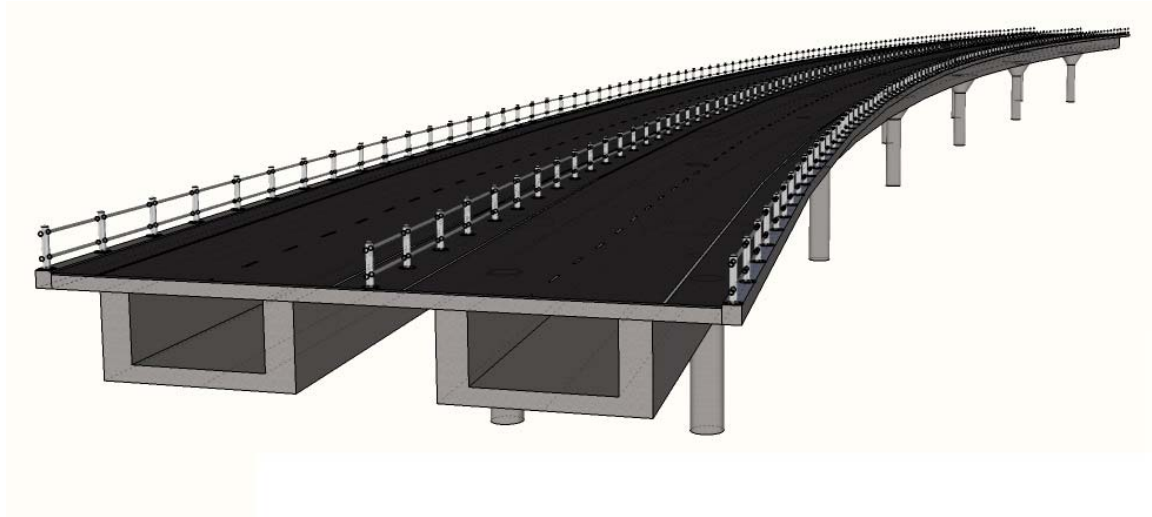




CHALMERS



Motorvägsbro över Karlsnäs industriområde

Konceptuell design och preliminär beräkning av överbyggnad

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet
Väg- och vattenbyggnad

FLINCK ERIK
HALLERSTIG EMELIE
HARALDSSON AXEL
LINDQVIST ANTON
NILSSON HENRIK
OLSSON PATRIK

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2014

Highway bridge across Karlsnäs industrial area
Conceptual and preliminary design

FLINCK ERIK
HALLERSTIG EMELIE
HARALDSSON AXEL
LINDQVIST ANTON
NILSSON HENRIK
OLSSON PATRIK

©FLINCK ERIK, HALLERSTIG EMELIE, HARALDSSON
AXEL, LINDQVIST ANTON, NILSSON HENRIK, OLSSON
PATRIK, 2014

Bachelor's thesis BMTX01-14-40
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Structural Engineering
Chalmers University of Technology
SE-41296 Göteborg
Sweden

Cover:
3D-model of the final concept (Borgstrand, K, Olsson, P).

Motorvägsbro över Karlsnäs industriområde

Konceptuell design och preliminär beräkning av överbyggnad

FLINCK ERIK

HALLERSTIG EMELIE

HARALDSSON AXEL

LINDQVIST ANTON

NILSSON HENRIK

OLSSON PATRIK

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Sträckan Dällebo-Hester på Väg 40 mellan Borås och Ulricehamn byggs ut i syfte att skapa en mötesfri sträcka mellan Göteborg och Stockholm på Väg 40/E4. Som en del i projektet konstrueras en 320 m lång bro över Karlsnäs industriområde. Denna rapport utreder vilken brotyp som anses mest lämplig för denna plats och även preliminära dimensioner för överbyggnaden.

För att kunna avgöra vilken brotyp som anses mest passande genomförs en litteraturstudie med avsikt att ge ett bra underlag till en urvalsprocess. Urvalet sker i två steg där olämpliga brotyper sorteras bort i steg ett. I steg två jämförs de återstående brotyperna mot varandra i en urvalsmodell, där de betygsätts utefter uppsatta kriterier.

Det koncept som anses mest lämpligt för denna plats är en balkbro i betong med sex stöd och en maximal spännvidd på 50,8 m. Brobanorna är sammanförda och överbyggnaden består av två lådtvärsnitt i betong. Bron optimeras genom val av tvärsnitt samt att efterspänd betong kommer användas.

De olika komponenterna på bron analyseras för att fastställa de preliminära dimensionerna. Huvudsakligen behandlas broplattan i tvärled och längsled, med avseende på brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd. Fyra stycken lastfall i tvärled och två lastfall i längsled utgör moment- och tvärkraftsdiagramen och därmed grunden för beräkningarna. Ett preliminärt förslag av balkbron redovisas i form av skisser, ritningar, diagram, beräkningar, diskussioner och slutsatser.

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Göteborg 2014-05-19

Nyckelord: Betong, balkbro, lådtvärsnitt, preliminär beräkning, underhåll, produktion

Highway bridge across Karlsnäs industrial area

Conceptual and preliminary design

FLINCK ERIK

HALLERSTIG EMELIE

HARALDSSON AXEL

LINDQVIST ANTON

NILSSON HENRIK

OLSSON PATRIK

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Structural Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The distance Dällebo-Hester on Road 40 between Borås and Ulricehamn is being expanded in order to establish a collision-free route between Gothenburg and Stockholm on Road 40/E4. As a part of the project is a bridge across Karlsnäs industrial area. This report investigates which type of bridge that is considered most appropriate by us for this location and also its preliminary dimensions.

In order to determine which type of bridge is considered most suitable, a literature review is made with the intention of providing a good base for a selection process. The selection is made in two steps; where unsuitable bridges are eliminated in step one. In the second step the remaining bridges are compared against each other in a selection model, where they are rated along defined criteria's.

The concept that is considered most appropriate for this place is a girder bridge in concrete with six columns and a maximum span of 50.8 m. The bridge decks are combined and the substructure consists of two box cross sections in concrete. The bridge is optimized through the choice of cross-section, and pre-stressed concrete will be used.

The different components of the bridge are studied to determine the preliminary dimensions. The most analyzed parts are the bridge deck and the box girders. They are studied in longitudinal and lateral direction regarding both the ultimate and serviceability limit state. The calculations are based on four load cases in longitudinal direction and two load cases in lateral direction. A preliminary draft of the beam bridge is presented in the form of sketches, blueprints, diagrams, calculations, discussions and conclusions.

The report is written in Swedish.

Division of Structural Engineering

Gothenburg 2014-05-19

Key words: Concrete, Girder Bridge, box cross section, preliminary dimension

Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete som utförts våren 2014 av studenter på Väg- och vattenbyggnadsprogrammet på Chalmers tekniska högskola för Bygg- och Miljöteknik, på avdelningen Konstruktionsteknik. Rapporten behandlar en litteraturstudie om olika brokoncept, vilket leder fram till ett slutgiltigt brokoncept utifrån angivna förutsättningar. För detta koncept utförs preliminära beräkningar och utformningar av överbyggnaden.

De tre första åren på utbildningen har gett den huvudsakliga kunskap som krävs för utförandet av arbetet. I de beräkningsområdena där vi har haft otillräcklig kunskap har föreläsningar kopplade till kandidatarbetet erbjudits. Utöver detta har självstudier varit en betydande del av vårt lärande. Vi har fördjupat våra kunskaper inom brobyggnad samt lärt oss att arbeta i ett större projekt. Arbetet har även gett oss möjlighet att tillämpa vår kunskap och träning i att jobba med öppna problem.

Vi vill rikta ett stort tack till personalen på avdelningen Konstruktionsteknik.

Speciellt tack till Joosef Leppänen, Rasmus Rempling, Staffan Lindén, Magnus Bäckström, Björn Engström och Karl Borgstrand för er hjälp.

Erik Flinck

Emelie Hallerstig

Axel Haraldsson

Anton Lindqvist

Henrik Nilsson

Patrik Olsson

Göteborg, maj 2014

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Problembeskrivning	1
1.3	Avgränsningar	1
1.4	Metod	2
2	Förutsättningar	3
2.1	Geografisk placering	3
2.2	Geologiska förhållanden	3
2.3	Befintliga konstruktioner	3
2.4	Teknisk data	4
2.5	Beständighet	4
2.6	Risker för området	4
3	Grundläggningsmetoder	5
3.1	Pålning	5
3.2	Plint på berg	6
3.3	Platta på mark	6
4	Material	7
4.1	Trä	7
4.2	Stål	8
4.2.1	Användning av stål	9
4.3	Betong	10
4.3.1	Armerad betong	11
4.3.2	Beständighet	11
4.4	Byggnadsmaterialens miljöpåverkan	12
5	Brotyper	13
5.1	Balkbro	13
5.1.1	Betongbalkbro	13
5.1.2	Samverkansbro	14
5.1.3	Träbalkbro	15
5.2	Plattbro	15
5.3	Rambro	15
5.4	Snedkabelbro	16

5.5	Hängbro	16
5.6	Fackverksbro	17
5.7	Valvbro	17
5.8	Bågbro	17
5.8.1	Bågbro med dragband	18
6	Produktionsmetoder	19
6.1	Prefabricerat	19
6.2	Platsgjutning	19
6.3	Horisontell lansering	20
6.4	Balanserad utbyggd bro	20
6.5	Spann för spann-metoden	21
6.6	Produktionsmetod för bågbro	21
7	Förvaltning och underhåll	23
7.1	Underhållsplan	23
7.2	Inspektion	24
7.3	Platsens förutsättningar	24
7.4	Trafikökning	25
8	Urvalsprocess	26
8.1	Första urval	26
8.2	Kvarstående brokoncept	26
8.2.1	Snedkabelbro	26
8.2.2	Träbalkbro	27
8.2.3	Betongbalkbro	28
8.2.4	Samverkansbro	29
8.2.5	Bågbro i betong	29
8.2.6	Bågbro i trä	31
8.3	Matriskriterier	31
8.4	Viktning av kriterier	33
8.5	Urval 2	34
8.5.1	Estetik	34
8.5.2	Trafikkomfort	34
8.5.3	Byggtid	34
8.5.4	Lokal miljöpåverkan	34
8.5.5	Global miljöpåverkan	35

8.5.6	Innovation	35
8.5.7	Byggbkostnad	36
8.5.8	Underhållskostnad.....	36
8.5.9	Genomförande.....	36
8.5.10	Grundläggning	37
9	Slutgiltigt brokoncept – Betongbalkbro	39
9.1	Antal stöd	39
9.2	Tvärsnittsutformning.....	40
9.3	Preliminär utformning av stöd.....	40
9.4	Grundläggning.....	41
9.5	Räcken.....	41
9.6	Ytavrinningssystem.....	41
9.7	Landfäste	41
9.8	Fogar.....	42
9.9	Utformning av lager	42
9.10	Produktion av bro	43
9.11	Underhållsplan.....	45
10	Preliminär beräkning.....	46
10.1	Preliminärt tvärsnitt	46
10.2	Exponeringsklasser för bron.....	46
10.3	Betongproportionering.....	47
10.3.1	Dimensionerande hållfasthet.....	48
10.4	Lastfall.....	48
10.4.1	Tvärled – brottgränstillstånd	48
10.4.2	Tvärled – bruksgränstillstånd.....	50
10.4.3	Längsled – brottgränstillstånd.....	50
10.4.4	Längsled – bruksgränstillstånd	51
10.5	Beräkningar i tvärled	51
10.5.1	Brottgränstillstånd.....	51
10.5.2	Bruksgränstillstånd	53
10.6	Beräkningar i längsled	56
10.6.1	Brottgränstillstånd.....	56
10.6.2	Bruksgränstillstånd	59
10.7	Ritningar	60

10.8	Återstående beräkningar	60
10.9	Ekonomi.....	61
11	Diskussion.....	62
11.1	Litteraturstudie.....	62
11.2	Viktning av kriterier	62
11.3	Urvalsprocessen.....	62
11.4	Beräkningar	63
11.4.1	Tvärled	64
11.4.2	Längsled	64
12	Slutsats	65
13	Litteraturförteckning	67
	Bilagor.....	71

Begreppsförklaring

Allmäninspektion – Broinspektion var tredje år där uppföljning av skador från huvudinspektionen utreds.

Brobana - Den del av bron som tar upp trafiklast och fördelar ner den till de bärande delarna.

Brolift - Maskin som används vid inspektion av svåråtkomliga brodelar.

Bärlager - Fyllnadsmaterial under slitlagret som tar upp och fördelar ner lasten i marken.

Exponeringsklass - Gradering av hur aggressiv omgivande miljöparametrar är.

Fack - Området mellan två stöd på en bro.

Farbana - Den brokonstruktionsdel där fordon ska köra.

Friktionsjord - Jord där friktionen mellan partiklarna utgör motståndet vid belastning, exempelvis grus och sand jordar.

Förband - Olika typer förankringar mellan element i en konstruktion, exempelvis skruv- eller svetsförband.

Huvudinspektion - Den största inspektionen som utförs var sjätte år och inkluderar alla delar av bron.

Kantbalk - Den yttersta balken som fungerar som infästning för räcket, men kan även utgöra en del av de bärande elementen.

Karbonatisering - Kemisk process som sker i betong. Koldioxid tränger in i betongen och reagerar med betongens kalciumhydroxid vilket bildar kalciumkarbonat. pH-värdet i betongen sjunker vilket kan medföra att armeringen utsätts för korrosion.

Kloridinträngning - Kloridjoner kommer in i betongen och vid viss koncentration korroderar armeringen.

Kohesionsjord - Typ av jord där en attraktionskraft verkar mellan partiklarna i jorden. Exempel på detta är lerjord.

Konsol - Bärande byggnadsdel som skjuter ut från en fast inspänning som tar upp samtliga laster.

Konstruktionshöjd - Avståndet från brons underkant till vägbanans överkant.

Landfäste - Underbyggnad till bro som utgör upplag för brons ändar. Överför lasten från bron till grunden och är samtidigt en anordning för tillfart till bron.

Mantelburen påle - Påle som för ner överliggande last till marken genom friktion mellan jord och pålens mantelyta.

Prefabricerad - Förtillverkade konstruktionselement.

Pylon - Kraftiga pelare som används vid Hängbro och snedkabelkonstruktioner. Dom bär upp kablarna och för ner krafterna till grunden.

Ribbalkar - Öppen ursparing i broplatta. Används vid längre spännvidder för att minimera konstruktionens egetyngd.

Samverkanskonstruktion - En konstruktion där två olika material samverkar för att få ökad kapacitet, exempelvis stål och betong.

Slakarmering - Armering som gjuts in i betongen i befintligt skick. Används för att ta upp moment- och tvärkraftsberlastningar i betong.

Spetsburen påle - Påle som för ner överliggande last till fast berg.

Spännarmering - Armering som spänns antingen före eller efter gjutning, åtgärd för att åstadkomma längre spännvidder för betong.

Spännvidd - Avstånd mellan två upplag.

Studs - Små vertikala stålstänger infästa i stålbalkar. Syftet med dessa är att ge en god sammanfogning mellan betongplattan och stålprofilen i en samverkanskonstruktion.

Särskild inspektion - Inspektion som beaktar specifik funktion av bron, en tidigare bristande del av bron som upptäckts vid tidigare inspektioner.

Teknisk livslängd - Den tiden en byggnad eller anläggning förväntas upprätthållas för dess bestämda funktion, med normalt underhåll.

Tätskikt - Det yttre lagret av betong och täcker armeringen för att korrosion inte ska uppstå.

Upplagsanordning - Överför laster överbyggnad till underbyggnad.

Urlakning - Sker då en beståndsdel ur ett fast ämne avges och upplöses i ett flytande ämne.

Vattensprängning - Vatten som tränger in i porer i material och sedan skadar materialet då det fryser till is och expanderar.

Vot - Förhöjning av konstruktionshöjden.

ÅDT - Årsdygnstrafik, ett års genomsnittliga trafikmängd per dygn. Enheten fordon/dygn.

1 Inledning

Väg 40 mellan Borås och Ulricehamn vid sträckan Dällebo-Hester har under en längre tid varit en olycksdrabbad väg. Denna vägsträcka är en del av vägförbindelsen mellan Göteborg och Jönköping som tillhör den nationella stambanan. Vägstandarden och framkomligheten för sträckan är låg, vilket tillsammans med korsningar skapat en stor risk, speciellt för oskyddade trafikanter. Vägen är hårt trafikerad av tung trafik vilket ökar trafikrisken och bullernivån. Med en årlig ökning av trafikmängden bidrar detta till en högre bullernivå för fastigheterna längs sträckan. Farlig godstrafik utsätter även området för miljörisker. På grund av den dåliga vägstandarden längs sträckan begränsas hastigheten till 80 km/h. Med en ny dubbelfilig motorvägsträckning kan hastigheten höjas till 110 km/h. Även bullernivån för de intilliggande fastigheterna sänks och den farliga godstrafiken kommer inte längre utgöra en miljöfara för närliggande vattentäkter vid nuvarande sträckan (Banverket, Vägverket, Transportstyrelsen, & Sjöfartsverket, 2009). Naturvårdsverket anser att den planerade vägen kommer att vara ett stort intrång i naturmiljön och därför menar de tillsammans med bland annat Ulricehamns kommun att landskapsbilden och naturmiljön bör tas i extra beaktning vid vägprojekteringen. Som en del av den nya vägsträckan planeras en 320 m lång bro precis norr om Karlsnäs industriområde (Carlgren & Bölske, 2008).

1.1 Syfte

Utifrån givna trafikförhållanden, krav och tagna beslut från Naturvårdsverket och Trafikverket, lokala geologiska förutsättningar och byggnadstekniska begränsningar är syftet att utforma en bro över Karlsnäs industriområde. Utformningen av bron ska ske utifrån ett hållbart, produktionseffektivt och funktionsmässigt perspektiv. Vidare ska preliminära beräkningar utföras på brons överbyggnad med avseende på vertikala laster. Horisontella laster kommer endast studeras på konceptuell nivå.

1.2 Problembeskrivning

Bron ska vara 320 m lång och bestå av två körfält i vardera riktningen. Den tekniska livslängden är fastställd till 80 år.

Projektets specificerade krav från den tekniska beskrivningen ska vara uppfyllda och aspekter från beställaren, produktion, förvaltning och underhåll ska diskuteras och beaktas vid framtagande av slutgiltigt brokoncept. Bron måste utformas med god säkerhet under dess tekniska livslängd och på sådant sätt att störningar på intilliggande område minimeras.

Ekonomiska krav är lägre ställda men brokonceptet ska ändå vara rimligt sett ur detta perspektiv. På grund av att ekonomin är lågt prioriterat ska istället bron projekteras ur ett estetiskt, miljöpåverkans och innovativt perspektiv.

1.3 Avgränsningar

I rapporten kommer stor vikt att läggas vid det bärande systemet med avseende på säkerhet, funktionalitet och beständighet. Mindre vikt kommer att läggas kring ekonomi och tidsåtgång. Beräkningsdelen avgränsas till broplattan i tvärled och längsled, men resterande delar av bron kommer att behandlas trots att de inte beräknas.

1.4 Metod

Projektet har genomförts i två etapper. En första etapp där ett koncept för bron arbetats fram samt en andra etapp där den preliminära dimensioneringen för bron görs.

I den första etappen delades gruppen in i tre specialistområden: beställare, produktion och förvaltning. Syftet med uppdelningen i tre områden var att få en djupare förståelse i de olika gruppernas arbetsroll samt att kunna identifiera de risker och problem som är kopplat till gruppernas ansvarsområde vid ett broprojekt.

Beställarens uppgift var att leda projektet framåt, kalla till gruppmöte samt leda dessa. Denna grupp ansvarade också för hållbar utveckling, ekonomi och trafikanter intresse vid val av brokoncept.

Andra gruppen ansvarade för att ta fram produktionsaspekter vid val av brokoncept. Detta innefattade produktionsmetoder, produktionsordning samt vilka temporära konstruktioner som behövs till respektive brokoncept.

