + \alpha \cdot A_{s,s2} + \alpha \cdot A_{s,s3} = 0.11807 \text{ m}^2$$

Yttröghetsmoment stöd:

$$I_s = \frac{b \cdot x_s^3}{3} + 1 \cdot x_s \cdot \left(\frac{x_s}{2}\right)^2 + (\alpha - 1) \cdot A_{s,s1} \cdot (x_s - d_1)^2 + \alpha \cdot A_{s,s2} \cdot (d_2 - x_s)^2 + \alpha \cdot A_{s,s3} \cdot (d_3 - x_s)^2 = 0.0008999 \text{ m}^4$$

F.5.2 Momentkapacitet fält

Beräkningen av momentkapacitet kommer ske med hjälp av ett förenklat tryckblock. Ett antagande görs om att dragarmeringen flyter men att tryckarmeringen inte gör det

$$\alpha = 0,81 \quad \text{Tabell B5.1 (Al-Ermani m. fl., 2013)}$$

$$\beta = 0,416 \quad \text{Tabell B5.1 (Al-Ermani m. fl., 2013)}$$

Horisontell jämvikt:

$$f_{yd} \cdot A_{s,f1} + f_{yd} \cdot A_{s,f2} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot \beta \cdot x_f + \frac{x_f - d'_f}{x_f} \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s \cdot A'_{s,f}$$

$$\Rightarrow x_f = 0.11266 \text{ m}$$

Momentjämvikt runt dragarmering:

$$M_{Rd,fält} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x_f \left(\frac{d_{f2} + d_{f3}}{2} - \beta \cdot x_f \right) + \frac{x_f - d'_f}{x_f} \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s \cdot A_{s,f1} \cdot \left(\frac{d_{f2} + d_{f3}}{2} - d'_f \right)$$

Insättning ger: $M_{Rd,fält} = 644 \text{ kNm} > M_{Ed,fält}$ OK!

Kontroll av antagande

Dragarmering:

$$\frac{d - x_f}{x_f} \cdot \varepsilon_{cu} = 0.004577 > \varepsilon_{syd} \rightarrow \text{Dragarmeringen flyter, antagandet stämmer!}$$

Tryckarmering:

$$\frac{x_f - d'}{x_f} \cdot \varepsilon_{cu} = 0.001947 < \varepsilon_{syd} \rightarrow \text{Tryckarmeringen flyter inte, antagandet stämmer!}$$

F.5.3 Momentkapacitet stöd

Beräkningen av momentkapacitet kommer ske med hjälp av ett förenklat tryckblock. Ett antagande görs om att dragarmeringen flyter men att tryckarmeringen inte gör det

$$\alpha = 0,81$$

Tabell B5.1 (Al-Ermani m. fl., 2013)

$$\beta = 0,416$$

Tabell B5.1 (Al-Ermani m. fl., 2013)

Horisontell jämvikt:

$$f_{yd} \cdot A_{s,s1} + f_{yd} \cdot A_{s,s2} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot \beta \cdot x_s + \frac{x_s - d'_s}{x_s} \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s \cdot A'_{s,s}$$

$$\Rightarrow x_s = 0.11266 \text{ m}$$

Momentjämvikt runt dragarmering:

$$M_{Rd,stöd} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x_s \left(\frac{d_{s2} + d_{s3}}{2} - \beta \cdot x_s \right) + \frac{x_s - d'_s}{x_s} \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s \cdot A_{s,s1} \cdot \left(\frac{d_{s2} + d_{s3}}{2} - d'_s \right)$$

Insättning ger: $M_{Rd,stöd} = 644 \text{ kNm} > M_{Ed,stöd}$ OK!

Kontroll av antagande

Dragarmering:

$$\frac{d - x_s}{x_s} \cdot \varepsilon_{cu} = 0.004577 > \varepsilon_{syd} \rightarrow \text{Dragarmeringen flyter, antagandet stämmer!}$$

Tryckarmering:

$$\frac{x_s - d'}{x_s} \cdot \varepsilon_{cu} = 0.001947 < \varepsilon_{syd} \rightarrow \text{Tryckarmeringen flyter inte, antagandet stämmer!}$$

F.5.4 Kontroll av segt verkningsätt

För segt verkningsätt måste följande villkor uppfyllas för normalbetong:

$$x \leq 0.45d = [d = 260 \text{ mm}] = 117 \text{ mm OK!}$$

F.5.5 Tvärkraftskapacitet

$$V_{Ed} = V_{Ed,max} = 443 \text{ kN (kontrollerar i det värsta snittet)}$$

$$b = 1 \text{ m (beaktar en remsa med bredden 1 m)}$$

Kapacitet mot livtryckbrott (utan tvärkraftsarmering)

$$v = 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.5160, (f_{ck} \text{ i MPa})$$

$$V_{Rd,livtryck} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_2 = 1.565 \text{ MN}$$

Ekvation B6-11

$$V_{Rd,livtryck} > V_{Rd,max}$$

→ Kapaciteten mot livtryckbrott utan tvärkraftsarmering är tillräcklig

Kapacitet mot skjuvglidbrott (utan tvärkraftsarmering)

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{y_c} = 0.12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{0.2}{d_2}} = 1.953$$

$$\rho = \min\left(\frac{A_{s,f2}}{b_{snitt} \cdot d_2}, 0.02\right) = 0.020$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho \cdot f_{ck}} \cdot b \cdot d_2, f_{ck} = 212.5 \text{ i MPa}$$

Ekvation B6-14

$V_{Rd,c} < V_{Ed,max}$ → Kapacitet mot skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering är inte tillräcklig, tvärkraftsarmering behövs.

Beräkning av s-mått med hänsyn till skjuvglidbrott

$$\theta = 30^\circ$$

Väljer ett värde på trycksträvans lutning

$$\phi_w = 16 \text{ mm}$$

Diameter för byglarna

$$A_{sw} = \frac{\phi_w^2 \cdot \pi}{4} = 4.0212 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Area för en bygel (två skär)

$$f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$$

Flytgräns för byglar B500B

Beräknar s-mått i områdena mellan snitten a-j, enligt

$$s = \frac{0.9 \cdot d_2 \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw}}{\frac{V_{Ed}}{0.9}}$$

Ekvation B6-21*

$$s_{max} = 0.75d = 0.195 \text{ (avrundar till } s_{max} = 0.19 \text{ m)}$$

* V_{Ed} har dividerats med 0.9 för att åstadkomma en dimensionering på den säkra sidan. Detta för att ta höjd för att alla aspekter inte tagits i beaktan då det rör sig endast om en preliminär dimensionering.

Detta resulterar i följande s-mått, se tabell 8 :

Tabell 8: *Avstånd mellan tvärarmering i tvärled*

Snitt	ab	bc	cd	de	ef	fg	gh	hi	ij
s (beräknat) [m]	2.69	0.21	0.12	0.19	0.71	0.19	0.12	0.21	2.69
s (slutgiltigt) [m]	0.19	0.19	0.12	0.19	0.12	0.19	0.12	0.19	0.19

Kapacitet mot livtryckbrott med tvärkraftsarmering

$$v_1 = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = \frac{b \cdot 0.9 \cdot d_2 \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 1.032 \text{ MN} > V_{Ed} \text{ OK!}$$

F.6 Analys i bruksgränstillstånd

F.6.1 Krympning

$$A_c = b \cdot h_{btg} = 0.31 \text{ m}^2$$

$$u = 2b = 2 \text{ m}$$

Betongarea (per breddmeter)

Delen av tvärsnittet som utssätts för uttorkning

$$h_0 = 2 \cdot \frac{A_c}{u} =$$

Tvärsnittets nominella tjocklek (B2.19)

$$k_h = 0.75$$

Tabell B2.7

$$\beta_{RH} = 0.756 \text{ Faktor som beaktar omgivningens relativa fuktighet, RF} = 80 \% \text{ (B2.6)}$$

$$\varepsilon_{cdi} = 0.33510 \cdot 10^{-3} \quad \text{Grundvärdet för uttorkningskrympning [-] (tabell B2.5)}$$

$$\varepsilon_{cd} = k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \varepsilon_{cdi} \quad \text{Uttorkningskrympning [-]}$$

$$\varepsilon_{ca} = 0.0625 \cdot 10^{-3} \quad \text{Värde på autogen krympning [-], (Tabell B2.8)}$$