Förvaltningsgruppens uppgift var att analysera det underhåll och inspektioner som behövs till respektive brokoncept. Både det allmänna underhållskrav som finns samt framtida kontroller på grund av förändringar i miljö och förutsättningar.

Utifrån dessa specialistområden utfördes en bred litteraturstudie för att behandla de vanligaste brotyperna. Den litteratur som användes för detta var främst Trafikverkets handböcker om broar och dess projektering. Ett första urval gjordes efter detta där de brotyper valdes bort som var uppenbart olämpliga för de förutsättningar som finns på platsen.

För att kunna göra ett mer detaljerat urval av de återstående koncepten sattes olika kriterier upp som viktades mot varandra. Kriterierna var estetik, trafikkomfort, byggtid, lokal miljöpåverkan, global miljöpåverkan, innovation, byggkostnad, underhållskostnad, genomförande samt grundläggning. De kvarstående koncepten utvecklades nu mer för att tydligare kunna se skillnaderna inom kriterierna samt de tre specialistområdena. Litteratur till detta hämtades bland annat från de krav som finns från Trafikverket, kurslitteratur från Väg- och vattenutbildningen samt studier som gjorts inom områdena. Därefter poängsätts de olika brokoncepten utifrån var och en av dessa kriterier. Ett kriterium som viktats högt gav en högre poäng än ett som viktats lågt. Brokonceptet med högst sammanlagd poäng från kriterierna blev det slutgiltiga brokonceptet som gick vidare till etapp 2.

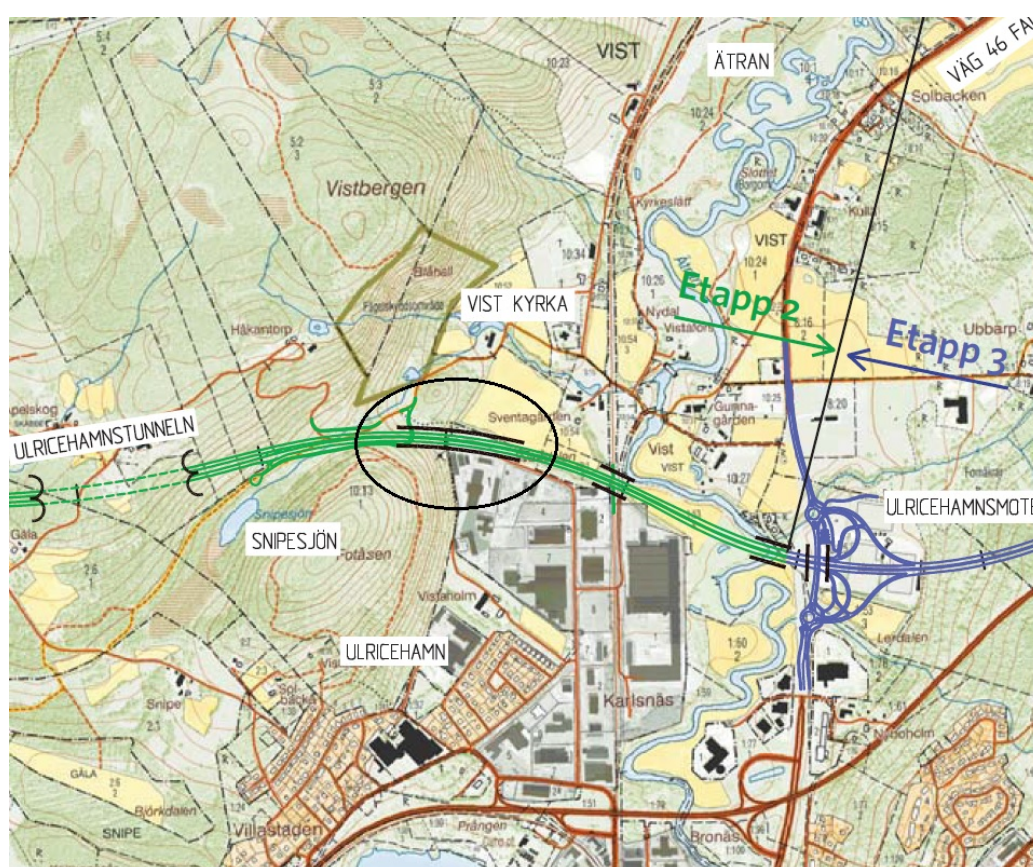
Etapp 2 bestod av den preliminära dimensioneringen av bron. Första steget var att göra en första uppskattning av brons dimensioner och att ta fram en förenklad modell att arbeta med. Detta gjordes i samråd med lärare och handledare. Vidare togs lastfall fram för att kunna beräkna moment- och tvärkraftsfördelning i tvär- och längsled hos bron. Den preliminära dimensioneringen i brott- och bruksgränstillstånd utfördes sedan i enlighet med Trafikverkets och Eurocodes rådande normer. Beräkningarna utförs i största delen med hjälp av Mathcad för att underlätta den iterativa processen som dimensioneringen medför. Även Matlab och CALFEM har används för att förenkla beräkningen av moment och tvärkraft beräkningen i längsled.

2 Förutsättningar

För att kunna ta fram ett lämpligt brokoncept måste platsens förutsättningar noggrant studeras. Det är viktigt att all nödvändig information tas fram för att i ett senare stadie undvika beständighetsproblem. De framtagna aspekterna nedan ligger till grund för vidare projekteringsarbete och det slutgiltiga koncepten.

2.1 Geografisk placering

Bron leder nya Väg 40 över Karlsnäs industriområde norr om Ulricehamn i en västostlig riktning. Vid den västra delen av bron består terrängen till stor del av skog och en brant sluttning mot öster från nivå +200 m till +175 m, se bilaga A1. Landskapet planar sedan ut till industri- och åkermark som är belagd under brons mittparti. Den östra ändpunkten består av ett glesare skogsparti.



Figur 1. Stadskarta (Trafikverket, 2013).

2.2 Geologiska förhållanden

Jordlagerföljden är, enligt bilaga A1, siltig finsand följt av berg, som är granitisk magmatisk gnejs (SGU). Den fria vattenytan ligger 1,5 m under befintlig markyta och antas vara hydrostatisk, se bilaga A1.

2.3 Befintliga konstruktioner

Bron sträcker sig precis norr om industriområdet och ligger i nära anslutning till ett fåtal lagerbyggnader, se bilaga A2. Ett fåtal bostadshus ligger i ett glesbebyggt område norr om bron, se Figur 1. Precis söder om brons östra landfäste går en allmän

väg i östvästlig riktning. I anslutning till området finns högspännings-, fjärrvärme- och VA-ledningar, enligt bilaga A2.

2.4 Teknisk data

Trafikverkets tekniska rapport anger att total längd på bron är 320 m, med en höjd som varierar mellan 10-20 m. Inga naturliga eller trafikmässiga hinder ovan mark finns under brons sträckning vilket betyder att inga krav på minsta spännvidd med avseende på topografi ställs, se bilaga A1. Från väst till öst lutar brobanan 4.93 % och kröker svagt åt höger med en radie på 1300 m första halvan och 1501 m andra halvan av bron, enligt bilaga A2. Vägbanan består av fyra filer. Väg 40 beräknas vara belastad med en årsdygnstrafik, ÅDT, på 12000 fordon/dygn år 2015 och öka till 15100 fordon/dygn till 2035. Tung trafik utgör 22 % av den uppskattade trafiken, se bilaga A1.

2.5 Beständighet

Den dimensionerande tekniska livslängden är fastställd till 80 år. Det förutsätts att vägbanan snöröjs och saltas under vintern enligt bilaga A1. Klimatet är, med hänsyn till breddgraden i landet, kallt under vintern på grund av att platsens höjdläge (Axell, 2013).

Tabell 1. Klimatfakta över Ulricehamn från SMHI (Axell, 2013).

Medeltemperatur:	5,2° C
Årsmedelnederbörd:	800 - 1000 mm/år
Isläggning sker mellan:	1 -16 december
Islossning sker mellan:	1 -15 april

2.6 Risker för området

Bron sträcker sig över ett industriområde varpå bullerproblem vid byggnation inte utgör ett betydande hinder. Inga begravnings naturminnen i jorden anses troliga vid platsen men kan ej bortses från. Om jorden i området är blockrik kan detta försvåra grundläggningsarbetet och specifika åtgärder i form av ändring av påltyp kan erfordras. Platsen är relativt lättåtkomlig och inga större risker med åtkomlighet föreligger.

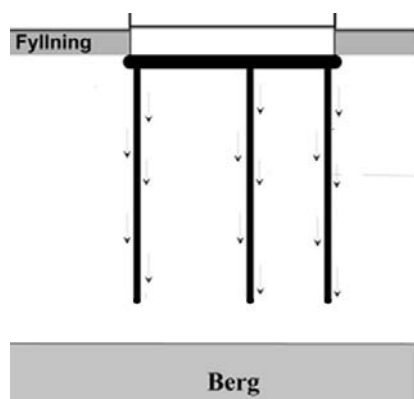
3 Grundläggningsmetoder

Vilken grundläggningsmetod som bör användas avgörs från resultatet av den geotekniska undersökningen. För att en bro under sin livstid ska fungera säkert krävs att den mest lämpliga metoden har valts med hänsyn till bland annat markens jordlagerföljd, grundvattenytans läge, brotyp samt närhet till befintliga konstruktioner (Sjåde & Ronnebrant, 1996). I följande avsnitt behandlas tre vanliga grundläggningsmetoder för broar.

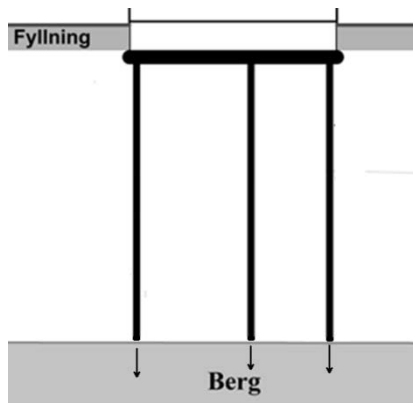
3.1 Pålning

Pålning är en grundläggningsmetod som används vid instabila markförhållanden. Med pålning kan laster från överliggande konstruktion föras förbi instabila jordlager ned till mer bärkraftiga jordarter eller berg. De geotekniska förutsättningarna avgör huruvida pålarna är mantel- eller spetsburna (Sjåde & Ronnebrant, 1996). Mantelburna pålar för ned lasten i marken genom friktion mellan jordlagret och pålens mantelarea, se Figur 2. Denna påltyp kan vara antingen friktionspålar, om de förs ner i friktionsjord, eller kohesionspålar, om de förs ner i kohesionsjord (Schunnesson, 2007). Om neddrivning ner till fast berg är möjlig kan spetsburna pålar användas. Påltypen driver ner last från överliggande konstruktion direkt till fast berg, se Figur 3. Pålning är en relativt dyr grundläggningsmetod (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

Materialet för pålar kan vara betong, trä eller stål. Fördelarna med betongpålar är att de kan drivas ner till stora djup, de är lätta att skarva och kan användas i de flesta jordar. Betongpålar är den vanligaste påltypen vid brobyggen i Sverige. Även stålpålar kan drivas ner till stora djup och används ofta vid svåra pålningsförhållanden, exempelvis då risk för vattensprängning föreligger eller då jorden är blockrik. Vid brobygge används träpålar endast som underpålar till mantelbärande betongpålar (Sjåde & Ronnebrant, 1996).



Figur 2. Principskiss: mantelburna pålar.



Figur 3. Principskiss: spetsburna pålar.

3.2 Plint på berg

Om avståndet från markyta till berg är måttligt djupt, d.v.s. inte mer än ett fåtal meter, kan plintar användas som grundläggningstyp. Bottenplattan kan då grundläggas direkt på dessa plintar.

Denna metod medför att schaktvolymin minskar jämfört med att schakta fram hela bergytan och kan av denna anledning vara mer ekonomiskt fördelaktigt (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

3.3 Platta på mark

Detta är en grundläggningsmetod som utförs på berg, jord eller packad fyllning. Vid grundläggning på berg eftersträvas ett horisontellt underlag. Vid lutande bergssidor sker det i trappstegsformation. Det är viktigt att det görs en bedömning av bergskvaliteten speciellt med avseende på sprickor. Befintliga mätningar över hur bergsnivån varierar bör inte interpoleras då detta inte är en tillförlitlig metod. Berg har ofta hög hållfasthet vilket därmed endast kräver förhållandevis små bottenplattor. Separata bottenplattor för varje pelare är att föredra. Inspänning i berg innebär styv infästning av brostödet (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

För grundläggning på jord är bärförmåga, sättning och erosion viktiga parametrar för att avgöra grundläggningsnivån. Det är viktigt att plattan läggs på en tjälfri nivå vid jordarter som anses tjälfarliga, alternativt byta ut detta material under plattan. Vid dålig undergrund och närhet av befintliga konstruktioner är det viktigt att grundplattan dimensioneras med god säkerhetsmarginal för att säkerhetsställa att inga framtida problem med sättningar uppkommer (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

Vid plattgrundläggning på jord med låg bärighet, som t.ex. kohesionsjord eller löst lagrad friktionsjord bör plattan placeras på minst 30 cm hårt packad fyllningsmaterial. Karakteristiska jordparametrar och materialkoefficienter är avgörande för storlek och djup på plattan. Består övre lagret av kohesionsjord eller annat mindre bärkraftigt bärlager kan det vid små djup ersättas med packat grus- eller sprängstensfyllning. Plattan placeras därefter på fyllnadsmaterialet (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

4 Material

Det ställs en mängd krav på en bro såsom t.ex. att bron ska ha tillräcklig bärförmåga för de dimensionerande lasterna, god funktion vid bruksgränstillstånd, vara hållbar över brons livstid, billig och estetiskt tilltalande. Val av byggnadsmaterial till bron är en av de faktorer som påverkar dessa kriterier mest. Därför är det viktigt att ha en djup kunskap om byggnadsmaterialens egenskaper för att kunna göra ett väl avvägt val¹.

4.1 Trä

Historiskt sett är trä det första byggnadsmaterialet som användes vid bärande konstruktioner. I förhållande till sin lätta vikt har trä en hög hållfasthet, vilket är materialets stora fördel. Miljömässigt är fördelarna många, bland annat är trä förnyelsebart samt lagrar koldioxid. Materialet är flexibelt att hantera och enkelt att transportera med maskiner på grund av dess lätta vikt och smidighet. Dess låga värmekonduktivitet och höga porositet ger en god isoleringsförmåga. Att bygga med trä är relativt billigt i jämförelse med andra material (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013). Fördelarna för att använda trä som byggmaterial är många, men en hel del nackdelar förekommer. För att använda trä på rätt sätt krävs god kännedom om materialets speciella egenskaper och förutsättningar (Träguiden, 2006).

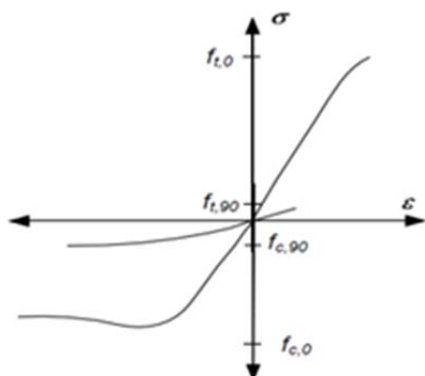
En stor nackdel som utgör betydande vikt vid val av konstruktionsvirke är träets känslighet för fuktabsorption och mikroorganismer². Cellväggarna i träets struktur fylls med vatten och sväller fram till brytpunkten då fibermättnadsgränsen nås. Fram till denna gräns minskar brotthållfastheten linjärt med ökad fuktkvot. Efter fibermättnadsgränsen sväller inte längre materialet utan istället fylls hålrummen i cellerna med vatten. Brotthållfastheten intar då ett konstant värde. Låg elasticitetsmodul och stor risk för både krypning och krympning utgör en betydelsefull del vid dimensionering. Trä är ett organiskt material som under bestämda betingelser riskerar att bli angripet av röta, svampar och insekter. Nedbrytning av mikroorganismer och slitage är en uppmärksammande faktor vid val av utformning av materialet. Utformningen projekteras sådan att att kondens förhindras, fuktsamlade material undviks, fritt vatten kan avledas och luft kan cirkulera kring materialet (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013). Om träkonstruktionen hålls fritt ifrån dessa aspekter kommer konstruktionens livslängd öka (SP).

Uppbyggnaden av trä består huvudsakligen av de tre beståndsdelarna cellulosa, hemicellulosa och lignin. Rörceller utgör stammen i trädet och ökar i antal då trädet växer. De hålls ihop av ämnet lignin. Celler som produceras på sommaren och hösten består av mindre hålrum och tjockare väggar medan cellerna som produceras på våren blir tunnväggiga med stora hålrum. Dragbrott i sommarved följer cellernas mönster men i vårved går brottet sprött rakt igenom veden. Träets struktur gör att egenskaperna varierar i olika riktningar, materialet är således anisotropt. Det innebär att hållfastheten är större parallellt med fibrerna än vinkelrätt fibrerna. Ett drag som sker parallellt eller vinkelrätt med fibrerna resulterar i ett sprött brott medan tryck

¹ Gunnar Jernström (Specialist, Broavdelningen, Inhouse Tech Infra Göteborg AB) föreläsning 31 januari 2014.

² Karin Lundgren (Bitr. Professor, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers tekniska högskola) föreläsning 30 oktober 2013.

parallellt eller vinkelrätt med fibrerna resulterar i ett segt brott, se Figur 4 (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013).



Figur 4. Drag- och tryckhållfasthet vinkelrätt och parallellt med fibrerna (Lundgren, 2013).

Växtförhållandena varierar över landet och inget träd är perfekt, d.v.s. naturliga variationer och imperfektioner såsom kvistar, fiberstörningar och sprickor vilka reducerar hållfastheten. Dessa imperfektioner beaktas senare vid dimensionering med s.k. reduktionsfaktorer. Konstruktionselement tillverkade av hoplimmade trälameller, s.k. limträ, har högre hållfasthet jämfört med konstruktionsvirke eftersom försvagningar i träet placeras jämnt över hela konstruktionselementet (Burström, 2007).

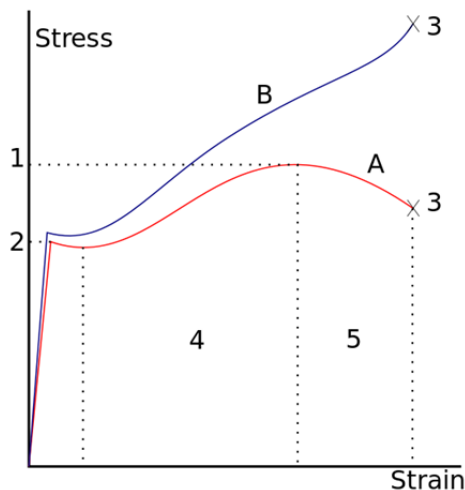
Det har byggts väldigt lite träbroar i Sverige. Detta har gjort att det finns viss okunskap bland myndigheter och beställare för trä som byggmaterial vilket gör att det kan vara svårt att få koncepten godkända¹.

4.2 Stål

Stål är ett material som länge har använts i olika bärande konstruktioner tack vare dess höga hållfasthetsegenskaper. Materialet är en legering av i första hand järn och kol. Även andra legeringsämnen, som exempelvis krom, används i tillverkningsprocessen för att ge stålet olika egenskaper. Många stålelement som används idag är även standardiserade och tillverkas med hög precision på fabrik (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013).

Till skillnad från en del andra material har stål ett relativt segt brottbeteende. Arbetskurvan för stål är rätlinjig upp till den övre sträckgränsen, se 2 i Figur 5. Därefter börjar stålet flyta och kurvan beter sig olinjärt fram till brott i materialet. Precis innan brott sker midjebildning, vilket innebär att tvärsnittsarean minskar (Burström, 2007).