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 2.5245 \cdot 10^{-4} \quad \text{Total slutgiltig krympning [-]}$$

Tvångskrafter

Fält:

$$F_{s,f} = E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot A_{s,f} = 352.5 \text{ kN}$$

Kraft i dragarmering

$$F'_{s,f} = E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot A'_{s,f} = 117.5 \text{ kN}$$

Kraft i tryckarmering

Stöd:

$$F_{s,s} = E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot A_{s,s} = 352.5 \text{ kN}$$

Kraft i dragarmering

$$F'_{s,s} = E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot A'_{s,s} = 117.5 \text{ kN}$$

Kraft i tryckarmering

F.6.2 Krypning

$$RH = 0.8 \quad \text{Relativ fuktighet [-]}$$

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1-RH}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.7} \right] \cdot \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.2} = 1.205 \quad \text{Faktor som beaktar inverkan av relativ fuktighet, (B2-24)}$$

$$\beta_{f_{cm}} = 2.56 \quad \text{Faktor som beaktar betongens tryckhållfasthet (tabell B2.9)}$$

$$\beta_{t_0} = 0.48 \quad \text{Faktor som beaktar betongens ålder vid pålastning}$$

$$\varphi_{kryp} = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0} = 1.48 \quad \text{Slutligt kryptal [-]}$$

$$\alpha_{eff} = \frac{E_s}{E_{cd}} \cdot (1 + \varphi_{kryp}) = 17.51 \quad \text{Omr.fakt. ekv. betong med hänsyn till krypning}$$

F.6.3 Bestämning av neutrala lagrets position i stadium II med hänsyn till normalkrafter

Fält

$$x_f = 0.13302 \text{ m (Värde som framtagits genom iteration)}$$

$$A_{II,f} = b \cdot x_f + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s + \alpha_{eff} \cdot A_{s,f} = 0.2937 \text{ m}^2 \quad \text{(Ekvation B7-5)}$$

$$x_{tp,f} = \frac{\frac{b \cdot x_f^2}{2} + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_{s,f} \cdot d' + \alpha_{eff} \cdot A_{s,f} \cdot d}{A_{II,f}}$$

$$\Rightarrow x_{tp,f} = 0.145 \text{ m} \quad \text{(Ekvation B7-17)}$$

$$I_{II,f} = \frac{b \cdot x_f^3}{12} + b \cdot x_f \cdot (x_{tp,f} - \frac{x_f}{2})^2 + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s \cdot (x_{tp,f} - d')^2 + \alpha_{eff} \cdot A_{s,f} \cdot (d - x_{tp,f})^2$$

$$\Rightarrow I_{II,f} = 0.002979 \text{ m}^4 \quad \text{(Ekvation B7-17)}$$

$$e'_{s,f} = d' - x_{tp,f} = -0.095 \text{ m} \quad \text{Hävarm mellan tryckarmering och neutrallager}$$

$$e_{s,f} = d - x_{tp,f} = 0.115 \text{ m} \quad \text{Hävarm mellan dragarmering och neutrallager}$$

$$\sigma(z) = \frac{F'_{s,f} + F_{s,f}}{A_{II,f}} + \frac{F_{s,f} \cdot e'_{s,f} + F_{s,f} \cdot e_{s,f}}{I_{II,f}} \cdot z \quad \text{Naviers formel}$$

$$\sigma'_{c,f} = \sigma(e'_{s,f}) = -11.19 \text{ MPa} \quad \text{Betongspänning i höjd med tryckarmeringen}$$

$$\sigma_{c,f} = \sigma(e_{s,f}) = 17.11 \text{ MPa} \quad \text{Betongspänning i höjd med dragarmeringen}$$

Stöd

$$x_s = 0.1332 \text{ m} \quad \text{(Värde som framtagits genom iteration)}$$

$$A_{II,s} = b \cdot x_s + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s + \alpha_{eff} \cdot A_{s,s} = 0.2938 \text{ m}^2 \quad \text{(Ekvation B7-5)}$$

$$x_{tp,s} = \frac{\frac{b \cdot x_s^2}{2} + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_{s,s} \cdot d' + \alpha_{eff} \cdot A_{s,s} \cdot d}{A_{II,s}}$$

$$\Rightarrow x_{tp,s} = 0.145 \text{ m} \quad (\text{Ekvation B7-17})$$

$$I_{II,s} = \frac{b \cdot x_f^3}{12} + b \cdot x_s \cdot (x_{tp,s} - \frac{x_s}{2})^2 + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s \cdot (x_{tp,s} - d')^2 + \alpha_{eff} \cdot A_{s,s} \cdot (d - x_{tp,s})^2$$

$$\Rightarrow I_{II,s} = 0.002979 \text{ m}^4 \quad (\text{Ekvation B7-17})$$

$$e'_{s,s} = d' - x_{tp,s} - 0.095 \text{ m} \quad \text{Hävarm mellan tryckarmering och neutrallager}$$

$$e_{s,s} = d - x_{tp,s} = 0.115 \text{ m} \quad \text{Hävarm mellan dragarmering och neutrallager}$$

$$\sigma(z) = \frac{F'_{s,f} + F_{s,f}}{A_{II,f}} + \frac{F_{s,f} \cdot e'_{s,f} + F_{s,f} \cdot e_{s,f}}{I_{II,f}} \cdot z \quad \text{Naviers formel}$$

$$\sigma'_{c,f} = \sigma(e'_{s,f}) = -11.28 \text{ MPa} \quad \text{Betongspänning i höjd med tryckarmeringen}$$

$$\sigma_{c,f} = \sigma(e_{s,f}) = 17.23 \text{ MPa} \quad \text{Betongspänning i höjd med dragarmeringen}$$

F.6.4 Stålpåkänningar

Fält

$$\sigma'_{s,f} = -\frac{F'_{s,f}}{A'_{s,f}} + \alpha_{eff} \cdot \sigma'_{c,f} = -246.4 \text{ MPa} < 0.8f_{yk} \text{ OK!} \quad \text{Spänning i tryckarmering}$$

$$\sigma_{s,f} = -\frac{F_{s,f}}{A_{s,f}} + \alpha_{eff} \cdot \sigma_{c,f} = 249.1 \text{ MPa} < 0.8f_{yk} \text{ OK!} \quad \text{Spänning i dragarmering}$$

Stöd

$$\sigma'_{s,s} = -\frac{F'_{s,s}}{A'_{s,s}} + \alpha_{eff} \cdot \sigma'_{c,s} = -248.0 \text{ MPa} < 0.8f_{yk} \text{ OK!} \quad \text{Spänning i tryckarmering}$$

$$\sigma_{s,s} = -\frac{F_{s,s}}{A_{s,s}} + \alpha_{eff} \cdot \sigma_{c,s} = 251.2 \text{ MPa} < 0.8f_{yk} \text{ OK!} \quad \text{Spänning i dragarmering}$$

F.6.5 Nedböjning

Maximal nedböjning för betongfarbanan beräknades för lastfall 2 för i CALFEM (se bilaga E) och resulterade i följande nedböjning:

$$w_{tot} = 10.8 \text{ mm}$$

$$L = \text{m} \quad \text{spänn vid högst nedböjning}$$

$$w_{krav} = L/400 = 13.5 \text{ mm} \quad \text{Nedböjningskrav TRVK bro B.3.4.2.2}$$

→ Nedböjningskrav OK! $w_{tot} < w_{krav}$ OK!

F.6.6 Sprickbredd

Maximal sprickbredd beräknades i de kritiska snitten vid stöd och i fält där störst stålspänningar uppnås. Detta gjordes enligt SS 137010 och jämfördes med kraven på sprickbredd för exponeringsklass XD3.

$\sigma_{s,f} = 249.1 \text{ MPa}$	Högsta stålspänning i fält
$\sigma_{s,s} = 251.2 \text{ MPa}$	Högsta stålspänning vid
$x_f = 0.13302 \text{ m}$	Tryckzonshöjd fält
$x_s = 0.1332 \text{ m}$	Tryckzonshöjd stöd
$k_t = 0.4$	Koefficient för långtidslast
$k_3 = 3.4$	Nationell parameter
$k_1 = 0,8$	Parameter för kamstänger
$k_2 = 0.5$	Parameter för ren böjning (approximation)
$k_4 = 0.425$	Nationell parameter
$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.88$	Omräkningsfaktor ekvivalent betong

Fält

$$h_{c,eff} = \min([2,5 \cdot (t_{btg,stöd} - d), \frac{(h-x)}{3}, \frac{h}{2}]) = 0.059m$$

$$A_{ef} = h_{c,eff} \cdot b_{eff} = 0.059m^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s,dragarm}}{A_{ef}} = 0.118$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} > 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.001154 > 7.567 \cdot 10^{-4} \text{ OK!}$$

$$s_{r,max,f} = k_3 \cdot c_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{dragarm}}{\rho_{p,eff}} = 0.1647m$$

$$w_{k,f} = s_{r,max,f} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \cdot 1000 = 0.19mm$$

$$w_{k,max} = 0,2mm \quad \text{Maximal tillåten sprickbredd enligt SS 137010}$$

$$w_{k,s} < w_{k,max} \text{ OK!}$$

Stöd

$$h_{c,eff} = \min([2,5 \cdot (t_{btg,stöd} - d), \frac{(h-x)}{3}, \frac{h}{2}]) = 0.05893m$$

$$A_{ef} = h_{c,eff} \cdot b_{eff} = 0.05893m^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s,dragarm}}{A_{ef}} = 0.1261$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} > 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.11846 > 7.567 \cdot 10^{-4} \text{ OK!}$$

$$s_{r,max,s} = k_3 \cdot c_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{dragarm}}{\rho_{p,eff}} = 0.1647m$$

$$w_{k,s} = s_{r,max,s} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \cdot 1000 = 0.192mm$$

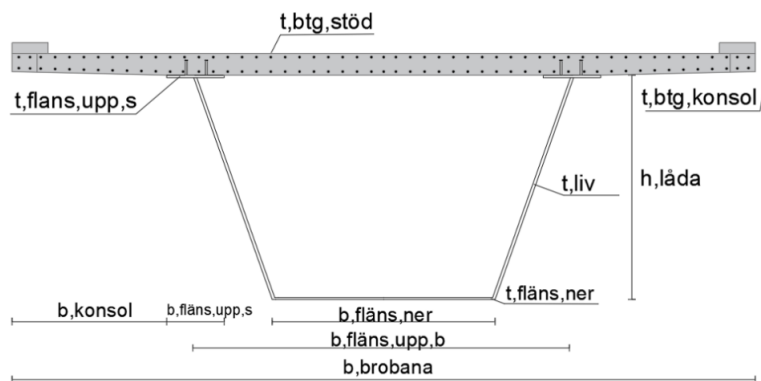
$$w_{k,max} = 0.2mm \quad \text{Maximal tillåten sprickbredd enligt SS 137010}$$

$$w_{k,s} < w_{k,max} \text{ OK!}$$

G Beräkningar för bron i längsled

Beräkningar för momentkapacitet i längsled gjordes utifrån SS-EN 1994-1 och 1994-2 med spänningskontroll i lådbalken, armeringen och betongen. Detta gjordes genom superposition av spänningar från olika lastfall. Två spänningsberäkningar utfördes, den ena för lådbalken och den andra för samverkanstvärsnittet. Spänningarna på lådbalken från egentygden av betongplattan och ställlångbalken samt spänningar på lådbalken och betongplattan från de variabla trafiklasterna adderades för att hitta den totala spänningen i de olika konstruktionsdelarna. Egentygnd och styvhet från kantbalkarna försumrades.

G.1 Tvärsnittsdimensioner & materialparametrar



Figur 29: Beräkningsmodell för tvärsnitt

$h_{l\ddot{a}da} = 3 \text{ m}$	Höjd på ställlåda från under- till överkant
$t_{fl\ddot{a}ns,ner} = 25 \text{ mm}$	Tjocklek nedre fläns stål balk
$t_{fl\ddot{a}ns,upp,s} = 35 \text{ mm}$	Tjocklek övre fläns stål balk
$b_{fl\ddot{a}ns,ner} = 3.1 \text{ m}$	Bredd nedre fläns
$b_{fl\ddot{a}ns,upp,b} = 5.4 \text{ m}$	Bredd mellan liv i överkant
$b_{fl\ddot{a}ns,upp,s} = 0.8 \text{ m}$	Bredd övre fläns
$b_{brobana} = 10.5 \text{ m}$	Bredd brobana
$b_{konsol} = \frac{b_{brobana} - b_{fl\ddot{a}ns,upp,b} - b_{fl\ddot{a}ns,upp,s}}{2} = 2.15 \text{ m}$	Bredd för en konsol
$t_{liv} = 20 \text{ mm}$	Tjocklek livplåt

$h_{liv,s} = h_{låda} = 3 \text{ m}$	Höjd på livplåt
$t_{btg,stöd} = 0.31 \text{ m}$	Tjocklek betong vid livstöden
$t_{btg,konsol} = 0.25 \text{ m}$	Tjocklek betong vid konsolände
$\alpha = \arctan\left(\left(\frac{b_{fläns,upp,b} - b_{fläns,ner}}{2}\right) / h_{liv,s}\right) = 20.97^\circ$	Livens lutning insida låda
$l_{liv} = \frac{h_{liv,s}}{\cos(\alpha)} = 3.213 \text{ m}$	Längd livplåt
$A_{liv,s} = t_{liv} \cdot l_{liv} = 0.0643 \text{ m}^2$	Area livplåt
$A_{fläns,upp,s} = t_{fläns,upp,s} \cdot b_{fläns,upp,s} = 0.028 \text{ m}^2$	Area över fläns
$A_{fläns,ner,s} = t_{fläns,ner,s} \cdot b_{fläns,ner,s} = 0.0775 \text{ m}^2$	Area undre fläns
$A_{stål} = 2 \cdot A_{liv,s} + 2 \cdot A_{fläns,upp,s} + A_{fläns,ner,s} = 0.262 \text{ m}^2$	Tvårsnittetsarea stållådbalk
$A_{btg} = (b_{fläns,upp,b} + b_{fläns,upp,s}) \cdot t_{btg,stöd} + (t_{btg,konsol} \cdot b_{konsol} \cdot 2) + (((t_{btg,stöd} - t_{btg,konsol}) \cdot b_{konsol})) = 3.126 \text{ m}^2$	Betong area tvärsnitt
$\gamma_{stål} = 78 \text{ kN/m}^3$	Tunghet för stål
$\gamma_{betong} = 25 \text{ kN/m}^3$	Tunghet för armerad betong
$f_y = 355 \text{ MPa}$	Flytspänning för konstruktionsstål S355
$\gamma_{M1} = 1$	Partialkoefficient för konstruktionsstål
$E_s = 210 \text{ GPa}$	E-modul för konstruktionsstål
$E_c = 34 \text{ GPa}$	Betongens E-modul
$\varphi_{kryp} = 1.4843$	Kryptal betong
$G_{stål} = \gamma_{stål} \cdot A_{stål} = 20.437 \text{ kN/m}$	Egentyngd för stållådbalken
$G_{btg} = \gamma_{btg} \cdot A_{btg} = 78.15 \text{ kN/m}$	Egentyngd för betongplattan
$G_{tot} = G_{stål} + G_{btg} = 98.587 \text{ kN/m}$ (Användes i CALFEM för beräkningar av $M_{fält,egentyngd}$ och $M_{stöd,egentyngd}$)	Total egentyngd

G.2 Lådbalktvärsnitt spänningsberäkningar egentygnd

$$x_{tp,stål} = (2 \cdot A_{liv,s} \cdot \frac{h_{liv,s}}{2} + 2 \cdot A_{fläns,upp,s} \cdot (h_{liv,s} + \frac{t_{fläns,upp,s}}{2}) + A_{fläns,ner,s} \cdot \frac{t_{fläns,ner}}{2}) / A_{stål} = 1.3844 \text{ m}$$