¹ Robert Kliger (Professor, Bygg- och miljöteknik, konstruktionsteknik, Chalmers tekniska högskola) möte 14 februari 2014

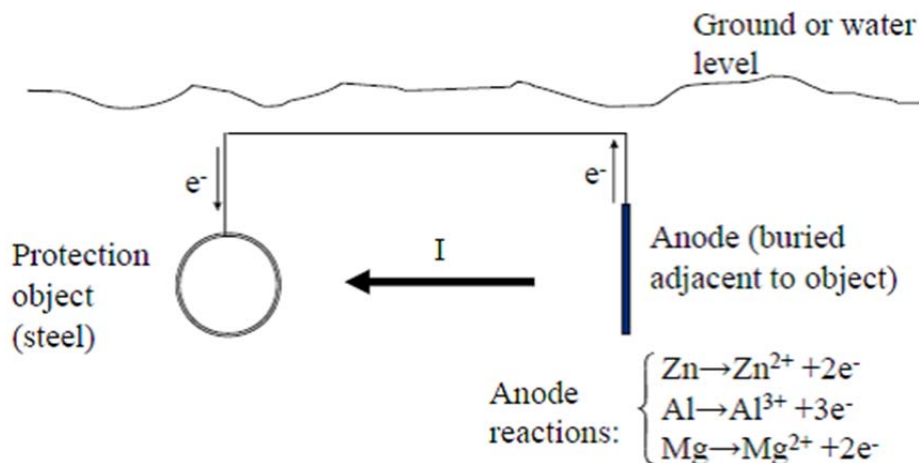


Figur 5. Arbetskurva för ett mjukt stål (Richfield, 2009).

4.2.1 Användning av stål

Som konstruktionsmaterial kan stål stå emot många olika typer av påfrestningar utan att få en märkbart försämrade hållfasthet. Däremot är materialet, liksom andra metaller, känsligt för korrosion. Därför är det viktigt att stålet ytbehandlas och monteras på sådant sätt att risken för korrosion minskar (Domone & Illston, 2010).

Materialet kan skyddas mot korrosion genom att ytan beläggs med ett genom katodiskt skydd eller tätskikt. Katodiskt skydd kan uppnås med användning av en offeranod, det vill säga en metall med lägre elektrokemisk potential än stålet som skall skyddas. Vidare kan elektrisk ström läggas över stålet vilket resulterar i att det agerar som en katod mot omgivningen¹, se Figur 6.



Figur 6. Katodiskt skydd med offeranod (Luping, T, 2013).

För stålbroar är det viktigt att konstruktionens utformning anpassas för att undvika korrosion i stålet. Risken för korrosion kan minskas genom att områden, såsom hörn

¹ Tang Luping (Bitr. Professor, Bygg- och miljöteknik, Byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola) föreläsning 2 oktober 2013.

och skrevor, där vatten- och smutsansamlingar kan förekomma undviks helt och hållet¹, se Figur 7 för exempel på ett sådant område.



Figur 7. Utformning som bör undvikas (Luping, 2013).

Ytterligare en aspekt som behöver beaktas är stålets känslighet mot brand. Vid relativt låga temperaturer, cirka 450°-500°C, förlorar legeringen stora delar av sin hållfasthet och är därför i stort behov av ett brandskydd. Några exempel på brandskydd för stålkonstruktioner är brandskyddsfärg, sprutisolering och gipsskivor (Karlström).

4.3 Betong

Betong är ett vanligt byggnadsmaterial för bärande konstruktioner på grund av dess goda beständighet, formbarhet och hållfasthet. Eftersom betong har god beständighet kan det med fördel väljas när fukt och nötning är närvarande vilket gör det till ett vanligt material i broar. Betong består av vatten, cement, ballast och tillsatsmedel som dimensioneras för att ge materialet de egenskaper som efterfrågas (Burström, 2007).

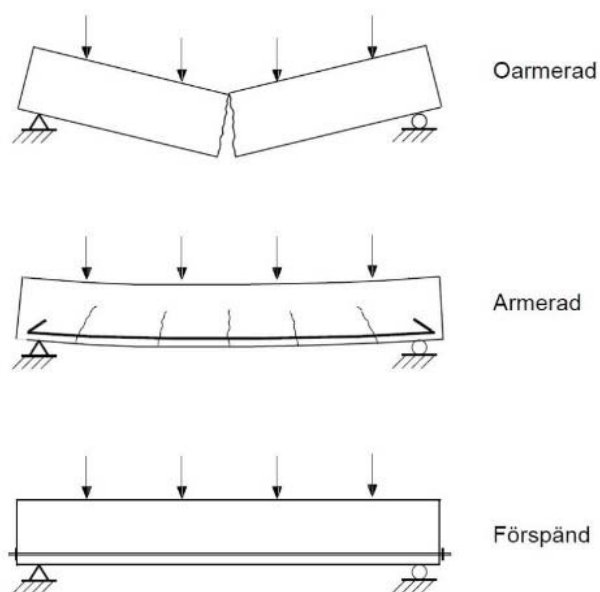
På senare år har en ny typ av betong blivit allt mer vanligare, den självkompakterande betongen. Fördelarna med denna betong är att den lättare rinner ut i formen och oftast erfordras ingen kompaktering med vibreringsstav vilket underlättar gjutningen. Efter att betongen har bearbetats i formen måste den härda för att få tillräcklig hållfasthet för fortsatt produktion. Den relativt snabba stelningssinitieringen medför att det finns en tidspress vid gjutningsskedet och även stora krav ställs på bearbetningen av betongen för att säkerställa dess kvalitet (Burström, 2007).

Betongens hållfasthet beror på materialsammansättningen, åldern, vattencementtalet och den omgivande miljön. Materialet har god tryckhållfasthet men draghållfastheten är endast ungefär en tiondel av tryckhållfastheten. En stor nackdel med betong är att dess egentynghet är hög vilket medför att en stor del av bärförmågan går åt till att bära egentyngheten. Detta kan reduceras med hjälp av exempelvis hålelement eller lättballast (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013).

¹ Tang Luping (Bitr. Professor, Bygg- och miljöteknik, Byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola) föreläsning 2 oktober 2013.

4.3.1 Armerad betong

Armerad betong började användas under andra halvan av 1800-talet och har blivit ett av de mest använda byggnadsmaterialen i Sverige. Stål har till skillnad från betong hög draghållfasthet och genom att i första hand gjuta in armeringen där betongen blir dragen erhålls en högre bärförmåga. Detta är möjligt på grund av att betongen och armeringen samverkar ihop. Armeringen motverkar stora sprickor och fördelar istället sprickbildningen över hela balken. För att minimera sprickbildning vid normala laster kan förspänd armering användas. Detta innebär att armeringen spänns innan gjutning och efter härdning skapas en normalkraft som motverkar dragspänningarna från momentet. Ett alternativ till förspänd betong är efterspänd betong där, som namnet antyder, betongen spänns efter härdning, se Figur 8 som visar verkningssätten för de olika betongtyperna (Nationalencyklopedin, 2014).



Figur 8. Verkningssätt oarmerad, armerad och förspänd betong (Engström, 2014).

4.3.2 Beständighet

Det finns främst tre beständighetsproblem för betong i Sverige: frostangrepp, armeringskorrosion och kemiska angrepp. Vid frostangrepp har betongens luftporer fyllts med vatten varpå vattnet har frusit till is. Vid denna fasövergång expanderar ämnet varefter tryckspänningar uppkommer som följd av expansionen. Denna tryckspänning kan bilda sprickor i betongen som i sin tur kan leda till lägre bärförmåga (Burström, 2007).

Armeringskorrosion uppkommer främst av två anledningar, genom antingen karbonatisering eller kloridinträngning. Karbonatiseringen är en process där den omgivande luftens koldioxid tränger in i betongen och reagerar med kalciumhydroxid varpå kalciumkarbonat bildas och pH-värdet i betongen sänks. När denna process nått armeringen börjar aktiv armeringskorrosion. Kloridinträngning sker då betongen är i kontakt med kloridjoner som t.ex. havsvatten eller vägsalt. När en viss koncentration av kloridjoner har uppnåtts vid armeringen startar korrosionen. Betong kan också angripas av kemiska ämnen som löser upp byggnadsmaterialet (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013).

4.4 Byggnadsmaterialens miljöpåverkan

Trä är ur miljösynpunkt ett bra byggnadsmaterial. Detta eftersom trä är ett levande material som på grund av fotosyntesen binder koldioxid. Även vid tillverkningen av träprodukter är miljöpåverkan förhållandevis låg jämfört med andra byggnadsmaterial. Efter träets livslängd kan det antingen återanvändas, materialåtervinnas eller energiåtervinnas där det sista alternativet innebär att träet förbränns och ger värme eller elektricitet (Träguiden, 2006). Materialets låga vikt bidrar till mindre utsläpp vid transport eftersom mer material kan transporteras samtidigt. Träets tekniska livslängd är svår att bestämma eftersom det finns begränsad erfarenhet av materialets beständighet¹.

Ståltillverkning är en resurskrävande process. Detta beror bland annat på den höga temperatur som krävs vid tillverkningen och energiåtgången som följd till detta. Kol eller koks används ofta i masugnarna vid järnmalmsreduktionen vilket ger stora koldioxidutsläpp (Jernkontoret, 2010). Stål har en lång livslängd vid rätt utförande av korrosionsskydd och materialet kan återvinnas helt (Jernkontoret).

Den stora miljöpåverkansaspekten för betong är framställningen av cementklinker. Cement tillverkas i stora roterande ugnar som hettas upp till 1500 °C, vilket är en väldigt energikrävande process. Vid kalcineringsprocessen i cementframställningen, där kalciumkarbonat omvandlas till kalciumoxid och koldioxid, avges även en betydande mängd koldioxid (Domone & Illston, 2010). Cementklinkertillverkning utgör ungefär 3-4 % av världens totala koldioxidutsläpp. Men betong binder även koldioxid i karbonatiseringsprocessen som pågår under hela betongens livslängd, vilket motsvarar upp till hälften av den mängd koldioxid som avges vid tillverkningen (Svenskbetong). Betong kan återvinnas helt genom att betongen krossas och armering avlägsnas varpå materialet kan användas till ny betong eller som bärlager till vägar (Heidelbergcement).

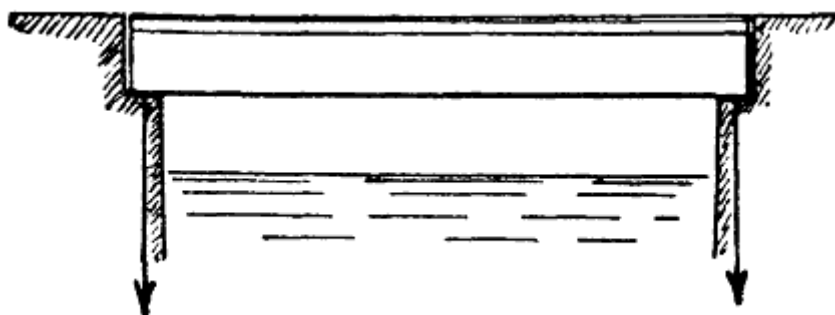
¹ Kristoffer Ekholm (Teknisk Dr. WSP) föreläsning 3 februari 2014.

5 Brotyper

En bros huvudsakliga uppgift är att fördela laster på bron ut till stöd och ner i mark. Broar kan ha olika utformning och bärande system vilket i sin tur påverkar längden på maximal spännvidd. Både gamla och nya brotyper används idag där balkbro är ett exempel på förstnämnda och snedkabelbro på det sistnämnda. Varje brotyp har sina fördelar och intervall på spännvidder där de är mest effektiva sett ur en ekonomisk synvinkel.

5.1 Balkbro

En balkbro erhåller sin bärande förmåga genom att lasten ovanifrån fördelas ner och ut till stöden med hjälp av balkverkan, se Figur 9. Detta innebär att lasten förs ner i balken och leds upp med strävor, vilket upprepas tills kraften har förts ut till stöden. Antalet balkar kan varieras och likaså antalet fack. Balken kan både vara fritt upplagd mellan stöden eller kontinuerlig över hela brolängden. För att klara stödmomenten och tvärkrafterna invid stöd vid kontinuerlig balkbro kan förstärkning vid stöden i form av voter, d.v.s. förhöjning av tvärsnittet, behövas. Voterna kan utformas som en båge med smalast tvärsnitt i fältmitt eller som en inbyggd triangulär konsol invid stöd. Med hjälp av denna tvärsnittsoptimering minskar egentyingden. Balkbroar kan byggas i trä, stål och betong där stål och betong är vanligast förekommande för vägbroar (Axelsson & Elfgrén, 2004).



Figur 9. Balkbro (Wikipedia, 2006).

5.1.1 Betongbalkbro

En kontinuerlig balkbro i slakarmerad betong väljs oftast då spännvidden uppgår till 15-35 m. Används spännarmerad betong kan spännvidden öka till över 150 m¹. Konstruktionshöjden för en betongbalkbro är mellan 4-10 % av spännvidden beroende på armeringstyp. För större spännvidder, begränsad konstruktionshöjd eller vid stort vridmoment kan ett lådtvärsnitt med fördel väljas för att få en vridförstyvning och för att öka bärförmågan. Beroende på spännvidden måste den fria höjden inuti lådan uppgå till 1,2 respektive 1,8 m för att underlätta vid inspektion (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

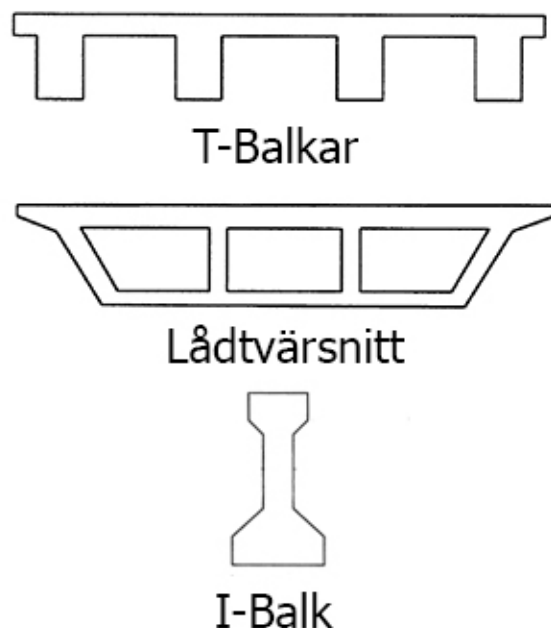
Tre vanliga tvärsnitt för balkbroar i betong är lådtvärsnittet, T-balken och I-balken, se Figur 10. T-balkar används vanligtvis för kortare spännvidder och anses generellt vara

¹ Gunnar Jernström (Specialist, Broavdelningen, Inhouse Tech Infra Göteborg AB) föreläsning 31 januari 2014.

ett mer ekonomiskt alternativ för spännvidder mellan 12-18 m. Om bron är skev försvåras formarbetet (Lyang, Lee, & Kung, 2000).

Bland spännarmerade konstruktioner är I-balken och lådtvärsnittet vanligt förekommande. I-balken är likt T-balken något mer komplicerad att konstruera en gjutform till, speciellt för en konstruktion som kröker. Spännvidder för en spännarmerad I-balk är 9-36 m. (Duan, Chen, & Tan, 2000).

Lådtvärsnitt kan med fördel användas för längre spännvidder, vanligtvis 15-36 m. Vid längre spännvidder krävs spännarmering. Lådtvärsnittet har även hög vridstyvhet och lämpar sig väl för krökta konstruktioner (Lyang, Lee, & Kung, 2000).



Figur 10. Exempel på tvärsnitt, modifierad (Lyang, Lee, & Kung, 2000).

5.1.2 Samverkansbro

Valsade stål balkbroar kan användas vid spännvidder upp till 18 m (Sjåde & Ronnebrant, 1996). Vid högre spännvidder används svetsade stålprofiler. I regel används en brobaneplatta i betong vilken oftast är sammanfogad med stål balken med hjälp av studs, små vertikala stålstänger. Detta bildar en samverkanskonstruktion där brobaneplattan medverkar till den bärande förmågan. Vid större spännvidder kan ett lådtvärsnitt användas av samma skäl som vid betongbalkbro (Sjåde & Ronnebrant, 1996). Spännvidden kan uppgå till 130-150 m med lådtvärsnitt. Lådan kan förslutas vilket medför att en syrefattig miljö skapas inuti lådan vilket motverkar korrosion invändigt och inga krav på fri höjd ställs. Konstruktionshöjden för en samverkansbro i stål och betong brukar vara 3-5 % av spännvidden¹.

I och med att stål balkarna är prefabricerade kan horisontell lansering eller kran användas vid produktion. Denna produktionsprocess gör att stål balkbroar lämpar sig väl där åtkomligheten underifrån är begränsad, t.ex. då bron sträcker sig över ett

¹ Gunnar Jernström (Specialist, Broavdelningen, Inhouse Tech Infra Göteborg AB) föreläsning 31 januari 2014.

vattendrag. Stålkostnaden brukar ofta vara 30-40 % av den totala kostnaden (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

5.1.3 Tråbalkbro

Tråbalkbroar anvånds oftast som gång- och cykelbro, s.k. GC-bro, men kan åven anvåndas som vågbro. Oftast begrånsas den tekniska livslångden och spånnvidden på grund av materialet vilket gör den mindre låmpad som vågbro (Tråguiden, 2006). Tråbalkbroar för vågtrafik kan ha en spånnvidd på upp till 30 m (Vågverket, 2008).

5.2 Plattbro

Plattbroar konstrueras vanligtvís i betong, där överbyggnaden utgörs av en betongplatta. Vid slakarmering kan spånnvidder på upp till 25 m erhållas om bron består av flera spann. Om plattan istållet är spånnarmerad kan spånnvidden utökas till 35 m. Den spånnarmerade plattbron är dock mindre vanlig jämfört med den slakarmerade (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

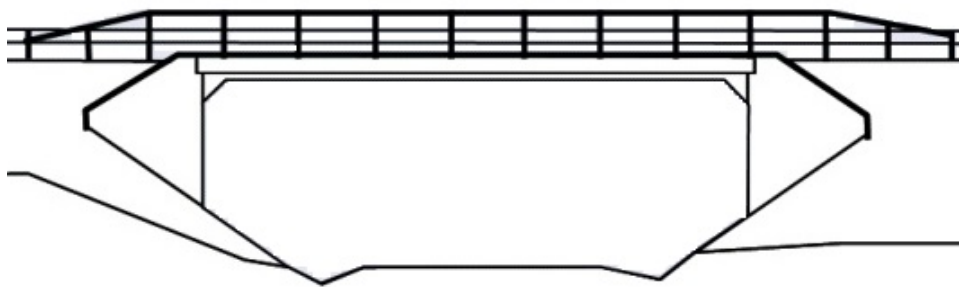
En plattbro i betong är låmplig att konstruera då konstruktionshåjden är begrånsad eftersom plattan oftast inte kråver särskilt mycket plats. Vanligtvís konstrueras plattbron med konstant tjocklek på plattan över hela brons långd, som normalt är 4-5 % av spånnvidden beroende på om plattan är spånnarmerad eller inte. Till följd av plattans tunna tjocklek blir dock nedbåjningen, orsakad fråmst av konstruktionens egentýngd och permanent last, för stor redan vid spånnvidder över 18-20 m. För att undvika detta kan istållet en platta med ribbalkar eller hålursparingar anvåndas (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

Principen för plattbroar konstruerade i trå är fortfarande densamma som för betongplattbroar, där plattan utgör både huvudbårverk samt brobana. Skillnaden är att plattan i sig består av tråbalkar eller limtråbalkar som stålles på hågkant intill varandra och sedan tvårspånnas med stålstag (Tråguiden, 2006).

Plattbroar i trå är låmpade för vågtrafik och kan med 1,2 m plattjocklek uppnå en spånnvidd på 30 m. Dessa mått gåller för broar med en bredd på 3 m (Martinssons, 2014).