Tyngdpunkt räknat från underkant

$$I_{stål} = 2 \cdot (\frac{t_{liv} \cdot h_{liv,s}^3}{12} + (\frac{h_{liv,s}}{2} - x_{tp,stål})^2 \cdot A_{liv,s}) + (\frac{b_{fläns,ner} \cdot t_{fläns,ner}^3}{12} + (x_{tp,stål} - \frac{t_{fläns,ner}}{2})^2 \cdot A_{fläns,ner,s}) + 2 \cdot (\frac{b_{fläns,upp,s} \cdot t_{fläns,upp,s}^3}{12} + (h_{liv,s} - x_{tp,stål} - \frac{t_{fläns,upp,s}}{2})^2 \cdot A_{fläns,upp,s}) = 0.3806 \text{ m}^4$$

Yttröghetsmoment ställådbalk

$$M_{fält,egentyngd} = 27.926 \text{ MNm} \quad \text{Maxmoment i fält från egenviktsberäkning}$$

$$M_{stöd,egentyngd} = -54.72 \text{ MNm} \quad \text{Maxmoment i stöd från egenviktsberäkning}$$

$$z_{underkant} = x_{tp,stål} = 1.3844 \text{ m} \quad \text{Avstånd från Xtp till underkant}$$

$$z_{överkant} = x_{tp,stål} - h_{låda} = -1.6156 \text{ m} \quad \text{Avstånd från Xtp till överkant}$$

Fält

$$\sigma_{fält,drag,egentyngd} = \frac{M_{fält,egentyngd}}{I_{stål}} \cdot z_{underkant} = 101.57 \text{ MPa} \quad \text{Max dragspänning}$$

$$\sigma_{fält,tryck,egentyngd} = \frac{M_{fält,egentyngd}}{I_{stål}} \cdot z_{överkant} = -118.54 \text{ MPa} \quad \text{Max tryckspänning}$$

stöd

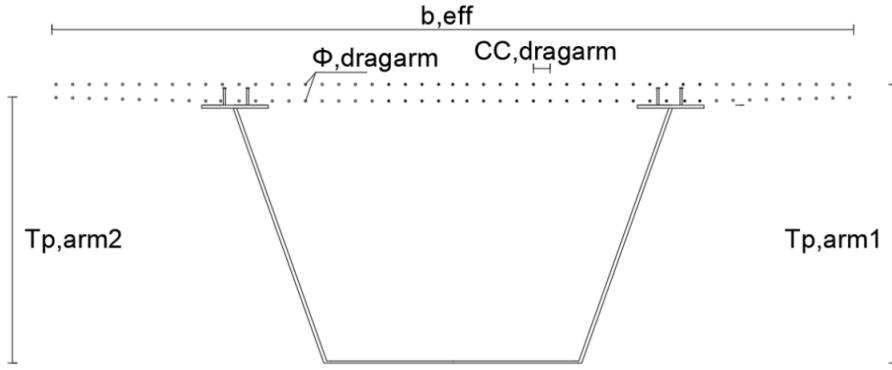
$$\sigma_{stöd,tryck,egentyngd} = \frac{M_{stöd,egentyngd}}{I_{stål}} \cdot z_{underkant} = -199.03 \text{ MPa} \quad \text{Max tryckspänning}$$

$$\sigma_{stöd,drag,egentyngd} = \frac{M_{stöd,egentyngd}}{I_{stål}} \cdot z_{överkant} = 232.28 \text{ MPa} \quad \text{Max dragspänning}$$

G.3 Samverkanstvsnitt spänningsberäkningar variabla trafiklaster

För beräkningar av spänningar i brottgränstillstånd på samverkantvsnittet kommer beräkningar utgå ifrån att all betong är sprucken vid stöd enligt 6.2.1.1 och enbart dragarmering samverkar med ställådbalken, och i fält samverkar hela betongbrobanan i tryck med ställådbalken.

Stöd



Figur 30: Beräkningsmodell för tvärsnitt vid stöd

$c_{dragarm} = 0.15 \text{ m}$ Centrumavstånd mellan dragarmeringen

$c_{nom} = 0.04 \text{ m}$ Minsta täcksikt för betong

$\phi_{dragarm} = 0.025 \text{ m}$ Diameter på dragarmeringsstänger

$b_{eff} = b_{fläns,upp,b} + b_{fläns,upp,s} + 0.8 \cdot b_{konsol} \cdot 2 = 9.64 \text{ m}$ Effektiv flänsbredd (5.4.1.2)

$n_{dragarm} = \frac{b_{eff}}{c_{dragarm}} = 65 \text{ st}$ Antal stänger i ett lager dragarmering

$A_{si,dragarm} = \frac{\phi_{dragarm}^2 \cdot \pi}{4} = 4.9087 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ Tvärsnittsarea 1 st dragarmeringsjärn

$A_{s,dragarm} = n_{dragarm} \cdot A_{si,dragarm} = 0.0319 \text{ m}^2$ Armeringsarea för 1 lager

$t_{p,arm1} = h_{låda} + t_{btg,stöd} - c_{nom} - \frac{\phi_{dragarm}}{2} - 0.025 = 3.2325 \text{ m}$

Distans från underkant till centrum armeringslager 1, nedsänkt 25 mm pga konflikt vinkelrät armering

$t_{p,arm2} = h_{låda} + c_{nom} + \frac{\phi_{dragarm}}{2} + 0.025 = 3.0775 \text{ m}$

Distans från underkant till centrum armeringslager 2, upphöjd 25 mm pga konflikt vinkelrät armering

$x_{tp,samverk,stöd} = ((2 \cdot A_{liv,s} \cdot \frac{h_{liv,s}}{2}) + (2 \cdot A_{fläns,upp,s} \cdot (h_{liv,s} + \frac{t_{fläns,upp,s}}{2}))) \Rightarrow$
 $\Rightarrow (A_{fläns,ner,s} \cdot \frac{t_{fläns,ner}}{2}) + (A_{s,dragarm} \cdot t_{p,arm1}) + (A_{s,dragarm} \cdot t_{p,arm2}) / (A_{stål} + A_{s,dragarm} \cdot 2) = 1.7311 \text{ m}$

Tyngdpunkt från underkant

$I_{samverk,stöd} = 2 \cdot (\frac{t_{liv,s} \cdot h_{liv,s}^3}{12} + A_{liv,s} \cdot (\frac{h_{liv,s}}{2} - x_{tp,samverk,stöd})^2) + (\frac{b_{fläns,ner} \cdot t_{fläns,ner}^3}{12} + A_{fläns,ner,s} \cdot (x_{tp,samverk,stöd} - \frac{t_{fläns,ner}}{2})^2) + 2 \cdot (\frac{b_{fläns,upp} \cdot t_{fläns,upp}^3}{12} + A_{fläns,upp,s} \cdot (h_{liv,s} - x_{tp,samverk,stöd} - \frac{t_{fläns,upp}}{2})^2) + A_{s,dragarm} \cdot (t_{p,arm1} - x_{tp,samverk,stöd})^2 + A_{s,dragarm} \cdot (t_{p,arm2} - x_{tp,samverk,stöd})^2 = 0.5433 \text{ m}^4$ Yttröghetsmoment för samverkanstvärsnitt

$$z_{\text{underkant,samverk,stöd}} = x_{tp,\text{samverk,stöd}} = 1.7311 \text{ m} \quad \text{Hävarm till underkant ställåda}$$

$$z_{\text{övre fläns,samverk,stöd}} = h_{\text{låda}} - t_{tp,\text{samverk,stöd}} = 1.2689 \text{ m} \quad \text{Hävarm till övre fläns}$$

$$z_{\text{arm,samverk,stöd}} = (h_{\text{låda}} + t_{btg,\text{stöd}} - c_{nom} - \frac{\phi_{\text{dragarm}}}{2}) - x_{tp,\text{samverk,stöd}} = 1.5264 \text{ m}$$