5.3 Rambro

Den vanligaste brotypen i Sverige är rambro i armerad betong. Rambroar har av ekonomiska skål endast ett fack. Vid flera spann är en kontinuerlig balkbro mer kostnadseffektiv och enklare att producera (Sjåde & Ronnebrant, 1996). Det finns två olika typer av rambroar: plattrambroar eller balkrambroar. Brotypen är utformad sådan att brobanan är fast inspånd i landfåstet, se Figur 11. På grund av inspåningen ökar brons styvhet vilket leder till mindre deformationer (Sundquist, 2007). Plattrambroar brukar ha en spånnvidd på 20-35 m. För långre spånnvidder våljs balkrambroar som kan ha en spånnvidd på upp till 50 m (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

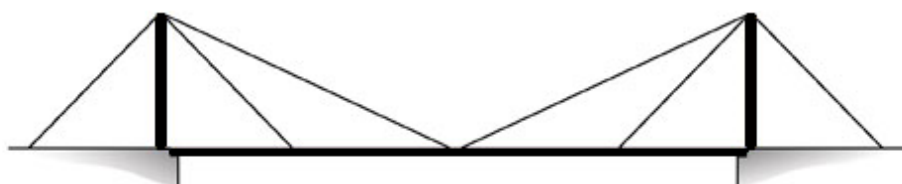


Figur 11. Rambro (Vägverket, 2010).

5.4 Snedkabelbro

I spännviddsområdet 100-500 m har snedkabelbron, sedan den introducerades på 1950-talet med Strömsundsbron, kunnat konkurrera ut många andra brotyper såsom fackverksbroar och bågbroar. Snedkabelbron består i huvudsak av tre delar; pyloner, kablar och förstärkningsbalk, se Figur 12. Förstärkningsbalkarna, som utgör farbanan, är upphängda i kablarna som i sin tur är förankrade i pylonerna. Kablarna belastas således med dragkrafter och pylonerna med tryckkrafter. Förankringarna i pylonerna kan se olika ut beroende på kraftöverföring, estetik och underhåll. Pylonerna i en snedkabelbro tillverkas vanligtvis i betong. Förstärkningsbalken kan byggas antingen helt i betong eller som en samverkanskonstruktion mellan betong och stål. Kablarna är tillverkade av stål (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

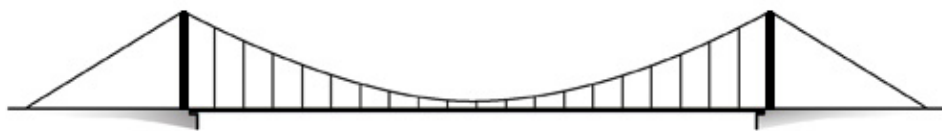
Snedkabelbron har stora produktionsmässiga fördelar, dels i att den kan byggas med mindre mängd ställningar och dels att den under hela byggskedet, och även när den står färdig, är helt självförankrad. Med detta menas att vertikala laster i systemet enbart framkallar vertikala reaktioner i stödpunkterna, eftersom krafternas horisontella komponent tas upp inne i systemet (Sjåde & Ronnebrant, 1996).



Figur 12. Snedkabelbro (Träguiden).

5.5 Hängbro

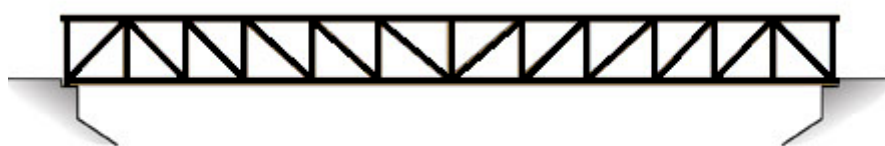
En hängbro är lämpad för spännvidder på 500 m och uppåt. Den utgörs likt snedkabelbron av pyloner, kablar och förstärkningsbalk. I en hängbro, till skillnad från i en snedkabelbro, förankras två kablar mellan pylonerna och från dessa hängs vertikala kablar ner till förstärkningsbalken som utgör farbanan, se Figur 13. Krafterna överförs då till pylonerna som för ner krafterna i marken. Kablarna utsätts för dragkrafter och pylonerna för tryckkrafter. Pylonerna tillverkas vanligtvis i betong, kablarna i stål och förstärkningsbalken i betong eller i kombinerad konstruktion mellan betong och stål. En hängbro kan monteras utan byggnadsställningar (Sjåde & Ronnebrant, 1996).



Figur 13. Hängbro (Träguiden).

5.6 Fackverksbro

Fackverk är ett konstruktionssystem där stänger kopplas samman till ett stabilt bärverk, se Figur 14. De vanligaste typerna av fackverksbroar är byggda i stål där stängerna sammanfogas med skruvförband, svetsförband eller nitförband. Underhållskostnaderna för fackverksbroar i stål är i jämförelse till andra brotyper mycket höga, varför denna typ av bro endast används som tillfälliga broar eller som gångbroar (Sjåde & Ronnebrant, 1996).



Figur 14. Fackverksbro (Träguiden).

5.7 Valvbro

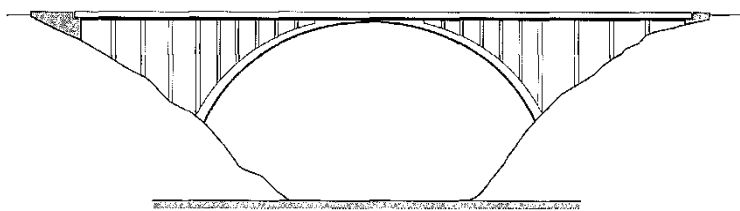
En av de äldsta brotyperna som byggts är valvbroar. De gjordes från början av sten men ersattes på senare tid av betong. Spännvidden är upp till 17 m i sten och 30 m för betong. Bärverket består av ett fyllt valv av sten alternativt betong. Tryckkraften från fyllningen bidrar till brons bärförmåga. Produktionskostnaderna är väldigt höga för valvbro vilket gjort att nybyggnation är väldigt sällsynt (Banverket, Vägverket, Transportstyrelsen, & Sjöfartsverket, 2009).

5.8 Bågbro

I Sverige byggdes den första bågbro i betong i början av 1900-talet, med en spännvidd på 13 m. Tidigare var det en vanligt förekommande brotyp då spännvidden översteg 60 m men utkonkurreras oftast idag av spännarmerad betong- och stålbroar (Sjåde & Ronnebrant, 1996). Numera kan en bågbro byggas med en spännvidd på över 500 m¹.

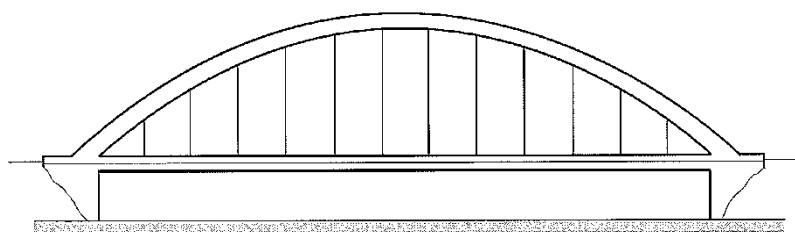
Det som karakteriserar bågbroar är att bågen utnyttjas som bärande system (Nationalencyklopedin, 2014). Det är en modernisering av tidigare valvbroar där onödigt material har skalats bort för att minska egentygden vilket även gjort den mer estetiskt tilltalande, se Figur 15 (Sjåde & Ronnebrant, 1996). Bågen tar hand om centriskt tryck som fördelas jämnt och leds ner i marken. Endast en mindre del av krafterna tas upp i böjning. Konstruktionen ställer höga krav på de geotekniska förhållandena vid brostöden där stora horisontella och vertikala krafter verkar. Grundläggningen bör därmed utföras direkt mot berg för att undvika instabilitet i konstruktionen (Vägverket).

¹ Björn Engström (Bitr. professor/Vice prefekt, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers tekniska högskola) föreläsning 28 januari 2014.



Figur 15. Underliggande inspänd båge (Engström, 2014).

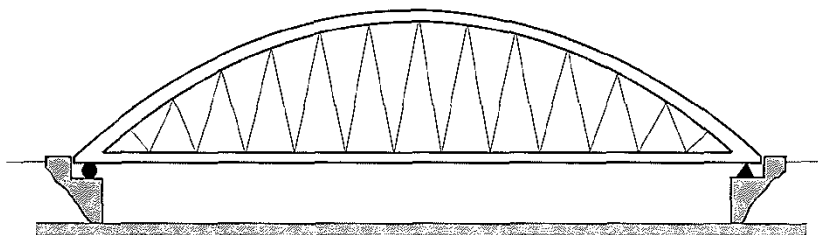
Brobanan kan vara under, över eller delvis över bågen, se Figur 16. Bron kan bestå av en eller flera bågar och vanligtvis tillverkas dem i betong eller stål, även trä kan förekomma vid kortare spännvidder. Är det fler än en båge brukar dessa förankras med tvärbalkar. Beroende på var bågen är placerad används olika material för att bära upp vägbanan. Är bågen placerad under farbanan kan pelare av betong användas för att ta upp tryckkrafterna. Om bågen istället går över farbanan kan stag av stål vara en bättre lösning för att ta upp dragkrafterna (Vägverket, 2008).



Figur 16. Överliggande inspänd båge (Engström, 2014).

5.8.1 Bågbro med dragband

I områden där de geotekniska förutsättningarna är sämre kan en bågbro med förstärkningsbalk användas. Kraftmässigt fungerar den på liknande sätt som med överliggande inspänd båge. I detta fall spänns istället bågen in i körbanan som tar upp de horisontella krafterna. Kraftspelet liknar en spänd pilbåge, se Figur 17, där strängen motsvarar förstärkningsbalken och tillsammans med stagen tar hand om dragkrafterna, medan bågen tar tryckkrafterna. Det gör att den horisontella belastningen på stöden minskar och kan därmed placeras på mindre stabil mark jämfört med övriga bågbroar¹.



Figur 17. Överliggande båge med dragband (Engström, 2014).

¹ Björn Engström (Bitr. professor/Vice prefekt, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers tekniska högskola) föreläsning 28 januari 2014.

6 Produktionsmetoder

En viktig aspekt att beakta vid val av brokoncept är de olika alternativens produktion. Med produktion menas produktionsmetoder, produktionsordning, temporära konstruktioner vid uppförande samt område för materialupplägg. Det är även viktigt att identifiera risker för de olika brokonceptens produktion. Det geografiska läget samt intilliggande konstruktioner kan spela stor roll vid val av produktionsmetod. Det är därför viktigt att utreda huruvida området erbjuder möjligheter för materialupplägg, kranar, baracker samt olika temporära konstruktioner. Vid val av material och brokoncept är det även viktigt att beakta transportmöjligheter till och från arbetsplatsen ¹.

6.1 Prefabricerat

Betong är ett flexibelt byggnadsmaterial och lämpar sig väl för både platsgjutning av konstruktioner samt prefabricering av element. Båda metoderna har sina för- och nackdelar när det kommer till själva byggskedet. Vid prefabricering av broelement utförs gjutning i fabrik och det som återstår är monteringen av elementen på arbetsplatsen. Denna metod kan med fördel användas vid platser med exempelvis vattendrag eller svår terräng, då platsgjutning blir komplicerat att genomföra. Andra fördelar med prefabricering av broar är att det är lättare att skapa fin ytstruktur, skydda betongen från ogynnsamma väderförhållanden och därmed lättare att säkerställa en hög kvalitet på betongen. Vid hög standardisering av brokoncept kan byggtiden och även risken för störningar minimeras (Eriksson & Jakobson, 2009).

Stål som konstruktionsmaterial har en hög prefabriceringsgrad. Vanligtvis tillverkas elementen enligt standardiserade mått på fabrik och kan sedan effektivt monteras på arbetsplatsen (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013). Idag är det ovanligt att broar konstrueras i enbart stål på grund av de höga underhållskostnaderna. Istället förekommer stål ofta i samverkansbroar med betong (Sjåde & Ronnebrant, 1996).

Trä är ett aktuellt brobyggnadsmaterial tack vare sin höga prefabriceringsgrad. Byggtiden kan ibland kortas ner tillräckligt mycket för att slutkostnaden skall vara lägre än en liknande bro i annat material (Sjåde & Ronnebrant, 1996). Transporter av tråelement är dessutom lättare tack vare träets låga densitet.

6.2 Platsgjutning

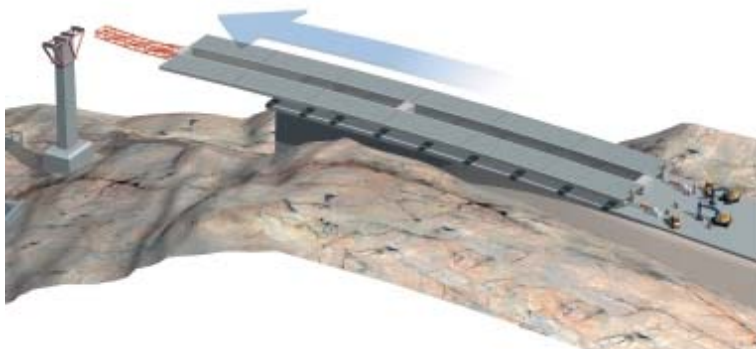
Vid platsgjutning av betongkonstruktioner blir transporter lättare men ställer istället större krav på byggarbetsplatsen och upplagsytor. Mer yta behövs för material och arbetet blir mer omfattande. Innan gjutning behöver en form konstrueras vilket kan bli tidskrävande ifall omgivningen innebär ett hinder eller om det finns andra vägar i närheten (Eriksson & Jakobson, 2009).

När formen är färdigbyggd och armeringen utplacerad gjuts betongen. Som tidigare nämnts initieras härdningsprocessen snabbt, vilket innebär att det finns en viss tidspress vid arbete med betong (Burström, 2007). Detta ställer också krav på transporter, att de är punktliga och levererar rätt mängd betong.

¹ Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Region Stora Projek, Skanska Sverige AB) föreläsning 13 februari 2014

6.3 Horisontell lansering

Horisontell lansering av en bro används ofta över dalgångar och vägar där kranar och andra maskiner inte kan placeras på grund av platsbegränsningar. Metoden innebär att brobanan stegvis skjuts ut över stöden. Längst fram finns en lanseringsnos, vilken är en stålkonstruktion som kompenserar för nedböjning av brobanan när den skjuts ut. Figur 18 illustrerar hur horisontell lansering fungerar (NCC, 2013).



Figur 18. Illustration av horisontell lansering (NCC, 2013).

6.4 Balanserad utbyggd bro

En balkbro kan även installeras med konsolutbyggnader från stöd. Denna metod har länge setts som den mest effektiva lanseringsmetoden som inte kräver temporärkonstruktioner under installation. Metoden har således stora fördelar i urbana miljöer där stor hänsyn måste tas till underliggande miljö och trafik. Uppförandet utgår från de permanenta stöden och byggs ut i båda riktningar på ett balanserat sätt och är således självbärande under hela lanseringstiden, därför finns inget behov av temporära bärande konstruktioner, se Figur 19. Denna uppförandemetod kan tillämpas oavsett materialval. För betong kan metoden användas både med prefabricerade betongelement och platsgjuten betong. Metoden fungerar även för uppförandet av snedkabelbroar, där brobanan byggs ut från pylonerna och kontinuerligt kopplas samman med kablarna, se Figur 20 (Tang, 2000).



Figur 19. Balanserad konsolutbyggd balkbro (DNEC, 2011).



Figur 20. Balanserad utbyggd snedkabelbro (Somerset).

6.5 Spann för spann-metoden

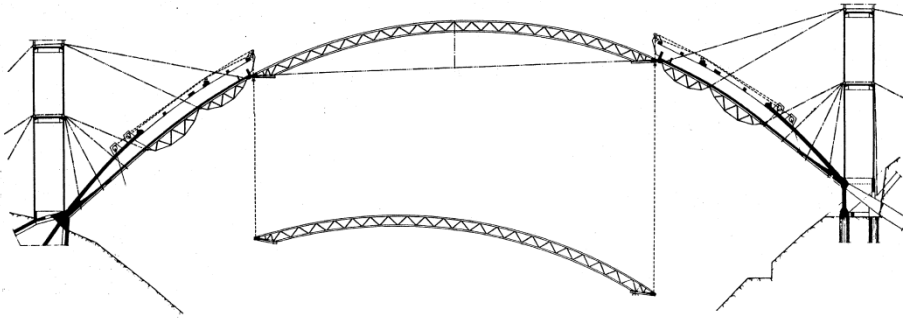
Spann för spann-metoden innebär att ett tillfälligt broelement, ofta en fackverksram i stål, används för att överbrygga två upplag, se Figur 21. Denna konstruktion används sedan för att transportera och placera de permanenta brodelarna i rätt position. Den tillfälliga konstruktionen förflyttas sedan till nästa spann för att frakta och placera ut nästa segment. Spann för spann-metoden är vanligast med prefabricerade segment, men platsgjutning med hjälp av ställningar och formar är även möjligt. Metoden är gynnsam i den aspekt att underliggande kranar och byggnadsställningar kan undvikas, varför den är lämplig då bron ska korsa områden med platsbegränsningar. Mest ekonomisk anses metoden vara för spann med spännvidder upp till 50 m (Sauvageot, 2000).



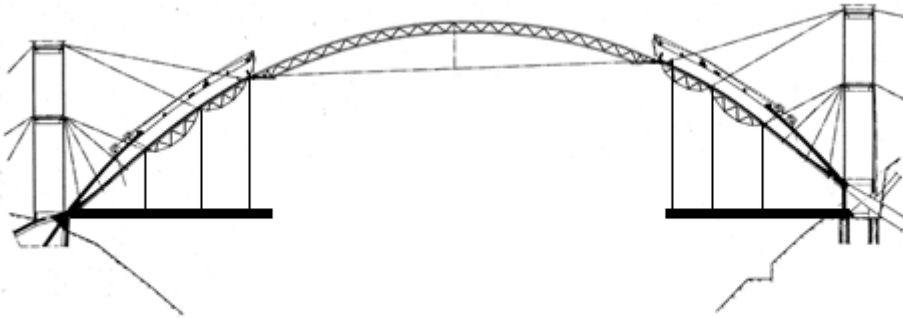
Figur 21. Spann för spann-metoden (Lount, 2003).

6.6 Produktionsmetod för bågbro

Vid uppförandet av bågbroar används ofta temporära konstruktioner i form av pyloner, från vilka stålkablar tillfälligt håller bågen på plats innan den är färdigställd. Principen kan liknas vid metoden för att bygga snedkabelbroar. Dessa kablar kan antingen fixera en form för att platsgjuta bågen, alternativt fixera prefabricerade element som skarvas samman till en hel båge, se Figur 23. Produktionsmetoden för resterande del, d.v.s. farbanan, beror på om det är en överliggande- eller underliggande inspänd båge. Vid en överliggande inspänd båge används ofta kablar, likt principen för en hängbro, för att överföra krafterna från farbanan till bågen. Vid underliggande inspänd båge kan pelare användas för att föra ner krafterna från farbanan till bågen. Dessa kablar alternativt pelare installeras efter att bågen är på plats. Pelarna kan antingen vara prefabricerade eller platsgjutna, beroende på transportmöjligheter. För bågbroar i trä är limträbalkarna avancerat utformade, för stora spännvidder används vanligen treledsbågar. Detta förenklar tillverkningen och gör dem enklare att transportera, vilket bidrar till mindre utsläpp (Träguiden, 2006).



Figur 22. Principskiss över installation av bågen (Sauvageot, 2000).



Figur 23. Lansering av farbanan med kablar. Överliggande inspänd båge. (Sauvageot, 2000).