Hävarm till armeringslager 1

$$M_{\text{stöd,samverkan}} = -35.718 \text{ MNm} \quad \text{Maximalt moment vid stöd lastfall 2}$$

$$\sigma_{\text{stöd,samverk,tryck}} = \frac{M_{\text{stöd,samverkan}}}{I_{\text{samverk,stöd}}} \cdot z_{\text{underkant,samverk,stöd}} = -113.81 \text{ MPa}$$

Maximal tryckspänning, undre fläns

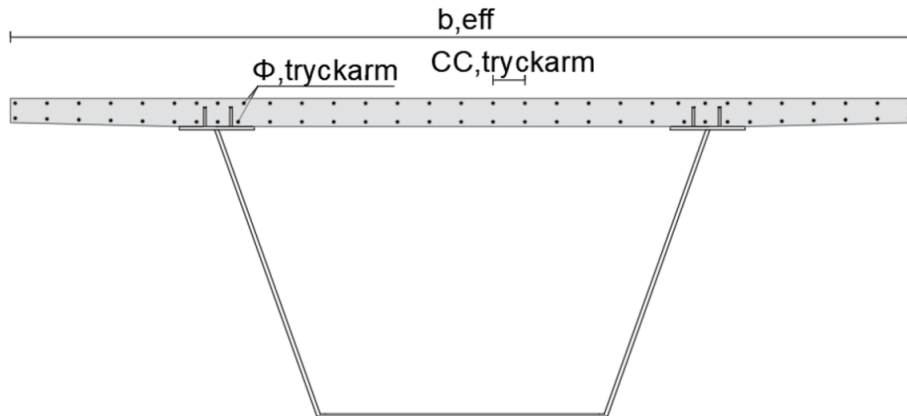
$$\sigma_{\text{stöd,samverk,drag}} = \frac{M_{\text{stöd,samverkan}}}{I_{\text{samverk,stöd}}} \cdot -z_{\text{övre fläns,samverk,stöd}} = 83.42 \text{ MPa}$$

Maximal dragspänning, övre fläns

$$\sigma_{\text{stöd,samverk,arm}} = \frac{M_{\text{stöd,samverkan}}}{I_{\text{samverk,stöd}}} \cdot -z_{\text{arm,samverk,stöd}} = 100.35 \text{ MPa}$$

Maximal dragspänning i armering

Fält



Figur 31: Beräkningsmodell för tvärsnitt vid fält

$$c_{\text{tryckarm}} = 0.3m \quad \text{Centrumavstånd mellan tryckarmeringen}$$

$$\phi_{\text{tryckarm}} = 0.02m \quad \text{Diameter på tryckarmeringstänger}$$

$$n_{\text{tryckarm}} = \frac{b_{\text{eff}}}{c_{\text{tryckarm}}} = 33st \quad \text{Antal stänger i ett lager tryckarmering}$$

$$A_{si,\text{tryckarm}} = \frac{\phi_{\text{tryckarm}}^2 * \pi}{4} = 3.1416 \cdot 10^{-4} m^2 \quad \text{Tvärsnittsarea för 1 armeringsjärn}$$

$$A_{s,\text{tryckarm}} = n_{\text{tryckarm}} \cdot A_{si,\text{tryckarm}} = 0.0104 m^2 \quad \text{Area för 1 lager tryckarmering}$$

$$\alpha_{\text{eff}} = \frac{E_c}{E_s \cdot (1 + \varphi_{krpp})} = 0.0652 \quad \text{Omvandlingskoefficient för betong till stål}$$

$$A_{btg,eff} = b_{eff} \cdot t_{btg,stöd} - 2 \cdot A_{s,tryck,arm} = 2.9677m^2 \quad \text{Effektiv betongarea}$$

$$x_{tp,samverk,fält} = ((2 \cdot A_{liv,s} \cdot \frac{h_{liv,s}}{2}) + (2 \cdot A_{fläns,upp,s} \cdot (h_{liv,s} + \frac{t_{fläns,upp,s}}{2})) + (A_{fläns,ner,s} \cdot \frac{t_{fläns,ner}}{2}) + (h_{låda} + \frac{t_{btg,stöd}}{2}) \cdot A_{btg,eff} \cdot \alpha_{eff} + tp_{arm1} \cdot A_{s,tryckarm} + tp_{arm2} \cdot A_{s,tryckarm}) / (A_{stål} + A_{btg,eff} \cdot \alpha_{eff} + 2 \cdot A_{s,tryckarm}) = 2.1807m$$

Tyngdpunkt från underkant

$$I_{samverk,fält} = 2 \cdot (\frac{t_{liv} \cdot h_{liv,s}^3}{12} + A_{liv,s} \cdot (\frac{h_{liv,s}}{2} - x_{tp,samverk,fält})^2) + (\frac{b_{fläns,ner} \cdot t_{fläns,ner}^3}{12} + A_{fläns,ner,s} \cdot (x_{tp,samverk,fält} - \frac{t_{fläns,ner}}{2})^2) + 2 \cdot (\frac{b_{fläns,upp} \cdot t_{fläns,upp}^3}{12} + A_{fläns,upp,s} \cdot (h_{liv,s} - x_{tp,samverk,fält} - \frac{t_{fläns,upp}}{2})^2) + (\frac{b_{eff} \cdot t_{btg,stöd}^3}{12} + A_{btg,eff} \cdot \alpha_{eff} \cdot (h_{låda} + \frac{t_{btg,stöd}}{2} - x_{tp,samverk,fält})^2) + A_{s,tryckarm} \cdot (tp_{arm1} - x_{tp,samverk,fält})^2 + A_{s,tryckarm} \cdot (tp_{arm2} - x_{tp,samverk,fält})^2 = 0.7772m^4$$

Yttröghetsmoment för samverkanstvärsnitt

$$z_{underkant,samverk,fält} = x_{tp,samverk,fält} = 2.1807m \quad \text{Hävarm till underkant ställåda}$$

$$z_{övre fläns,samverk,fält} = h_{låda} - t_{tp,samverk,fält} = 0.8193m \quad \text{Hävarm till övre fläns}$$

$$z_{arm,samverk,fält} = (h_{låda} + t_{btg,stöd} - c_{nom} - \frac{\phi_{tryckarm}}{2}) - x_{tp,samverk,fält} = 1.0793m$$

Hävarm till armeringslager 1

$$z_{btg,överkant} = h_{låda} + t_{btg,stöd} - x_{tp,samverk,fält} = 1.1293m$$

Hävarm till överkant på betongbanan

$$M_{fält,samverkan} = 37.430MNm \quad \text{Maximalt moment vid fält lastfall 1}$$

$$\sigma_{fält,samverk,tryck} = \frac{M_{fält,samverkan}}{I_{samverk,fält}} \cdot -z_{övre fläns,samverk,fält} = -39.457MPa$$

Maximal tryckspänning, undre fläns

$$\sigma_{fält,samverk,drag} = \frac{M_{fält,samverkan}}{I_{samverk,fält}} \cdot z_{underkant,samverk,fält} = 105.02MPa$$

Maximal dragspänning, övre fläns

$$\sigma_{fält,samverk,arm} = \frac{M_{fält,samverkan}}{I_{samverk,fält}} \cdot -z_{arm,samverk,fält} = -51.978MPa$$

Maximal tryckspänning i armering

$$\sigma_{fält,samverk,btg} = \alpha_{eff} \left(\frac{M_{fält,samverkan}}{I_{samverk,fält}} \cdot -z_{btg,överkant} \right) = -3.544MPa$$

Maximal tryckspänning i betong

G.4 Superposition och kontroll av spänningar

Spänningar ifrån de två beräkningar superpositioneras för varje kritisk area i tvärsnittet (övre stålfäns, undre stålfäns, övre tryck- och dragarmering samt överkant på betongen). Dessa spänningar kontrolleras emot kraven från 6.1.2.1.

krav

$$krav_{st\ddot{a}l} = \frac{f_y}{\gamma_{m1}} = 355MPa \quad \text{Maximal tryck- och dragsp\ddot{a}nning i st\ddot{a}let}$$

$$krav_{arm} = f_{yd} = 434.8MPa \quad \text{Maximal tryck- och dragsp\ddot{a}nning i armering}$$

$$krav_{tryckt,btg} = 0,85 \cdot f_{cd} = 19.8MPa \quad \text{Maximal trycksp\ddot{a}nning i betong}$$

Kontroll stöd

$$\sigma_{undrefl\ddot{a}ns,st\ddot{a}d} = \sigma_{st\ddot{a}d,tryck,egenvikt} + \sigma_{st\ddot{a}d,samverk,tryck} = -312.84MPa$$

$$|\sigma_{undrefl\ddot{a}ns,st\ddot{a}d}| < krav_{st\ddot{a}l} \quad \text{ok!}$$

$$\sigma_{\ddot{o}vrefl\ddot{a}ns,st\ddot{a}d} = \sigma_{st\ddot{a}d,drag,egenvikt} + \sigma_{st\ddot{a}d,samverk,drag} = 315.7MPa$$

$$\sigma_{\ddot{o}vrefl\ddot{a}ns,st\ddot{a}d} < krav_{st\ddot{a}l} \quad \text{ok!}$$

$$\frac{\sigma_{\ddot{o}vrefl\ddot{a}ns,st\ddot{a}d}}{krav_{st\ddot{a}l}} = 88.93\% \quad \text{Utnyttjandegrad vid st\ddot{a}d}$$

$$\sigma_{st\ddot{a}d,samverk,arm} = 100.35MPa$$

$$\sigma_{st\ddot{a}d,samverk,arm} < krav_{arm} \quad \text{ok!}$$

Kontroll Fält

$$\sigma_{undrefl\ddot{a}ns,f\ddot{a}lt} = \sigma_{f\ddot{a}lt,drag,egenvikt} + \sigma_{f\ddot{a}lt,samverk,drag} = 206.59MPa$$

$$\sigma_{undrefl\ddot{a}ns,f\ddot{a}lt} < krav_{st\ddot{a}l} \quad \text{ok!}$$

$$\sigma_{\ddot{o}vrefl\ddot{a}ns,f\ddot{a}lt} = \sigma_{f\ddot{a}lt,tryck,egenvikt} + \sigma_{f\ddot{a}lt,samverk,tryck} = -158MPa$$

$$|\sigma_{\ddot{o}vrefl\ddot{a}ns,f\ddot{a}lt}| < krav_{st\ddot{a}l} \quad \text{ok!}$$

$$\frac{\sigma_{undrefl\ddot{a}ns,f\ddot{a}lt}}{krav_{st\ddot{a}l}} = 58.19\% \quad \text{Utnyttjandegrad i f\ddot{a}lt}$$

$$\sigma_{f\ddot{a}lt,samverk,arm} = -51.978MPa$$

$$|\sigma_{f\ddot{a}lt,samverk,arm}| < krav_{arm} \quad \text{ok!}$$

$$\sigma_{f\ddot{a}lt,samverk,btg} = -3.544MPa$$

$$|\sigma_{f\ddot{a}lt,samverk,btg}| < krav_{tryckt,btg} \quad \text{ok!}$$

G.5 Tvärkraftskapacitet och avstyvningar

Tvärkraftskapacitet beräknades enligt Eurokod 1993-1-5 vid två snitt. Det mest kritiska snittet finns över stöd från lastfall 3 som användes för dimensionerande tvärkraft. Då liven ansågs som slanka, var risk för buckling dimensionerande och avstyvningar krävdes för att klara av tvärkrafterna. I fält där tvärkraften är lägre gjordes även beräkningar för avstånd mellan avstyvningar för att få en bättre utnyttjandegrad, fält ansågs här börja 15 m från stöd. Avstyvningarna antogs vara vecka ändavstyvningar då ingen detaljberäkningarna har gjorts på avstyvningarna.

$$v = 0.3 \quad \text{Poissons tal st\ddot{a}l}$$

$$h_w = 2.965m \quad \text{H\ddot{o}jd livpl\ddot{a}t}$$

$$t_w = 0.02m \quad \text{Tjocklek livpl\ddot{a}t}$$

$$\eta = 1.2$$

Stålkoefficient för S355

Över stöd

$V_{Ed} = 4690.3 + 3519.9 = 8210.2kN$ Dimensionerande tvärkraft från lastfall 3 och egentyingd

$$a = 1.5m$$

Avstånd mellan avstyvningar över stöd

$$\kappa_{\tau} = 4 + \frac{5.34}{(a/h_w)^2} = 24.8645$$

Bucklingskoefficient

$$\tau_{cr} = \kappa_{\tau} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E_s}{12 \cdot (1-\nu^2) \cdot \left(\frac{h_w}{t_w}\right)^2} = 214.73MPa$$

Kritisk skjuvbucklingsspänning

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y/\sqrt{3}}{\tau_{cr}}} = 0.977$$

Livplåtens slankhet

$$\frac{0.8}{\eta} \leq \bar{\lambda}_w < 1.08 \Rightarrow \chi_w = \frac{0.83}{\bar{\lambda}_w} = 0.8495$$

Skjuvbucklingskoefficient

$$V_{bw,Rd} = \chi_w \cdot h_w \cdot t_w \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 10325kN$$

Tvärkraftkapacitet mht skjuvbuckling

$$V_{Ed} < V_{bw,Rd}$$

ok!

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = 79.5\%$$

Utnyttjandegrad

I fält

$V_{Ed} = 2691.9 + 1795.2 = 4487.1kN$ Dimensionerande tvärkraft från lastfall 2 och egentyingd

$$a = 6m$$

Avstånd mellan avstyvningar över stöd

$$\kappa_{\tau} = 5.34 + \frac{4}{(a/h_w)^2} = 6.3168$$

Bucklingskoefficient

$$\tau_{cr} = \kappa_{\tau} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E_s}{12 \cdot (1-\nu^2) \cdot \left(\frac{h_w}{t_w}\right)^2} = 54.551MPa$$

Kritisk skjuvbucklingsspänning

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y/\sqrt{3}}{\tau_{cr}}} = 1.9383$$

Livplåtens slankhet

$$\frac{0.8}{\eta} \leq \bar{\lambda}_w < 1.08 \Rightarrow \chi_w = \frac{0.83}{\bar{\lambda}_w} = 0.4282$$

Skjuvbucklingskoefficient

$$V_{bw,Rd} = \chi_w \cdot h_w \cdot t_w \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 5204.4kN$$

Tvärkraftkapacitet mht skjuvbuckling

$$V_{Ed} < V_{bw,Rd}$$

ok!

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = 86.2\%$$

Utnyttjandegrad

G.6 Nedböjning och sprickbredd i bruksgränstillstånd

Nedböjning

Maximal nedböjning vid fält beräknades enbart för variabel trafiklast för lastfall 1 i CALFEM, se bilaga E.

$$w_{lastfall1} = 89.9mm$$

$$L = 70m$$

Spann vid högst nedböjning

$$w_{krav} = L/400 = 0,175m = 175mm$$

Nedböjningskrav TRVK bro B.3.4.2.2

$$w_{lastfall1} < w_{krav}$$

ok!

Sprickbredd

Maximal sprickbredd beräknades där maximal stålspanning uppstår, vid stöd. Detta gjordes enligt SS 137010 och jämfördes med kraven på sprickbredd för exponeringsklass XD3.

$$\sigma_{stöd,samverk,arm} = 100.35MPa$$

$$k_t = 0,4$$

Koefficient för långtidslast

$$x = 0$$

Ingen tryckzon då allt är sprucket

$$k_3 = 3.4$$

Nationell parameter

$$k_1 = 0.8$$

Parameter för kamstänger

$$k_2 = 1$$

Parameter för ren dragning

$$k_4 = 0.425$$

Nationell parameter

$$d = t_{btg,stöd} - c_{nom} - \frac{\phi_{dragarm}}{2} = 0.2575m$$

$$h_{c,eff} = \min([2,5 \cdot (t_{btg,stöd} - d), \frac{(h-x)}{3}, \frac{h}{2}]) = 0.1033m$$

$$A_{ef} = h_{c,eff} \cdot b_{eff} = 0.9961m^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s,dragarm}}{A_{ef}} = 0.0316$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm} \cdot (1 + \varphi_{krvp})} = 2.3678$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 2.866110^{-4} < 3.0249 \cdot 10^{-4} \quad \text{ej ok!}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 3.0249 \cdot 10^{-4}$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{dragarm}}{\rho_{p,eff}} = 0.4048m$$

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \cdot 1000 = 0.1224mm$$

$$w_{k,max} = 0,2mm$$

Maximal tillåten sprickbredd SS 137010

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

ok!