7 Förvaltning och underhåll

En bro ska vara konstruerad för att underhåll och inspektioner lätt kan utföras under brons livslängd. Det finns krav på minimimått för utrymmen vid brodetaljer som ska beaktas just för att underlätta vid inspektion, exempelvis minsta fri invändig höjd i ett lådtvärnsnitt (Vägverket, 2004). Det är viktigt att underhållet av bron tas i särskild beaktning vid projekteringsstadiet eftersom att underhållskostnaderna per år kan uppgå till ungefär 1 % av initiala byggkostnaden (Hallgren, 2010).

7.1 Underhållsplan

För att broar ska bevaras under hela dess bestämda livslängd krävs en mängd regelbundna och systematiska inspektioner och underhållsarbeten. Bestämda regler och rekommendationer måste följas för att skador ska kunna upptäckas i tid. Inspektionens omfattning beror på vilken inspektionstyp som ska utföras.

Fortlöpande inspektioner sker kontinuerligt för att akuta skador ska upptäckas i god tid. Underhållsentreprenörer försöker påträffa defekter som kommer inverka allvarligt på trafiksäkerheten och konstruktionselementen.

Översiktlig inspektion utförs två gånger om året och dess syfte är att kontrollera att broarnas bestämda krav är uppfyllda.

Samtliga byggnadskonstruktioner i Sverige ska huvudinspekteras minst vart sjätte år. Syftet vid denna inspektion är att upptäcka bristande fel gällande konstruktionens funktion och trafiksäkerhet. I huvudinspektionen ingår även att gå igenom dokumentation från tidigare inspektioner. Åtkomligheten kan vara svår vid huvudinspektionen, därmed kan hjälpmedel såsom brolift, båt, stege och skylift behövas. Kontrollerna ska genomföras systematiskt för att ingen del ska förbises. Det är viktigt att allt dokumenteras eftersom senare efterkontroller ska ske på de eventuellt bristande delarna. Huvudinspektionen innehåller inspektion av följande moment:

- Slänt, grundläggning och stödmurar. För att förhindra förstörelse från rörelse i marken, urspolning och ökad belastning.
- Stöd. Måste kontrolleras för att undvika sprickor och krossning.
- Upplagsanordning. För att de inte skall vara snedinställda och lösa, samt innehålla sprickor.
- Bärverk och ledverk. För att undvika krossning, korrosion och sprickor.
- Brobaneplatta och kantbalk. Sprickor och korrosion måste uppmärksammas och mätas.
- Tätskikt. För att fukt och avflagning ska förebyggas.
- Beläggning. Kontrollera sprickor och vittring.
- Räcke. För att undvika deformationer och korrosion som minskar säkerheten.
- Övergångskonstruktion. För att fastställa att inget är löst eller läcker.
- Dräneringssystem. För att det ska vara tätt och inte utsättas för korrosion.
- Vattentäckta delar. Måste kontrolleras med dykare.

Allmäninspektion sker med tre års intervaller och är en uppföljning av skador som inte åtgärdats vid huvudinspektionen. Vid denna inspektion upptäcks de defekter som annars inte hade upptäckts förrän vid kommande huvudinspektion och därmed inneburit bristande funktion, ökade förvaltningskostnader och minskad trafiksäkerhet.

Gamla skador som inte åtgärdats måste bedömas i en skadeutveckling för att avgöra hur prioriterat det är.

Särskild inspektion utförs då det finns något speciellt behov av det, för att närmare inspektera bristande detaljer (Vägverket).

7.2 Inspektion

Betongen ska kontrolleras så att urlakning, vittring och armeringskorrosion inte förekommer. Urlakning ska bland annat kontrolleras på undersidan av körbanan och intill spännkabelförankringarna. Är betongen sprucken kan detta bero på armeringskorrosion och därför bör armeringen kontrolleras ytterligare. Sprickorna kan även vara belastningssprickor och används spännarmering ska inte sprickor vanligtvis finnas i betongen. Krosskador orsakade av påkörning ska även kontrolleras (Vägverket, 2010).

Stål ska i första hand kontrolleras så att inte korrosion, avflagning och blåsbildning förekommer. Ståldetaljer som skruvförband ska kontrolleras extra noga likaså detaljer där fukt kan ansamlas. Sprickor ska kontrolleras speciellt vid svetsar och flänsar, och konstruktionen ska kontrolleras med avseende på deformationer (Vägverket, 2010).

Vid huvudinspektion av träbro ska bron undersökas med hänsyn till defekter som kan påverka funktionen. Inspektion av bland annat ytbehandling, förband, sprickbildning i balkar och träets fuktkvot skall regelbundet utföras (Träguiden, 2006). 1994 införde vägverket krav på träbroar i sina tekniska beskrivningar. Detta gör att statistiken på livslängd och underhåll för denna sortens träbro är väldigt begränsad (Träguiden, 2006).

7.3 Platsens förutsättningar

Bron kommer att utsättas för olika miljö- och driftslaster under sin livslängd. Dessa måste beaktas vid projekteringen för att garantera livslängden. Bron är belägen i Ulricehamn där medeltemperaturen är 5,2 °C och där temperaturen under vintern kan vara under 0 °C. Detta är en belastning för trä och betong då vattenfyllda porer i materialen expanderar vid fasomvandlingen vatten till is. Detta kan skapa utmattningsproblem vid cyklisk nedfrysning och upptining men även att materialet skadas i form av exempelvis spjälkning av betongen¹.

Körbanan kommer under vintern att saltas. Detta innebär en belastning för betongen eftersom saltet tränger in i betongen och orsakar armeringskorrosion. Detta kan förebyggas med hjälp av att körbanan får en tätningsmatta för att skydda betongen mot kloridinträngning (Scandinavia, 2014).

Även snöröjning av vägbanan utgör en risk för bron. Vägbanan slits av mekanisk nötning från snöröjningen och bilar förutsätts köra med dubbdäck under vintern vilket också ökar slitaget på brobanan. Detta bör tas i åtanke vid projektering.

Den omgivande miljön, med en äng under bron, gör det lättare att inspektera och underhålla bron då åtkomligheten är bättre. Avsaknad av vatten och framför allt saltvatten gör att bron exponeras för mindre kloridjoner, vilket är positivt i underhållssynpunkt.

¹ Peter Utgenannt (CBI: Betonginstitutet) föreläsning 23 september 2013.

7.4 Trafikökning

Drift- och underhållsverksamheten är direkt kopplat till trafikmängden och ökar därmed förhållandevis med trafikökningen. Bron över Karlsnäs industriområde förväntas år 2015 ha en ÅDT på 12000 fordon/dygn och år 2035 beräknas en ökning till 15100 fordon/dygn. Den förutsedda trafikökningen medför ökat slitage av vägbanan. Brons livslängd inverkas av denna nedbrytning och andel tung trafik, som antas till 22 %. Vägtrafikens fordon ökar allt mer i vikt och deras effekt på nedbrytningen blir allt större. I underhållsprojekteringen måste hänsyn till framtida trafikökningar tas, samt fordonens viktökning. Även hänsyn till att vägen kommer belastas av dubbdäck mellan 1 oktober till 30 april måste beräknas in i underhållsarbetet (Banverket, Vägverket, Transportstyrelsen, & Sjöfartsverket, 2009).

Då ÅDT understiger 11000 fordon/dygn är en körbana per riktning tillräckligt för god standard och om ÅDT överstiger 18000 fordon/dygn brukar två körfält per riktning krävas för att behålla samma vägstandard. Dimensionering av vägstandard mellan 11000 och 18000 fordon/dygn är svårt och oftast är behovet vid korsningar dimensionerande (Bellander, 2006). Med hänsyn till dessa uppskattningar av antalet körfält i förhållande till ÅDT kommer bron troligen inte kräva några framtida åtgärder för att möta den ökande trafikmängden.

8 Urvalsprocess

Urvalsprocessen vid broprojektering är en iterativ process där först krav och begränsningar för bron måste fastställas varpå eftertraktade egenskaper och krav ur olika perspektiv ska tas fram. För att urvalsmetodiken ska bli så bra som möjligt måste alla perspektiv utvärderas och alternativen jämföras och eventuellt ändras och optimeras.

8.1 Första urval

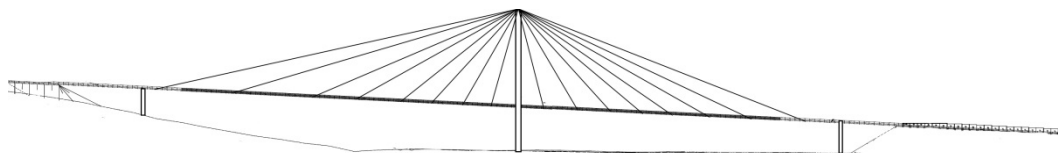
- Rambro byggs vanligast endast i ett fack med en spännvidd på 20–50 m. Med en sträckning på 320 m skulle flertalet fack behövas vilket är ekonomiskt och tekniskt ineffektivt. Därmed passar brotypen inte till våra förutsättningar.
- En hängbro används oftast vid spännvidder över 500 m. Därför är den här brotypen inte aktuell då spännvidden är kortare än 500 m.
- Då Fackverksbroar är dyra i underhåll och används idag endast som tillfälliga konstruktioner och GC-broar är det inte aktuellt för denna sträckning.
- Valvbro tillhör en tidigare byggnadsteknik och är idag ineffektiv på grund av höga produktionskostnader. Den låga spännvidden gör också att alternativet faller bort.
- Plattbro i betong försvinner då en kontinuerlig balkbro är mer effektiv, ekonomiskt och konstruktionsmässigt för aktuell brolängd.

8.2 Kvarstående brokoncept

De kvarvarande koncepten är snedkabelbro, träbalkbro, betongbalkbro, samverkansbro med betong och stål och bågbro i betong eller trä. Dessa är passande brokoncept för broområdets förutsättningar.

8.2.1 Snedkabelbro

En snedkabelbro kommer ha en pylon i mitten av dalen. Detta gör att spännvidden kommer kunna bli ca 150 m och att bron endast behöver tre pelare (Sjåde & Ronnebrant, 1996), se Figur 24.



Figur 24. Snedkabelbro.

Produktion

Då snedkabelbrokonceptet kommer att utföras med en pylon i mitten, kommer den att placeras i närheten av sektion 13/030. Detta är ett område som begränsas i söder av ett industriområde, varför större delen av materialupplägg och temporära konstruktioner bör uppföras norr om farbanan. Däremot kan en del av den infrastruktur som finns

omkring industriområdet användas för transporter av material och maskiner. Det kommer att krävas temporära vägar norr och väster om pylonen. I området där pylonen ska placeras finns även elledningar och vattenledningar som måste beaktas. Dessa måste antingen undvikas eller ledas om, vilket kan förlänga och komplicera byggprocessen. Efter att pylonen är byggd kommer bron att byggas enligt ett balanserat fritt-fram byggt koncept.

Grundläggning

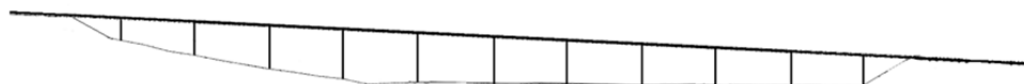
Principen för en snedkabelbro är som tidigare nämnts att farbanan belastar de sneda kablarna med dragkraft som i sin tur belastar en eller flera pyloner med tryckkraft. Färre pyloner innebär alltså att varje enskild pylon måste kunna bära större kraft. Detta ställer givetvis större krav på grundläggningen. I detta koncept har bron endast en pylon, vilket innebär en spännvidd på cirka 150 m. Grundläggningens omfattning och kostnad i snitt per stöd kommer då vara avsevärt högre än för exempelvis en balkbro i trä, då dessa ej kommer att behöva bära lika stora laster per stöd.

Underhåll

Kablarna i bron ska vara utbytbara och därför separerade över pylonen för att underlätta vid eventuellt byte. Kablarna ska vara förankrade utanför säkerhetsanordningen, d.v.s. utanför räcken, för att minimera risk för påkörning. Kablarna ska även vara påkörningsskyddade 2,0 m ovanför brobanan och krav på demonterbarhet vid inspektion ställs på skyddet (Vägverket, 2004).

8.2.2 Träbalkbro

Balkbro i trä har en spännvidd på 5-30 m. På grund av dess relativt korta spännvidd behövs ungefär elva pelare om spännvidden maximeras till 30 m, se Figur 25. Träbalkarna kommer bestå av limträbalkar eller spännings-laminerade balkar (Corcetti, o.a., 2011).



Figur 25. Träbalkbro.

Produktion

En balkbro i trä kommer att uppföras med omkring elva stöd, som ovan nämnt, vilket innebär att produktionen för detta koncept kräver tillgång till stor del av underliggande område. Transporter, område för materialupplägg samt arbetsytor utefter hela bron måste möjliggöras för att kunna uppföra bron. Även för detta koncept måste el- och vattenledningar beaktas från sektion 13/000 och österut. Principen för installation är att pelarna platsgjuts och att träbalkarna lyfts på plats med lyftkran. Eftersom träbalkarna eventuellt måste skarvas, på grund av transport, behöver arbetsytor för detta möjliggöras.

Grundläggning

Grundläggningsprincipen för de tre återstående balkkoncepten är snarlika men de skiljer sig åt i kostnad samt omfattning. Detta med anledning av de olika materialens densitet och hållfasthetsegenskaper.

Trä som konstruktionsmaterial är betydligt lättare än både betong och stål vilket betyder att konstruktionens egentyngd också är lägre och därmed underlättar

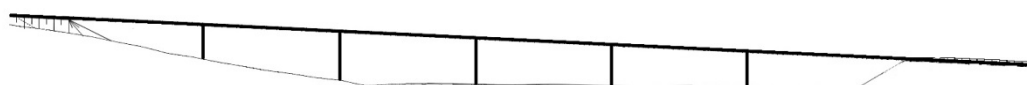
grundläggningen vid varje stöd. Dock är spännvidden som regel kortare hos träbroar och ökar därmed antalet stöd som behöver grundläggas. Detta kan ses som positivt i de lägen där jordlagerföljden är instabil och lasten behöver fördelas över flera stöd.

Underhåll

Limträbalkarna måste inspekteras kontinuerligt eftersom träbalkbroar är relativt nytt inom brokonstruktionsindustrin. Träet har även ett krävande underhållsarbete, vilket medför ökade underhållskostnader (Abelsson, Båge, & Westerlund, 1998).

8.2.3 Betongbalkbro

En balkbro i betong som spännarmeras kan ha en spännvidd på över 150 m. Vilket medför att bron som är 320 m lång skulle behöva ungefär fem stycken betongpelare om spännvidden är 50-60 m¹, se Figur 26.



Figur 26. Betongbalkbro.

Produktion

En balkbro helt i betong innebär att antalet stöd, på grund av spännvidder, ungefär kan halveras jämfört med träbalkbro. Däremot krävs mindre mängd område för materialupplägg och arbetsytor som för en träbalkbro. Metoden för uppförande är däremot mer öppen i detta fall. Pelarna kommer att platsgjutas vilket innebär att arbetsområde och transporter till dessa måste möjliggöras. Installation av balken kan däremot genomföras på olika sätt. Horisontell lansering används för broar över dalgångar och vägar där kranar och andra maskiner inte kan placeras på grund av platsbegränsningar. Eftersom dessa begränsningar inte finns används inte denna metod. Balken kan också gjutas i ett balanserat konsolutbyggt koncept, där balken platsgjuts i former som sedan skjuts ut horisontellt eller genom att hela formen byggs upp från marken för att sedan gjuta betongen. En annan metod är att prefabricera betongbalkar för att sedan lyfta upp dessa på stöd med kran. I detta projekt är valet mellan platsgjutning och prefabricering mer fritt sett ur denna aspekt, då området i stort inte har några större begränsningar i terrängen eller andra konstruktioner att ta hänsyn till. Något som däremot bör beaktas är att transport av prefabricerade broelement kan vara besvärligt och behöver planeras noggrant.

Även för produktion av detta koncept måste el- och vattenledningar beaktas från sektion 13/000 och österut. Temporära vägar för transporter bör även byggas utefter farbanan.

Grundläggning

Betongbalkbron har längre spännvidd än träbalkbron och behöver därför färre stöd. Den högre densiteten hos betong jämfört med trä gör dock att en större egentygnd ska tas upp av grundläggningen.

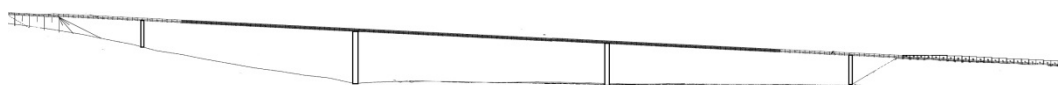
Underhåll

¹ Björn Engström (Bitr. professor/Vice prefekt, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers tekniska högskola) föreläsning 28 januari 2014.

De fem pelarna måste underhållas och inspekteras kontinuerligt. För att nå undersidan av betongbalkarna används en transportable hängställning, eftersom pelarna är för höga för att balkarna ska nås med maskin från marken. Betongbalkbron kräver mindre underhållskostnader än balkbron i trä.

8.2.4 Samverkansbro

För att nå de större spännvidderna används en svetsad stålprofil istället för valsad, vilket brobanan i betong placeras ovanpå. Om lådtvärsnitt används kan spännvidderna sträcka sig uppåt 130-150 m, men vanligtvis ligger de på 50-80 m. Rimligt till den 320 m långa bron är fyra pelare eftersom det inte förekommer geografiska hinder under bron¹, se Figur 27.



Figur 27. Samverkansbro.

Produktion

Spännvidderna för en samverkansbro kan vara längre än för en betongbalkbro. Av denna anledning kan antalet stöd minskas. Ytor för arbete och lansering av dessa stöd måste, likt de tidigare koncepten, möjliggöras. Det blir dock färre områden att beakta. Eftersom prefabricerade stålelement kommer att transporteras till platsen och svetsas ihop där, krävs ytor för arbete och materialupplägg. Principen för lansering är liknande den för en balkbro i trä. Pelarna platsgjuts och stålbalcken placeras med lyftkranar. Därefter platsgjuts betongkonstruktionen i önskad form. Anledningen till att inte prefabricerade betongelement används är att det kan vara problematiskt att få till önskad samverkan (Sauvageot, 2000).

Grundläggning

Samverkansbron har, som ovan nämnt, längre spännvidd än betong- och träbalkbro och behöver därför väldigt få stöd. Dock kommer varje stöd belastas mer och grundläggningen blir därför mer omfattande för varje stöd.

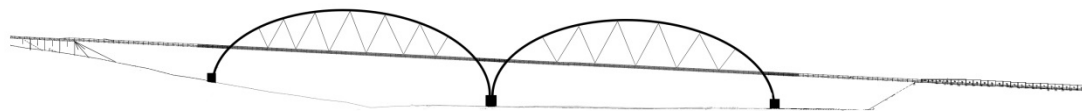
Underhåll

De bärande delarna ska inspekteras och underhållas regelbundet. På samma sätt som för de andra balkbroarna nås undersidan av bron med en transportabel hängställning.

8.2.5 Bågbro i betong

Bågbroar i betong med ett spann kan ha spännvidder på ca 260 m, men utförs bron med flera spann kan bågarna ha spännvidder på omkring 100 m. Det är därmed passande med två bågar för den 320 m långa bron (Vägverket, 2008), se Figur 28.

¹ Gunnar Jernström (Specialist, Broavdelningen, Inhouse Tech Infra Göteborg AB) föreläsning 31 januari 2014.



Figur 28. Bågbro i betong.

Produktion

Det planerade konceptet med en bågbro utförs med två bågar i betong. Detta innebär att överliggande laster leds ner i marken i fem stöd. Ett av dessa stöd kommer att uppföras omkring sektion 13/030, vilket innebär likande utmaningar som för snedkabelbron.

Vid installation kan temporära pyloner uppföras, dels vid sektion 13/030 och dels omkring sektion 12/930 och 13/130. Från pylonen i mitten byggs formar ut på ett balanserat sätt och från pylonerna vid ändpunkterna förankras pylonerna i marken. Konceptet kräver stora arbetsytor och områden för materialupplägg och produktionsmetoden, jämfört med de för balkbroar, är komplicerad. En annan metod är att bygga upp gjutformar från marken och sedan gjuta betongen. Detta alternativ kräver mycket temporära konstruktioner och material till gjutformen.

Grundläggning

I bågbrokonstruktioner är det själva bågen som utnyttjas som bärande system. På grund av sin utformning uppkommer stora vertikala och horisontella krafter vid ändstöden som behöver föras ned i marken. Konceptet i detta fall är som tidigare nämnts utformat med två bågar och ett stöd kring sektion 13/030 för betongkonceptet. Stora laster kommer behöva föras ned genom stödet och ställer likt snedkabelbron stora krav på grundläggningens utförande.

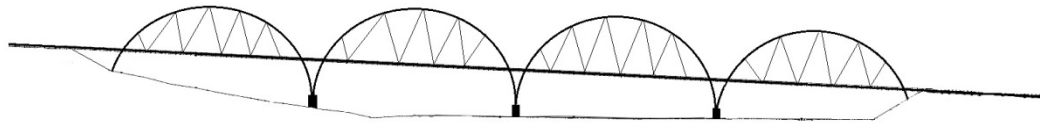
Då ändstöden för bågbroar måste klara av stora vertikala och horisontella krafter blir grundläggningen komplicerad och utförs med fördel direkt på berg för att säkerställa tillräcklig kapacitet. Vid västra änden av bron finns bergytan ca 10 m under befintlig markyta. Däremot är det oklart vid vilket djup bergytan befinner sig vid bronns östra ände, runt sektion 13/210. Detta kan ställa till problem vid grundläggningen av bågbron i denna ände. För att minska på de horisontella krafterna kan dragband spännas i balken och därmed underlätta grundläggningen när markförhållandena inte är optimala.

Underhåll

Bågarna skall dimensioneras på sådant vis att hängaren eller hängstaget som bär brobanan till bågarna kan bytas ut enkelt. Kablar och fästen till bron formges så att de är tåliga och vattentäta. Viktigast att inspektera och underhålla blir infästningarna mellan båge och brobana (Rosell, 2011). En hög brolift kommer behövas till utförandet av inspektioner ovanpå bågen. Stor och hög brolift kräver stora utrymmen vilket kan medföra att vägen inte kan trafikeras under inspektion. Eftersom bågen är placerad på hög höjd finns ingen möjlighet att ställa liften på marken under bron. Med höjden uppkommer även arbetsmiljörisk vid inspektion och underhåll (Trafikverket, 2010).

8.2.6 Bågbro i trä

Bågbro av trä har en spännvidd på 20-70 m. Därför skulle det behövas fyra stycken bågar för den 320 m långa bron (Corcetti, o.a., 2011), se Figur 28.



Figur 28. Bågbro i trä.

Produktion

En av skillnaderna mellan en bågbro i betong och en i trä är att en träbåge levereras i segment. Eftersom spännvidderna för en bågbro i trä är kortare än för en bågbro i betong, krävs fler bågar. Däremot är uppförandet av bågarna likartat med det ena produktionsalternativet för betongbåge där temporära pyloner som på ett balanserat sätt håller bågen på plats.

Grundläggning

För en bågbro i trä krävs fler stöd än för en betongbågbro. Detta i kombination med att trä är lättare än betong medför att lasterna vid varje stöd blir lägre. Däremot är det fler grundläggningsområden att beakta.

Underhåll

Hängstaget mellan brobanan och de fyra träbågarna ska enkelt kunna bytas ut. Träbågarna är ur underhållssynpunkt mer krävande än betongbågarna då mer kontinuerliga underhållsarbeten måste utföras. Kablarna och fästena måste vara tåliga och vattentäta. (Abelsson, Båge, & Westeriund, 1998)

8.3 Matriskriterier

För att kunna komma fram till ett slutgiltigt brokoncept kommer olika kriterier att viktas mot varandra. Dessa är estetik, trafikkomfort, byggtid, lokal miljöpåverkan, global miljöpåverkan, innovation, byggkostnad, underhållskostnad, genomförande samt grundläggning. Här följer en beskrivning av varje kriterium samt vilka avgränsningar som gjorts inom varje område för att kunna göra en jämförelse. Kriterier som ska vara uppfyllda för alla koncepten enligt de krav och bestämmelser som finns kommer att utelämnas ur urvalsprocessen, där ett exempel är trafiksäkerhet. Resultatet av jämförelsen ses i Tabell 2.

Estetik

Då många människor kommer färdas längs med Väg 40, och därmed se bron vid infarten till Ulricehamn, anses estetiken vara en av de mer betydande faktorerna. Bron har potential att bli stadens nya landmärke, dels för invånarna i närområdet samt trafikanter som passerar förbi. Den estetiska parametern kommer få ett subjektivt betyg.

Trafikkomfort

Att bron innehar god körkomfort anses som en viktig parameter då många trafikanter kommer beröras. Det som kan skilja koncepten åt är körupplevelsen över bron där

material och brotyp kan spela roll. Ett exempel är att en träbro kan uppfattas som mindre säker eller att höga pyloner kan förstärka känslan av att färdas på hög höjd.

Byggtid

Kostnaden är ofta hårt knuten till produktionstiden. En pressad eller lång byggtid kan oftast resultera i rejält ökade utgifter. Det kan vara svårt att göra beräkningar på obeprövade material och produktionsmetoder. Byggtiden kan bli längre då nya rutiner och arbetssätt används. Eftersom ekonomin i detta projekt är lågt prioriterat medföljer det att även byggtiden inte är en viktig faktor sett utifrån det här avseendet. Området där bron skall anläggas är en relativt ostörd plats. Ingen befintlig trafik kommer att påverkas eller läggas om för att kunna genomföra projektet. Då endast en del av etapp 2 för nya Väg 40 undersöks, se bilaga A1, kommer inte heller hänsyn till den totala byggtiden att tas i beaktning. D.v.s. att brons färdigställande inte nödvändigtvis behöver betyda att vägen samtidigt är redo att trafikeras och därmed försvinner vinsten av tidigt ökad kapacitet. Ovan nämnda kriterier medför att byggtiden är lågt prioriterad i urvalet.

Lokal miljöpåverkan

Området där bron byggs ligger i nära anslutning till både skogs- och industrimiljö. Att minimera negativ påverkan på närmiljön är viktigt men då området redan är exponerat av industri kommer brons angrepp på den lokala miljön värderas lägre. Vid undersökning av lokal miljöpåverkan kommer framför allt hänsyn att tas till utsläpp och buller, både under byggnation och vid bruk. I byggskedet kommer främst maskiner, temporära konstruktioner och produktionsmetoder att studeras. Underhållsarbetets omfattning samt möjliga kemikalieutsläpp kommer också värderas.

Global miljöpåverkan

I ett samhälle där miljöförändringar blir mer och mer påtagliga är den globala miljöpåverkan ett viktigt kriterium. Det är därför viktigt att bron har en lång livslängd. Vid framställning av de olika materialen kommer varierande mängder utsläpp produceras. Antalet transporter samt möjligheten att återanvända kommer också växla mellan dessa.

Innovation

Innovation är det som driver utvecklingen framåt. Då kostnaden inte är prioriterad ökar möjligheten till innovativa lösningar. Därför kommer mer innovativa lösningar att viktas relativt högt. På samma sätt som estetik kommer kriteriet värderas subjektivt.

Byggkostnad

Kriteriet är starkt kopplat till byggtid, produktionsmetod, materialval och grundläggning. Byggkostnad är ofta den viktigaste parametern i ett byggprojekt men då ekonomin inte är i fokus värderas denna post lågt. Produktion- och materialkostnad kommer att tas hänsyn till vid betygsättning.

Underhållskostnad

Underhållskostnaden kan uppgå till stora summor under brons livstid på 80 år men av samma orsak som för byggkostnaden kommer detta bli ett av de lägre kriterierna i betygsättningen. De olika konceptens behov och möjlighet till underhåll kommer tillsammans med kostnaden för dessa, vägas mot varandra för att sedan kunna sätta ett

rimligt betyg. För att kunna förutspå underhållskostnader för ett brokoncept krävs i regel stor erfarenhet och brokonceptet måste vara väl beprövat tidigare och under lång tid.

Genomförande

Genomförandet av de kvarstående brokoncepten baseras till stor del på de olika konceptens produktionsmetoder. Möjligheten att få godkännande av myndigheter kommer också att studeras. Innovativa koncept kan få problem med detta. Produktionsmetoderna för de olika koncepten kommer att variera i svårighet och kostnad. Att bron ligger i ett väldigt glesbebyggt område gör att det finns väldigt få hinder för själva produktionen av bron. Det kommer finnas bra möjligheter att bygga temporära konstruktioner samt att framföra de maskiner som behövs. Detta tillsammans med att ekonomin inte har en avgörande roll gör att de flesta produktionsmetoder anses rimliga och genomförande som kriterium hamnar i den nedre delen av viktningen.

Grundläggning

Grundläggningens typ, omfattning och kostnad kan variera starkt beroende på vilken sorts bromodell som konstrueras, vilket material som väljs, spännvidder samt markförhållanden. Grundläggningsmöjligheterna är inget problem utan det är främst en fråga om ekonomi. På grund av detta graderas grundläggning bland de lägre kriterierna.

8.4 Viktning av kriterier

Alla kriterier har blivit numrerade 1-10. De vertikala kriterierna jämförs mot de horisontella. Det kriterium som anses viktigare än det andra får ett plus och de mindre viktiga ett minus. Varje kriteriums antal plus summeras och får därmed en placering och en viktning procent utefter detta.

Tabell 2. Viktning av urvalskriterier.

Kriterium	Estetik	Trafikkomfort	Byggtid	Miljöpåverkan (lokal)	Miljöpåverkan (global)	Innovation	Byggkostnad	Underhållskostnad	Genomförande	Grundläggning	Summa	Placering	Viktning
Estetik		+	+	+	-	+	+	+	+	+	8	2	16%
Trafikkomfort	-		+	+	-	-	+	+	+	+	7	3	15%
Byggtid	-	-		-	-	-	-	-	-	-	0	10	2%
Miljöpåverkan (lokal)	-	-	+		-	-	+	+	+	+	5	5	11%
Miljöpåverkan (global)	+	+	+	+		+	+	+	+	+	9	1	18%
Innovation	-	+	+	+	-		+	+	+	+	6	4	13%
Byggkostnad	-	-	+	-	-	-		+	-	+	3	7	7%
Underhållskostnad	-	-	+	-	-	-	-		-	-	1	9	4%
Genomförande	-	-	+	-	-	-	+	+		+	4	6	9%
Grundläggning	-	-	+	-	-	-	-	+	-		2	8	5%
Summa											45	55	100%

8.5 Urval 2

För att göra det andra urvalet kommer varje brokoncept betygsättas efter hur bra de uppfyller de olika kriterierna. Betygen är 1-5, där fem är högst och ett är lägst. Dessa kommer sedan att multipliceras med viktningsprocenten för varje kriterium och sedan summeras ihop. Det koncept med högst betyg är det som blir det slutgiltiga. Resultatet finns i Tabell 3.

8.5.1 Estetik

Snedkabelbro och bågbro är mest estetiskt tilltalande enligt gruppen. Exempel är den höga pylonen hos snedkabelbron som gör att den syns på långt avstånd och då blir ett landmärke för området. Hos bågbron gör den geometriska formen på bågen att den sticker ut som en markering i landskapet. Bland balkbroarna är betongbron den som är lättast att göra i mjuka former medan trä anses som mer tilltalande då det är mer naturligt och smälter in i intilliggande skogsmiljö. Samverkansbro är minst estetisk då den lämnar minst möjligheter att utveckla det estetiska.

8.5.2 Trafikkomfort

Upplevelsen att köra över broar är högst individuellt. Det som kan påverka komforten utifrån bromodell är framför allt vad som syns från trafikantens synfält. Även känslan och rädslan kan styra körupplevelsen. Exempelvis kan höga pyloner eller andra uppstickande konstruktioner förstärka känslan att vara uppe på en bro, högt ovan mark. Snedkabelbroar och bågbroar är exempel på brotyper med de här egenskaperna. Körkomforten kan därmed kraftigt försämrats för personer som har problem med detta (Svenskabil). Lägre utformade brotyper som balkbroar och plattbroar kan enklare smälta in i landskapet och tanken på att köra över bron blir därmed inte lika uppenbar. Andra faktorer som påverkar komforten är materialen, där betong och stål kan ge en känsla av mer gedigen konstruktion som med en lång tradition används som brobyggnadsmaterial. Trä kan i det här avseendet ge uppfattningen att vara ett osäkert och obeprövat material, vilket kan sänka komforten för trafikanterna.

8.5.3 Byggtid

Efter diskussion med Staffan Lindén, COWI, kunde en rimlig jämförelse av de kvarstående brokoncepten göras, med hänsyn till byggtid. Samverkansbro tillsammans med träbalkbro anses som de brokoncept som hade snabbast uppföringstid eftersom en stor del av konstruktionen kan prefabriceras vilket reducerar arbetstiden på byggplatsen. Betongbalkbro betraktas som den näst snabbaste brotypen på grund av sin relativt enkla konstruktion. Bågbro i trä och betong kräver lång tid för uppförandet av bågarna vilket medför en låg gradering av dessa brokoncept. Långsammast anses snedkabelbro på grund av sin avancerade konstruktion med snedkablar och det omfattande arbete som krävs vid infästningen av dessa¹.

8.5.4 Lokal miljöpåverkan

Alla de studerade broarna kommer medföra ett ingrepp i den lokala närmiljön. De olika bromodellerna påverkar dock olika utifrån produktion men även under hela brons livscykel. För att bygga bågbroar och snedkabelbroar med en pylon som

¹ Staffan Lindén (Grupprechef Broteknik, COWI) handledning 28 februari 2014.

mittstöd behövs stora maskiner som gör intrång i området. Den lokala miljön påverkas då negativt av buller och utsläpp av dessa maskiner. En balkbro består av många fler stöd, men med mindre dimensioner. Detta gör att smidigare och lättare maskiner behövs.

För att göra platsgjuten betong för balkbroar, samverkansbalkbroar och bågbroar behövs omfattande temporära konstruktioner och formar, vilket leder till en större exploatering av området. Limträbalkarna som behövs för en balkbro i trä lyfts på plats och utgör därmed en mindre lokal miljöpåverkan med färre temporära konstruktioner. Limträbalkarna har förhållandevist en lätt egentyngd som även det bidrar till färre maskiner.

Prefabricering av element medför kortare monterings tid så att miljön i området inte hinner påverkas på samma sätt som under långa monterings tider. Risker för att kemikalier och färg kommer ut i miljön omkring bron kan uppstå då stål används, som i samverkansbron (Carlsson, B; Stridh, K, 2006).

8.5.5 Global miljöpåverkan

Snedkabelbroar och bågbroar kräver stora mängder betong för att bygga de höga pylonerna och bågarna. För att nå upp till de höga höjderna på bågarna och pylonerna behövs ett antal stora maskiner med negativ miljöpåverkan. Den stora mängden material och utformningen av bågarna kräver stort transportarbete. Treledsbågar i trä förenklar tillverkningen och minskar transporter, vilket bidrar till mindre utsläpp. På det viset har en bågbro i trä en låg global miljöpåverkan jämfört med betong. Träets lätta vikt går enkelt att transportera och arbetet blir mindre jämfört med om det är stål eller betong som ska transporteras. Därmed även en mindre halt av miljöfarliga utsläpp.

Framställning av cementklinker för betongbroarna är en energikrävande process som avger en betydande mängd koldioxid. I betongen behövs även armeringsstänger i stål som bidrar till hög global miljöpåverkan. Tillverkningen av stål, som behövs till samverkansbron, är en resurskrävande process på grund av de höga tillverkningstemperaturerna och energiåtgången. Även kablarna i en snedkabelbro är tillverkade av stål, vilket utgör en negativ inverkan på den globala miljöpåverkan. Tillverkning av limträbalkar är miljömässigt en mycket bättre process då naturen tar mindre skada.

Betong kan efter sin livslängd återanvändas till ny ballast genom att armeringen avlägsnas och betongen krossas. Stålet i broarna kan smältas ner och återanvändas vid andra tillfällen. En balkbro i trä kan efter sin livslängd demonteras och återanvändas, antingen energin eller materialet. Miljömässigt ur återvinningssynpunkt är träet det bästa materialet eftersom det är ett förnyelsebart material. Betongens långa livslängd gör att dess miljöpåverkan sänks eftersom tillverkningens påverkan sprids ut på fler antal år.

8.5.6 Innovation

Träbroarna ses som de mest innovativa lösningarna då detta är ett mycket ovanligt material för vägbroar i Sverige. Både snedkabelbro och bågbroar är också relativt ovanligt vilket gör att de sticker ut, inte bara estetiskt utan också konstruktionsmässigt. Betongbalk- och samverkansbro ses inte som innovativa då det är vanliga brotyper.

8.5.7 Byggekostnad

En uppskattning av byggekostnad för de olika koncepten kan göras med hjälp av schablonkostnader för material, grundläggningsmetod samt produktionsmetod. De två bågbroarna och snedkabelbron är komplicerade ur produktions- och grundläggningsaspekter, varför dessa anses ha en högre byggekostnad än de olika balkbrokoncepten.

Att göra en kostnadsuppskattning mellan balkbroarna blir däremot mer komplicerad, då grundläggnings- och produktionsmetoder kan vara snarlika för respektive alternativ. Uppskattningen blir svår med hänsyn till de stora skillnaderna i materialens egenskaper. Exempelvis ger träet en lättare konstruktion, vilket kan minska kostnaden för att grundlägga ett stöd. Dock har träbalkbroar generellt sett kortare spännvidder än sin motsvarighet i betong, vilket i sin tur istället leder till att fler stöd behöver grundläggas.

8.5.8 Underhållskostnad

En snedkabelbro kräver mest underhåll och inspektion av alla stålkablar för att kunna säkerställa brons lastkapacitet och därmed säkerhet. Även bågbroar erfordrar mycket underhåll där kablarna, alternativt stagen, och infästningen mellan balk och båge står för en betydande del. Detta gör att dessa typer får lägre betyg än balkbroarna. Beroende på bågens utformning kan även underhållskostnaden bli högre om bågen är högt belägen och brolift erfordras vid inspektioner. En bågbro i betong får mindre underhållskostnader än en bågbro i trä, om utförandet och konstruktionen är rätt utförd, eftersom betong kräver mindre underhållsarbete.

Balkbro i trä kräver mer underhåll och inspektion än om brotypen skulle vara i betong eller stål. Detta eftersom träets fuktkvot behöver kontrolleras regelbundet samt att träskyddspaneler behöver ytbehandlas eller bytas ut regelbundet. Detta för att säkerställa bland annat att fuktkvoten är inom gränsvärdet för att röta inte ska utvecklas i materialet. En samverkansbro med farbana i betong och balkar i stål kräver mindre underhåll jämfört med trä. Dock kräver stål balkarna regelbunden rostskyddsbehandling. Det material för balkbroar som kräver minst underhåll, förutsatt att byggnationen och konstruktionerna är rätt utförda för alla broar, är betong. Materialets beständiga egenskaper gör det till ett billigt material ur underhållssynpunkt.

Träbroar är ett relativt nytt och obeprövat brokoncept där det finns stora osäkerheter i beständighet och underhållskostnader. På grund av detta finns det en stor risk för stora underhållskostnader för detta byggnadsmaterial. Till skillnad från trä är både betong och stål väldigt förutsägbara i beständighet och underhåll då materialen har använts till broar under en lång tid i Sverige.

8.5.9 Genomförande

Snedkabelbro och de två olika bågbroarna anses mest komplicerade med avseende på genomförbarhet och produktion. Det är dock svårt att motivera vilken som är mer komplicerad än den andra, vilket gör att dessa betygssätts lika. De tre återstående koncepten är olika varianter av balkbroar och genomförbarheten för dessa koncept betygssätts högre än bågbro- och snedkabelbrokoncepten.