H Dimensionering av långsgående skjuförbindare

Dimensionering gjordes enligt SS-EN 1994-2 utifrån beräkningsgång från boken *Finite Element Analysis and Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges*, sida 469-554*.

Distansering tvärled

$d1 = 0.025m$ Diameter på skjuförbindare

$d2 = 2 \cdot d1 = 0.05 > 1,5 \cdot d1 = 0.0375 m$ Diameter på svetsbultens huvud

$h_{sc} = 0.2m > 3 \cdot d1 = 0.075$ Svetsbultens nominella totallängd

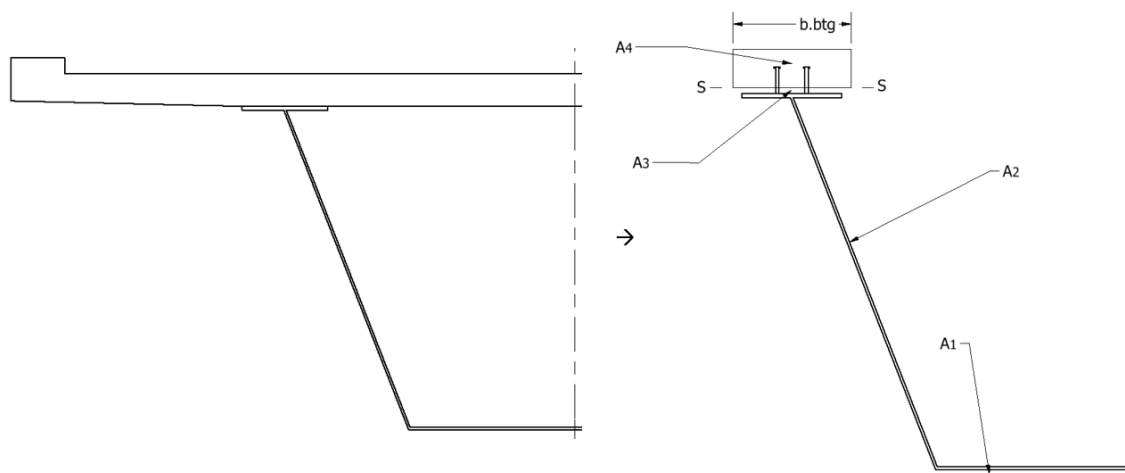
$h_{top} = 0.5 \cdot d1 = 0.0125 m > 0.4 \cdot d1 = 0.01 m$ Höjd på svetsbultens huvud

$e_D = 9 \cdot t_{fläns,upp,s} \sqrt{235/f_y} = 0.26 m$ Minsta avstånd flänskant till skjuförbindare

$s_t = b_{fläns,upp,s} - 2 \cdot e_D - d1 = 0.255 m$ Centrumavstånd skjuförbindare

Distansering längsled

Med hjälp av symmetri delades tvärsnittet upp i två för att förenkla beräkningar.



Figur 32: Beräkningsmodell för skjuförbindare

$b_{btg} = \frac{b_{brobana}}{2} / 6 = 0.875 m$ Bredd på förbindande betong

$A_1 = \frac{A_{fläns,ner,s}}{2} = 0.0388 m^2$

$A_2 = A_{liv,s} = 0.0643 m^2$

*<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shear-connection>

$$A_3 = A_{fläns,upp,s} = 0.028 \text{ m}^2$$

$$A_4 = b_{btg} \cdot t_{btg,stöd} = 0.2712 \text{ m}^2 \quad \text{Area på förbindande betong}$$

$$A_{tot} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 0.4023 \text{ m}^2$$

$$x_{tp} = A_1 \cdot \frac{t_{fläns,ner}}{2} + A_2 \cdot \left(\frac{h_{liv,s}}{2} + t_{fläns,ner}\right) + A_3 \cdot \left(\frac{t_{fläns,upp,s}}{2} + t_{fläns,ner} + h_{liv,s}\right) + A_4 \cdot \left(\frac{t_{btg,stöd}}{2} + t_{fläns,ner} + h_{liv,s} + t_{fläns,upp,s}\right) = 2.6245 \text{ m} \quad \text{Tyngdpunkt från underkant}$$

$$I_z = \left(\frac{b_{fläns,ner} \cdot t_{fläns,ner}^3}{12} + A_1 \cdot (x_{tp} - \frac{t_{fläns,ner}}{2})^2\right) + \left(\frac{t_{liv} \cdot h_{liv,s}^3}{12} + A_2 \cdot (x_{tp} - (\frac{h_{liv,s}}{2} + t_{fläns,ner}))^2\right) + \left(\frac{b_{fläns,upp,s} \cdot t_{fläns,upp,s}^3}{12} + A_3 \cdot (x_{tp} - (\frac{t_{fläns,upp,s}}{2} + h_{liv,s} + t_{fläns,ner,s}))^2\right) + \left(\frac{b_{btg} \cdot t_{btg,stöd}^3}{12} + A_4 \cdot (x_{tp} - (\frac{t_{btg,stöd}}{2} + h_{liv,s} + t_{fläns,ner,s} + t_{fläns,upp,s}))^2\right) = 0.4887 \text{ m}^4$$

Yttröghetsmoment för snittet

$$V_{Ed} = \frac{4690.3 \text{ kN} + 3519.9 \text{ kN}}{2} = 4105.15 \text{ kN}$$

Dimensionerande tvärkraft för 1 fläns, från lastfall 3 och egentygnd

$$S_{ss} = A_4 \cdot (h_{lâda} + \frac{t_{btg,stöd}}{2} - x_{tp}) = 0.1439 \text{ m}^3$$

Statiskt moment för betongen kring s-s snitt

$$q = \frac{V_{ed} \cdot S_{ss}}{I_z} = 1208.7 \text{ kN/m} \quad \text{Skjuvflöde vid snitt s-s}$$

$$P_{ed} = \frac{q}{2} = 604.3 \text{ kN/m} \quad \text{Skjuvflöde för 1 st skjuvförbindare vid snitt s-s}$$

$$f_u = 500 \text{ MPa} \quad \text{Brotthållfasthet för skjuvförbindare}$$

$$\gamma_v = 1.25 \quad \text{Partialkoefficient för skjuvförbindare}$$

$$\alpha = 1, h_{sc}/d1 > 4$$

$$P_{(1)Rd} = \frac{0.8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d1^2 / 4}{\gamma_v} = 157.08 \text{ kN} \quad \text{Kapacitet skjuvbrott i svetsbult}$$

$$P_{(2)Rd} = \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot d1^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} = 284.72 \text{ kN} \quad \text{Betongens kapacitet}$$

$$P_{Rd} = \min(P_{(1)Rd}, P_{(2)Rd}) = 157.08 \text{ kN}$$

$$S = \frac{P_{Rd}}{P_{ed}} = 0.26 \text{ m} \quad \text{Distans mellan skjuvförbindare i längsriktning vid största tvärkraft}$$

$$S_{max} = 22 \cdot t_{fläns,upp,s} \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0.6265 \text{ m} \quad \text{Maximal distans mellan skjuvförbindare i längsled}$$

$$S < S_{max} \quad \text{ok!}$$

I Dimensionering av stöd

Beräkningarna har gjorts enligt beräkningsgångar i Bärande Konstruktioner del 1 (2013) och del 2 (2014) som är baserade på Eurokod 2.

Dimensionerande krafter

$$N_{Ed} = 9.3485 + 5.7556 = 15.1041 \text{ MN}$$

Reaktionskraft lastfall 3 och egentygnd

$$N_{Eqp} = \frac{9.3485}{1.35} = 6.9248 \text{ MN}$$

Reaktionskraft egentygnd långtidslast

Pelarens dimensioner

$$b = 3.1 \text{ m}$$

$$h = 0.7 \text{ m}$$

$$A = bh = 2.17 \text{ m}^2$$

$$l = 16.7 \text{ m}$$

$$l_0 = 0.7l = 11.69 \text{ m}$$

$$x_{tp} = \frac{h}{2} = 0.35 \text{ m}$$

Stålparametrar för armering B500B

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

(Avsnitt B2.2.2)

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

(Tabell B2.11)

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 434.78 \text{ MPa}$$

(Ekvation B2-25)

$$\varepsilon_{syd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.2 \cdot 10^{-3}$$

$$\phi = 30 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \phi = 30 \text{ mm}$$

(Ekvation B4-25)

$$c_{nom} = c_{min,b} + 10 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

(Ekvation B4-24)

$$c_{min,dur} = 40 \text{ mm}$$

(Eurokod del 2-1)

$$c_{min} = \max(c_{nom}, c_{min,dur}, 10\text{mm}) = 40 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{min} - \frac{\phi}{2} = 645 \text{ mm}$$

$$d' = c_{min} + \frac{\phi}{2} = 55 \text{ mm}$$

$$A_{si} = \frac{\pi\phi^2}{4} = 7.0686 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 8 \cdot A_{si} = 5.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A'_s = A_s = 5.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \max\left(0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} bd, 0.0013 \cdot bd\right) = 0.0033 \text{ m}^2$$

(Ekvation B4-21)

$$A_{s,max} = 0.04A = 0.0868 \text{ m}^2$$

(Ekvation B4-22)

$$I_s = (A_s + A'_s)(d - x_{tp})^2 = 9.8423 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Betongparametrar för C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

(Tabell B2.1)

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa}$$

(Tabell B2.1)

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = 23.33 \text{ MPa}$$

(Ekvation B2-3)

$$f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

(Tabell B2.2)

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

(Tabell B2.3)

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1.2} = 28.33 \text{ GPa}$$

(Ekvation B2-15)

$$A_c = A - A_s - A'_s = 2.1587 \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{bh^3}{12} = 0.0886 \text{ m}^4$$

Moment på grund av imperfektioner

$$\theta_0 = 0.005 \quad (\text{Ekvation B11-3})$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}} = 0.4894 \quad \frac{2}{3} \leq \alpha \leq 1 \Rightarrow \alpha_h = \frac{2}{3} \quad (\text{Ekvation B11-4})$$

$$\alpha_m = 1 \quad (\text{Ekvation B11-5})$$

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 0.0033 \quad (\text{Ekvation B11-3})$$

$$e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 0.0195 \text{ m} \quad (\text{Ekvation B11-6})$$

$$e_{min} = \max\left(0.02, \frac{h}{30}\right) = 0.0233 \text{ m} \Rightarrow e_i = e_{min} \quad (\text{Ekvation B11-7})$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed}(e_0 + e_i) = 352.43 \text{ kNm} \quad (\text{Ekvation B11-8})$$

$$M_{0Eqp} = N_{Eqp}(e_0 + e_i) = 161.58 \text{ kNm}$$

Knäcklast och andra ordningens moment

$$RH = 81\%$$

$$u = 2h + 2b = 7.6 \text{ m} \quad (\text{Ekvation B2-19})$$

$$h_0 = \frac{2A}{u} = 0.5711 \text{ m} \quad (\text{Ekvation B2-19})$$

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \frac{1-RH/100}{0.1 + \sqrt[3]{h_0}} \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.7}\right) \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.2} = 2.8625 \quad (\text{Ekvation B2-23})$$

$$\beta(f_{cm}) = 2.56 \quad (\text{Tabell B2.9})$$

$$\beta(t_0) = 0.48, \quad t_0 = 28h \quad (\text{Figur B2.20})$$

$$\varphi(\infty, t_0) = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 3.5174 \quad (\text{Ekvation B2-23})$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} = 1.7214 \quad (\text{Ekvation B11-14})$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{I_{ck}}{20}} = 1.3229 \quad (\text{Ekvation B11-15})$$

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = 0.2026 \quad (\text{Ekvation B11-10})$$

$$\lambda = \frac{l_0}{A_c} = 57.6995 \quad (\text{Ekvation B11-10})$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{f_{cd}A_c} = 0.2999 \quad (\text{Ekvation B11-12})$$

$$\lambda_{lim} = \frac{10.8}{\sqrt{n}} = 19.7224 \quad (\text{Ekvation B11-11})$$

$$k_2 = \frac{N_{Ed}}{f_{cd}A_c} \cdot \frac{\lambda}{170} = 0.1036 \quad (\text{Ekvation B11-15})$$

$$EI = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + \varphi_{ef}} E_{cd} I_c + E_s I_s = 326.22 \text{ MNm}^2 \quad (\text{Ekvation B11-15})$$

$$N_B = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} = 23.561 \text{ MN} \geq N_{Ed} = 15.1041 \text{ MN} \quad \text{OK!} \quad (\text{Ekvation K2-5})$$

$$\beta = 1 \quad (\text{Figur B11.13})$$

$$M_{Ed} = \left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1}\right) M_{0Ed} = 981.9 \text{ kNm} \quad (\text{Ekvation B11-16})$$

Kollar om tvärsnittet är osprucket

$$\sigma_{cn} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = -6.9969 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cm} = \frac{M_{Ed}}{I_c} \cdot z = 3.8785 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \sigma_{cn} + \sigma_{cm} = -3.1184 \text{ MPa} < 0 \Rightarrow \text{Tryckt tvärsnitt}$$

$$f_{ck} = f_{cd} = 23.33 \text{ MPa} \geq |\sigma_c| \quad \text{OK!} \quad (\text{Ekvation B2-13})$$

Beräknar momentkapacitet

Antar att all armering flyter

$$\varepsilon_{cu} = 3.5 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Avsnitt B5.2.1})$$

$$\alpha = 0.81 \quad (\text{Tabell 5.1})$$

$$\beta = 0.416 \quad (\text{Tabell 5.1})$$

$$\alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x + \sigma'_s \cdot A'_s = \sigma_s \cdot A_s + N_{Ed} \Rightarrow x = 0.2578 \text{ m} \quad (\text{Ekvation B5-35})$$

Kontrollerar antagande

$$\varepsilon'_s = \frac{x-d'}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = 2.8 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon_{syd} = 2.2 \cdot 10^{-3} \quad \text{OK!} \quad (\text{Ekvation B5-25})$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = 5.3 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon_{syd} = 2.2 \cdot 10^{-3} \quad \text{OK!} \quad (\text{Ekvation B5-26})$$

$$M_{Rd} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x(d - \beta \cdot x) + \sigma'_s \cdot A'_s(d - d') - N_{Ed}(d - x_{tp}) \quad (\text{Ekvation B5-36})$$

$$M_{Rd} = 5117.2 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 981.9 \text{ kNm} \quad \text{OK!}$$

$$x_{max} = 0.45d = 0.2902 \text{ m} \geq x = 0.2578 \text{ m} \quad \text{OK!} \quad (\text{Ekvation B5-22})$$

$$s_{t,max} = 0.75d = 0.4837 \text{ m} \quad (\text{Ekvation B6-27})$$

$$b_{bygel} = \frac{(b-2c_{min}-\phi_{längsgående})}{A_s/A_{s,i}-1} + \phi_{längsgående} + \phi_{tvär} = 0.4631 \text{ m} \leq s_{t,max} \quad \text{OK!}$$

$$\theta = 45^\circ \Rightarrow s_{t,max} = 0.75d(1 + \cot \theta) = 0.9675 \text{ m} \quad (\text{Ekvation B6-26})$$

Utnyttjandegrad

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 19.19\%$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_B} = 64.11\%$$

Avståndet mellan tvärkraftsarmeringens byglar blev dimensionerande då varken tvärsnittets höjd eller mängden armering kunde minskas utan att få ett för högt avstånd mellan byglarna. Därmed fås lägre utnyttjandegrader än önskat.

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se



CHALMERS