Balkbro i betong betygssätts högre än både samverkansbro och träbalkbro. Detta eftersom en samverkansbro medför dels samtliga produktionsaspekter som för en betongbalkbro, och dels produktionsaspekter för en stålbro. En balkbro i trä

betygsätts även den lägre än motsvarande bro i betong, p.g.a. att en balkbro i trä erfordrar produktion av omkring dubbelt antal stöd, vilket inte kan anses kompensera för den mindre komplicerade lanseringsmetoden. Även problematiken med att trä är ett ovanligt material och att politiska beslut därför kan vara ett problem har gjort att betyget är lägre än övriga balkbroar.

Balkbro i trä betygssätts lägre än samverkansbron, eftersom samverkansbro är en mer utvecklad och beprövad brotyp för aktuell brolängd.

8.5.10 Grundläggning

Vid betygsättning av de kvarstående brokoncepten med hänsyn till grundläggning har stor vikt lagts på hur många stöd respektive koncept kräver och även omfattningen på grundläggningen. Konceptet för bågbro i trä och betong, samt snedkabelbro har fått lågt betyg i detta kriterium då dessa brotyper normalt konstrueras med ett eller ett fåtal stöd och därmed ökar grundläggningens komplexitet och kostnad. Tillgången till underentreprenörer med god kompetens inom detta område kan även vara begränsad¹.

Balkbro i trä får ett något högre betyg då denna konstruktion är lättare i jämförelse med övriga koncept och därmed minskar kraven på grundläggningen. Dock är spännvidderna något kortare och bidrar istället till att fler stöd krävs. Detta innebär att flera grundläggningsarbeten kommer behövas, även om de inte är alltför omfattande.

Grundläggningen för samverkansbro och balkbro i betong betygsätts högt då dessa koncept anses vara jämnt avvägda med hänsyn till antal stöd samt kostnad för grundläggning.

¹ Rasmus Rempling (Forskarassistent, Bygg- och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Chalmers tekniska högskola) möte 18 februari 2014.

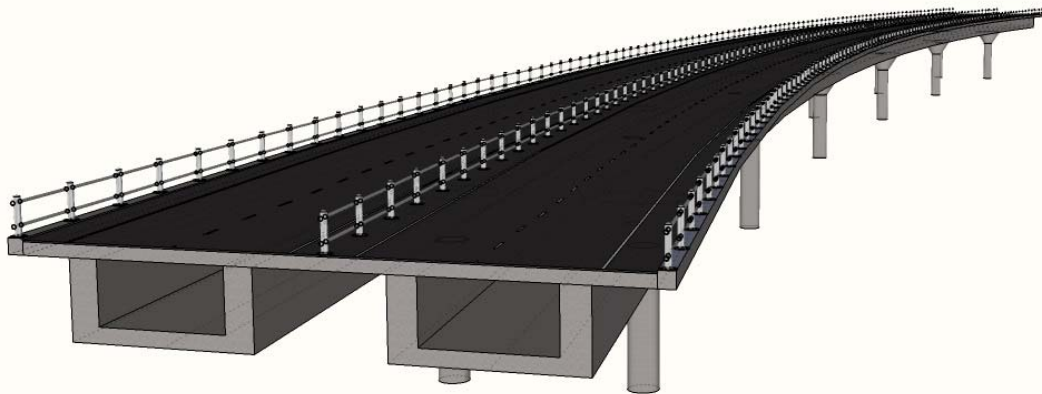
Tabell 3. Slutgiltig urvalsmatris av brokoncept.

Kriterium	Viktning	Snedkabelbro		Balkbro - Trä		Balkbro - betong		Balkbro - samverkan		Bågbro - betong		Bågbro - trä	
Estetik	16%	5	0,8	3	0,48	3	0,48	2	0,32	5	0,8	5	0,8
Trafikkomfort	15%	2	0,3	2	0,3	4	0,6	4	0,6	2	0,3	1	0,15
(Byggtid)	2%	1	0,02	4	0,08	3	0,06	4	0,08	2	0,04	2	0,04
Miljöpåverkan (lokal)	11%	2	0,22	4	0,44	3	0,33	3	0,33	2	0,22	3	0,33
Miljöpåverkan (global)	18%	2	0,36	4	0,72	3	0,54	2	0,36	2	0,36	4	0,72
Innovation	13%	3	0,39	4	0,52	2	0,26	2	0,26	3	0,39	4	0,52
(Byggbkostnad)	7%	2	0,14	3	0,21	4	0,28	3	0,21	2	0,14	2	0,14
Underhållskostnad	4%	1	0,04	2	0,08	4	0,16	3	0,12	2	0,08	1	0,04
Genomförande	9%	1	0,09	2	0,18	3	0,27	3	0,27	1	0,09	1	0,09
Grundläggning	5%	2	0,1	3	0,15	4	0,2	4	0,2	2	0,1	2	0,1
Summa	100%		2,46		3,16		3,18		2,75		2,52		2,93

9 Slutgiltigt brokoncept – Betongbalkbro

Det slutgiltiga brokonceptet för bron över Karlsnäs industriområde blev efter urval 2 en betongbalkbro. I detta kapitel kommer brokonceptet att utvecklas ytterligare där antal pelare och tvärsnittsutformning blir ett avgörande val för vidare preliminära beräkningar av bron. En betongbalkbro kan utformas på många olika sätt men för att minimera materialåtgång bör dels antalet pelare och tvärsnittsutformning optimeras.

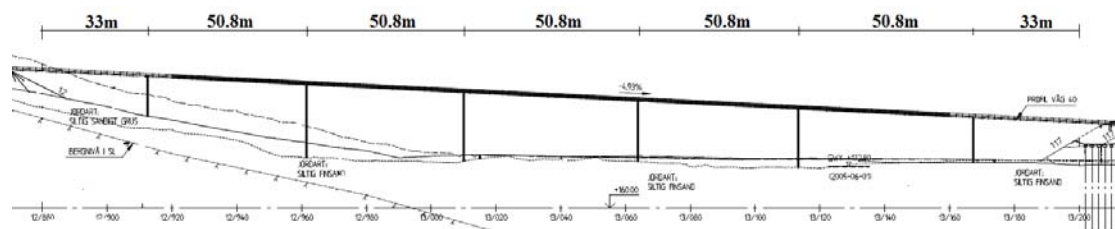
Även beskrivningar av brons detaljutformningar, såsom t.ex. ytavrinningssystem, räcken och grundläggning, kommer översiktligt behandlas men inte beräknas och utformas.



Figur 29. Färdigt brokoncept.

9.1 Antal stöd

Som tidigare nämnt kan en balkbro i betong utformas i spännviddsområdet 15-150 m, beroende på tvärsnittsform, armeringstyp samt det geografiska området. Antal stöd varierar därefter och för detta brokoncept kommer sex stöd att användas, vilket medför en maximal spännvidd på 50,8 m. Dessa spännvidder förutsätter att betongen spännarmeras. För att undvika att balken vid ändstöden böjer upp, ansätts längden av ytterspannet till 65 % av innerspannets längd. Stöden placeras vid sektioner enligt Figur 30.



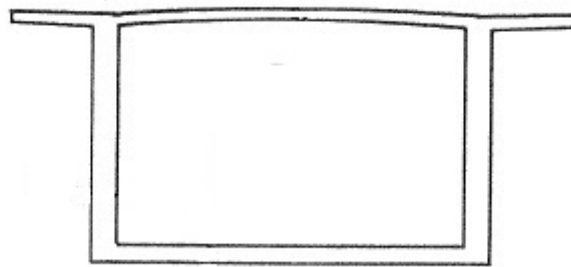
Figur 30. Profiliritning placering av stöd.

Motiveringen till antalet stöd är en kombination av grundläggningsaspekter och konstruktionshöjd. Fler antal stöd medför fler grundläggningar, som ofta är kostsamma och tidskrävande. Färre stöd medför en högre konstruktionshöjd, vilket

kan reducera dess estetiska intryck. Som riktmärke kan konstruktionshöjden ansättas till omkring fem procent av spännvidden¹.

9.2 Tvärsnittsutformning

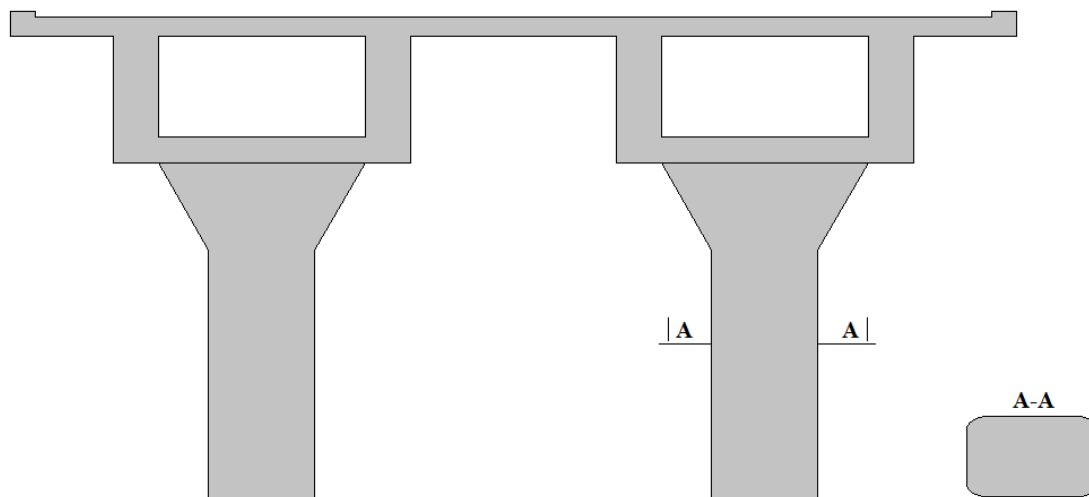
Då denna bro har en maximal spännvidd på 50,8 m samt att den har en viss horisontal krökning kommer den att konstrueras med ett spännarmerat lådtvärsnitt, se Figur 31 för idéskiss av tvärsnittet. Med två separata lådbalkbroar, en för vardera körriktning, ökar brons bredd på grund av att ett säkerhetsavstånd mellan broarna erfordras². I detta fall kommer tvärsnittet att utformas med två lådor på för att minimera totala brobredden. Bottenplattans överyta skall ges en lutning av minst 2 % mot fri kant, se bilaga A1.



Figur 31. Idéskiss på tvärsnitt (Engström, 2014).

9.3 Preliminär utformning av stöd

Pelarnas tvärsnitt är rektangulärt med avrundade hörn och är votade upptill för att distribuera ner lasterna till pelarna, se Figur 32. Vid varje stöd för två pelare ner lasten från varsin låda.



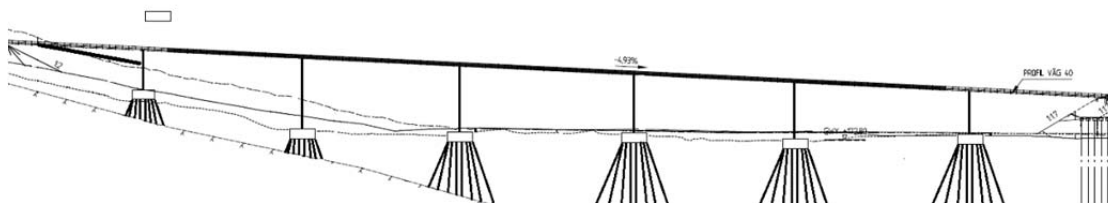
Figur 32. Principskiss på pelare.

¹ Gunnar Jernström (Specialist, Broavdelningen, Inhouse Tech Infra Göteborg AB) föreläsning 31 januari 2014.

² Staffan Lindén (Gruppchef Broteknik, COWI) handledning 28 februari 2014.

9.4 Grundläggning

Enligt den tekniska beskrivningen ska grundläggningen göras med spets- och mantelburna betongpålar och föras ner till fast berg. Pålningen ska utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CCB.121, se bilaga A1. För en principiell skiss över pålarnas placering se Figur 33.



Figur 33. Principskiss på grundläggning.

9.5 Räcken

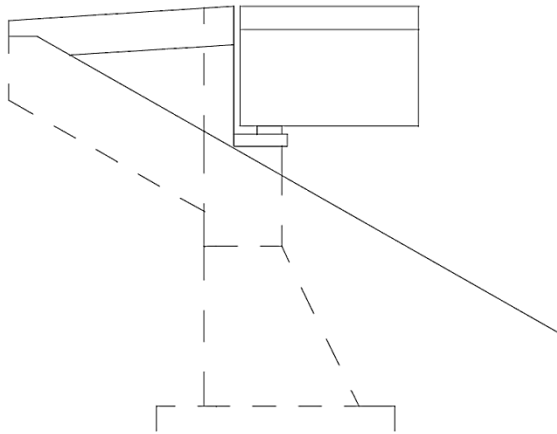
Sidorräckena skruvas fast i brons kantbalk, det är viktigt att skruvarna ej kommer i kontakt med kantbalkens armering för att undvika armeringskorrosion. En bullerskyddsskärm ska även infästas på det norra broräcket enligt den tekniska beskrivningen, se bilaga A1. Räckena ska uppfylla gällande krav enligt SS-EN 1317-2 och även vara CE-märkta. Vidare preliminära beräkningar av broräcken kommer inte att utföras.

9.6 Ytavrinningssystem

Dagvattensystemet ska kunna ta hand om och leda bort det vatten som ansamlas på vägytan. Den 320 m långa bron förses med tio stycken ytavlopp på varje vägbana. Dessa ytavlopp leds till stuprör som sedan leds till anslutna diken. Lådkonstruktionstvärnsnitt med dagvattenledningar inuti måste ha dräneringshål som vattnet leds ifrån till stuprören (Trafikverket, 2011). Bron har tvärfallslutningen -4,93 %, vilket medför en vattenavrinning åt öster, se bilaga A2. Utöver detta förses vägbanan med bombering om 2,5 %.

9.7 Landfäste

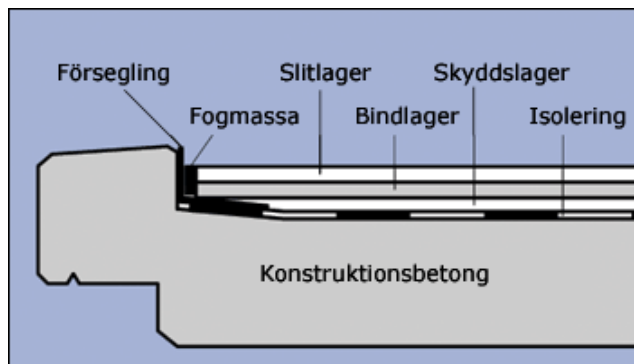
Eftersom bron har en totallängd längre än 70 m erfordras landfästen (Vägverket). Överbyggnaden ska vara fritt upplagd på landfästet för att betongens krympning och andra rörelser i bron ska kunna ske utan att spänningar uppstår, se Figur 34. En ändskärm kommer att behövas för att hålla kvar jordmassorna bakom landfästet. Vidare utformning och beräkning av landfästet och ändskärmen kommer ej utföras.



Figur 34. Principskiss på landfäste till bron (Gustavsson, 2007).

9.8 Fogar

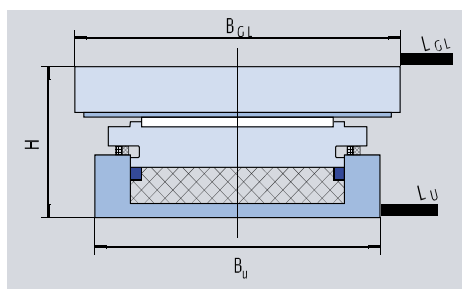
Fogar med fogmassa ska utföras där det förekommer skyddsbetong, asfalt- och betongbeläggningar. Fogmassan placeras längs slitlagret och bindlagret på kantbalkarna samt på de konstruktionsdelar som sticker upp genom gjutasfaltlagret, se Figur 35. För denna bro över Karlsnäs industriområde krävs att fogarna har en bredd på 20mm och djup på 40mm, se bilaga A1, men fogens bredd avgörs även av fogmassans egenskaper. Fogmassan ska kunna ta upp rörelser och belastningar utan att spricka eller lossna från fogkanterna. Den ska även vara stabil mot värme, elastisk vid kyla och binda till de material fogen sammanbinder (Vägverket, 2004).



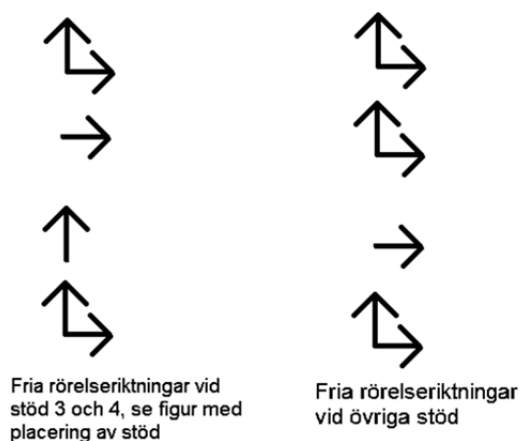
Figur 35. Fogmassans placering längs kantbalkarna (Vägverket, 2010).

9.9 Utformning av lager

Ett lager syftar till att föra ner laster från överbyggnad till underbyggnad. Vid utformning av dessa måste flertalet aspekter beaktas såsom belastning, inspektionsmöjligheter samt brons funktionssätt. Enligt den tekniska beskrivningen ska bron förses med CE-märkta topflager, se Figur 36. Preliminärt kommer varje stöd att förses med fyra stycken lager, två för vardera pelare. För lagrens placering och rörelseriktningar se Figur 37. Av figuren framgår att stöd 3 och 4 kommer att vara låsta i en riktning.



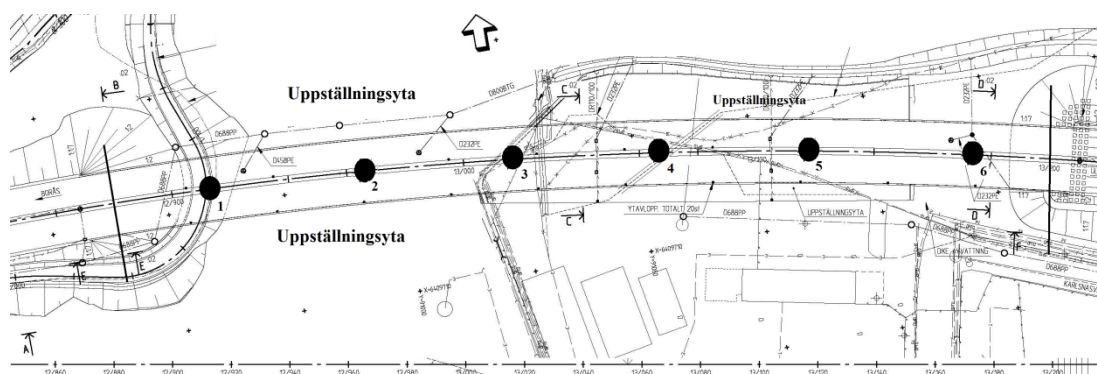
Figur 36. Allsidigt rörligt topflager (Maurer Söhne).



Figur 37. Utplacering av lager, visar vilka riktningar som lagren tillåter rörelser.

9.10 Produktion av bro

Det inledande skedet i produktionsplanen är att möjliggöra infrastruktur och arbetsytor på området. Figur 38 illustrerar i plan de sektioner där stöd kommer att placeras. De huvudsakliga uppställningsytorna för material och maskiner placeras vid sektion 12/960 och åtkomst till dessa möjliggörs dels med en temporär väg från sektion 12/860, och dels med den befintliga Karlsnäsvägen vid sektion 13/180. Mindre uppställningsytor placeras även norr om farbanan vid sektion 13/100 för att åstadkomma minimal störning på industriområdet. Befintliga el- och vattenledningar vid stöd 3 och 4 leds om.

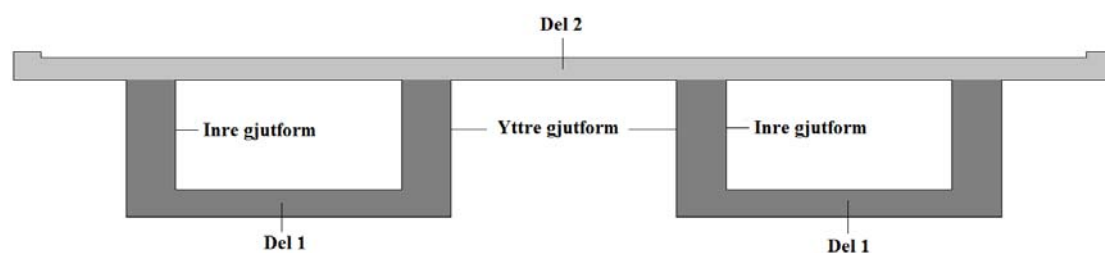


Figur 38. Placering av stöd.

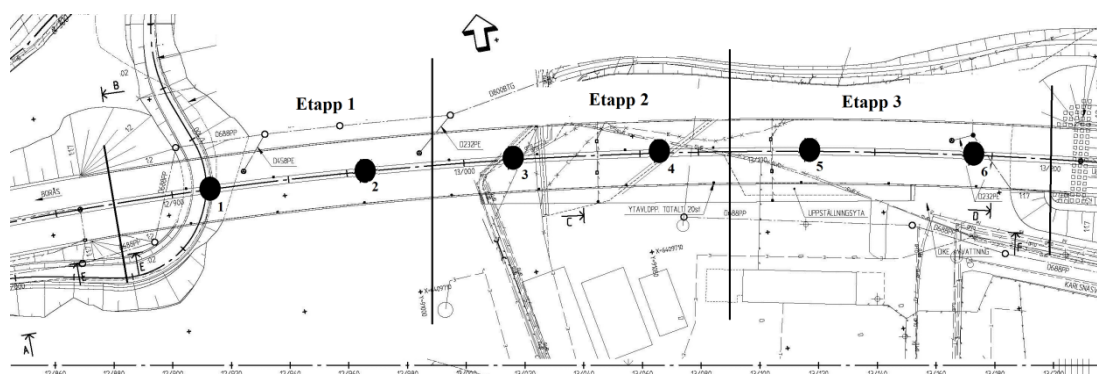
Samtliga betongelement i konstruktionen platsgjuts, vilket innebär att uppställningsytorna kommer främst att användas till att bygga ställningar, förvaring av material, baracker samt maskiner.

Produktionsordningen är att arbetet inleds med grundläggning för stöden, vilken skall ske på spets- och mantelburna betongpålar. Enligt den tekniska beskrivningen skall den huvudsakliga bärförmågan erhållas längs manteln av pålarna. På dessa grundläggningar gjuts stöden (fundament, pelare och landfästen) i träformar. Samtliga stöd gjuts färdigt innan arbetet med överbyggnaden inleds.

Installationen för överbyggnaden sker genom att, i farbanans längsriktning, konstruera ställningar från marken som bär upp formen överbyggnaden gjuts i. För att gjuta ett lådtvärsnitt erfordras en yttre och en inre form, se Figur 39, och gjutningen delas upp i två delar, där lådorna gjuts först. Efter en viss härdningstid av lådorna gjuts plattan. Gjutprocessen är även uppdelad i tre etapper om cirka 100 m enligt Figur 40, och samtliga etapper färdigställs helt innan nästa etapp inleds.



Figur 39. Principskiss över inre och yttre gjutform.



Figur 40. Översiktsritning över hur gjutprocessen är indelad i olika etapper och delar.

Innan gjutningen inleds placeras erforderlig mängd armering samt kabelrör, som möjliggör efterspänning av konstruktionen, in i överbyggnaden. Principiell bild över placering av spännarmering i en kontinuerlig balk visas i Figur 41. Som Figuren visar syftar spännarmeringen till att reducera fält- och stödmoment genom att applicera ett moment i motsatt riktning. Vid efterspänning av en konstruktion föreligger vissa risker med sprickbildning i dragen ovankant, vilket måste beaktas vid dimensionering och utformning av spännarmering.



Figur 41. Principskiss över placering av spännarmering (Engström, 2014).

Då överbyggnaden är färdigställd påbörjas efterarbete med montage av bland annat räcken, ytavrinningssystem och eventuellt belysning. Även beläggningsarbete för

körbanan kan påbörjas. När detta arbete är färdigställt inleds efterarbete, vilket syftar till att området som temporärt påverkats av byggnationen ska återställas.

9.11 Underhållsplan

Utifrån underhållshistorik från Källösundsbron, som är en lådbalkbro i betong uppförd 1960, kan en preliminär underhållsplan för bron över Karlsnäs industriområde upprättas. Uppenbara skillnader i förutsättningar mellan referensbro och aktuell bro, vilka kan påverka underhållsplanen, är att Källösundsbron sträcker sig över vatten och är ej en motorvägsbro. Med detta i åtanke följer nedan en uppskattad underhållsplan för bron över Karlsnäs industriområde under dess livslängd (80 år) (Lundh, 2011).

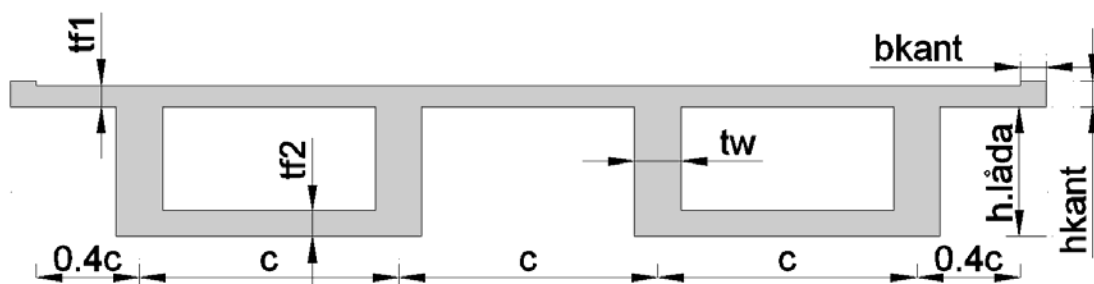
- År 30: Byte av lager, tätskikt, beläggning och övergångskonstruktion.
- År 50: Byte av kantbalkar och räcken. Betongreparationer av pelare och låda.
- År 60: Byte av lager, tätskikt, beläggning och övergångskonstruktion.

10 Preliminär beräkning

Följande kapitel behandlar den preliminära beräkningen av bron. Bron beräknas preliminärt både i längsled och tvärlängd med hänsyn till tvärkraft och moment, vilka erhålls från lastkombinering enligt Eurocode 1. Brons betong proportioneras utifrån ställda krav från tekniska beskrivningen och minimikrav från rådande exponeringsklasser.

10.1 Preliminärt tvärsnitt

Tvärsnittets höjd bestäms efter dels minimikrav på 1,9 m höjd inuti lådan och dels en riktlinje på minst 5 % av spännvidden¹. Tjockleken på lådorna och körbanan bestämdes dels efter en studie av likartade broar och dels genom iteration. Kantbalkarna erhöll minimimåtten angivna i bilaga A1. Tvärsnittets dimensioner finns angivna i bilaga B.1. Ett förenklingsantagande är att lådorna och körbanan antas raka.



Figur 42. Preliminärt tvärsnitt för bron.

10.2 Exponeringsklasser för bron

Exponeringsklasser har hämtats från SS-EN 1992-1-1:2005. Se Figur 43 för var exponeringsklassernas angriper.

Pelare: XC4, XF1

Pelaren utsätts för regn vilket leder till cykliskt uppfuktning och torkning. Detta är gynnsamt för karbonatisering av betongen. Den vertikala ytan är, som tidigare nämnt, utsatt för regn och under vintern kan vattnet i betongens porer frysa för att på så sätt orsaka betongsprängning.

Låda: XC4, XF1

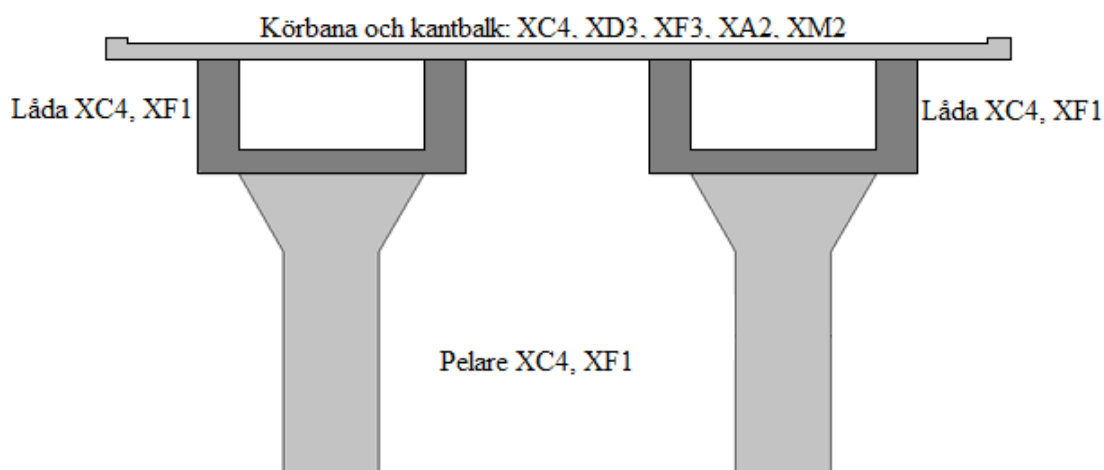
Balkarna kommer från sidan att utsättas för regn vilket leder till cykliskt uppfuktning och torkning. Detta är gynnsamt för karbonatisering av betongen. Även balkarna är, precis som pelarna, utsatta för frostangrepp.

Körbana och kantbalk: XC4, XD3, XF3, XA2, XM2

Ytorna utsätts för regn och blir alltså cykliskt blöta och torra. Tillsammans med koldioxidutsläpp från fordon leder detta till karbonatisering av betongen. Vägbanan och kantbalkarna är utsatta för klorider från vägsalt vilket leder till kloridinträngning. Den horisontella ytan är utsatt för regn och frysning som skapar ett frostangrepp på

¹ Gunnar Jernström (Specialist, Broavdelningen, Inhouse Tech Infra Göteborg AB) föreläsning 31 januari 2014.

betongen. Det finns en risk för läckage från transportfordon som kan orsaka en kemisk attack. Även hård nötning från trafik förutsätts på dessa betongytor.



Figur 43. Exponeringsklasser för bron.

10.3 Betongproportionering

Från SS-137010 erhålls minimikraven för betongegenskaperna med hänsyn till exponeringsklasserna från kapitel 10.2. Se Tabell 4 och 5 för minimikrav för överbyggnad och pelare. Den dimensionerande hållfastheten beräknas till C40/50, se bilaga B.2. De dimensionerande betongegenskaperna för överbyggnaden och pelarna kan avläsas i Tabell 6.

Tabell 4. Minimikrav för betongegenskaper för överbyggnad.

	XC4	XD3	XF3	XA2
Cementtyp	CEM II/A-D	CEM II/A-D	CEM II/A-D	CEM II/A-D
Minsta hållfasthetsklass	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37
Max vct	0,5	0,45	0,5	0,5
Max sprickbredd [mm]	0,3	0,2	-	-
Minsta täckskikt [mm]	20	40	-	-

Tabell 5. Minimikrav för betongegenskaper för pelare.

	XC4	XF1
Cementtyp	CEM II/A-D	CEM II/A-D
Minsta hållfasthetsklass	C30/37	C30/37
Max vct	0,5	0,55
Max sprickbredd [mm]	0,3	-
Minsta täckskikt [mm]	20	-

Tabell 6. Dimensionerande minimikrav för betonegenskaper för överbyggnad och pelare.

	Överbyggnad	Pelare
Cementtyp	CEM II/A-D	CEM II/A-D
Minsta hållfasthetsklass	C40/50	C40/50
Max vct	0,45	0,5
Max sprickbredd [mm]	0,2	0,3
Minsta täckskikt [mm]	40	20

10.3.1 Dimensionerande hållfasthet

Enligt Tabell 4 är XD3 den dimensionerande exponeringsklassen. Vct-värdet är 0,45, vilket leder till en medeltryckhållfasthet, $f_{cm,cube}$ till 55 MPa (Domone & Illston, 2010). Den uppmätta medeltryckhållfastheten beror på olika provtagningar som publiceras i olika diagram (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013), det är därför svårt att avgöra ett exakt värde. Värdet som fås ur diagrammen är ett värde testat på kuber. Medelhållfastheten för ett kubprov är 1,2 gånger större än medelhållfastheten för cylinderprover.

Från Tabell B.2.1 (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013) avläses den standardiserade hållfasthetsklasserna enligt EC 2 till C40/50 eftersom f_{cm} för cylinder beräknades till 45,8 MPa.

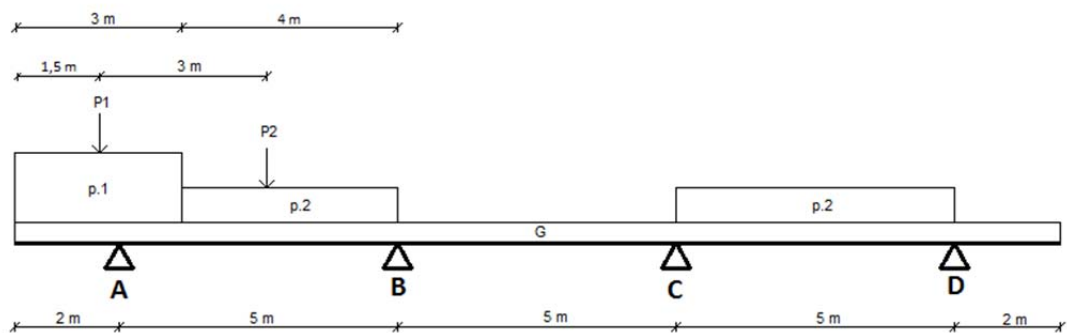
10.4 Lastfall

Lastfallen tas fram och beräknas baserat på Eurocode 1: Laster på bärverk - Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2. Bron analyseras i tvärled och längsled med avseende på tvärkraft och moment från dimensionerande lastfall.

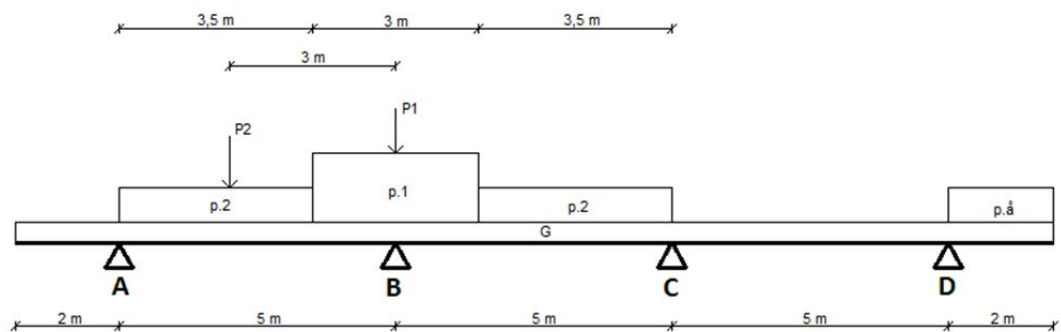
10.4.1 Tvärled – brottgränstillstånd

För beräkningar i tvärled antas broplattan fungera som en fritt upplagd balk på lådliven. Detta innebär att liven inte antas fast inspända i broplattan, vilket de i verkligheten till viss del är. Egentyngden för tvärsnittet blir således broplattan, kantbalkar, kanträcken och asfaltbeläggning. Lastfältens och punktlasternas storheter tillsammans med lastreduktionstalen och partialkoefficienterna erhålls från SS-EN 1991-2, se bilaga B.3.2.

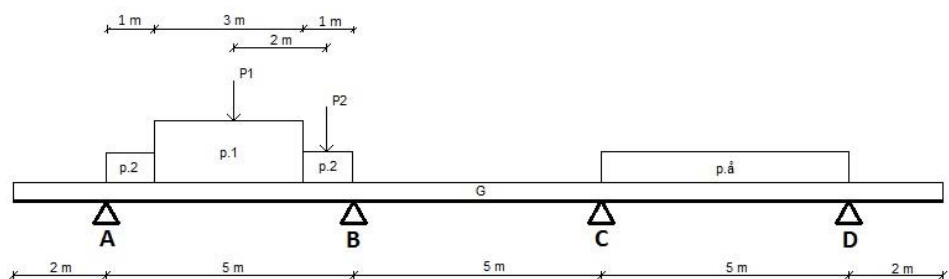
Efter att de dimensionerande lastfallen fastställts, se Figur 44-47, beräknas lastkombinationer enligt formlerna 6.10a och 6.10b för brottgränstillstånd. Därefter beräknas filfaktorer för respektive stöd från punktlaster och utbredda laster. Stödreaktionerna kan då beräknas varefter balken snittas för att erhålla moment- och tvärkraftsdiagram för de olika lastfallen, se bilaga B.3.



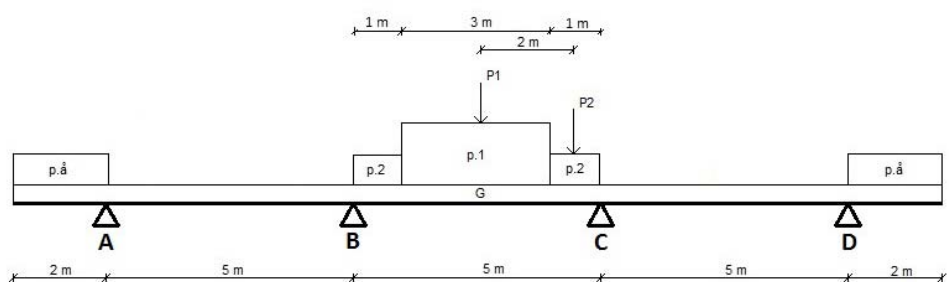
Figur 44. Lastfall 1, maximalt stödmoment för stöd A.



Figur 45. Lastfall 2, maximalt stödmoment för stöd B.



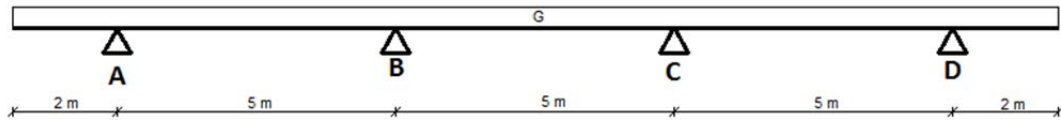
Figur 46. Lastfall 3, maximalt fältmoment för fack AB.



Figur 47. Lastfall 4, maximalt fältmoment för fack BC.

10.4.2 Tvärled – bruksgränstillstånd

För lastkombinering i bruksgränstillstånd används formel 6.16b från SS-EN 1990. Lastreduktionsstalet, ψ_2 , för punktlaster och variabelaster sätts till noll vilket leder till att endast egentygden påverkar lastkombinationen, se Figur 48. Efter att stödreaktioner erhållits från lasten snittas balken för att erhålla moment- och tvärkraftsdiagram, se bilaga B.3.

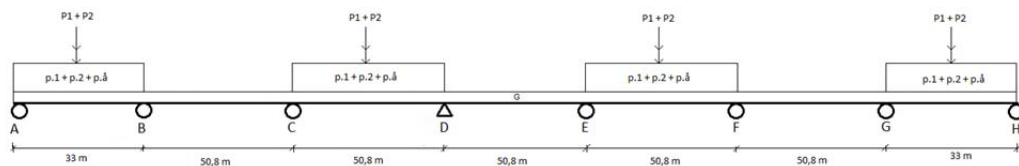


Figur 48. Lastfall 5, endast egentygden påverkar lastfallskombinationen för långtidslast, d.v.s. bruksgränstillstånd.

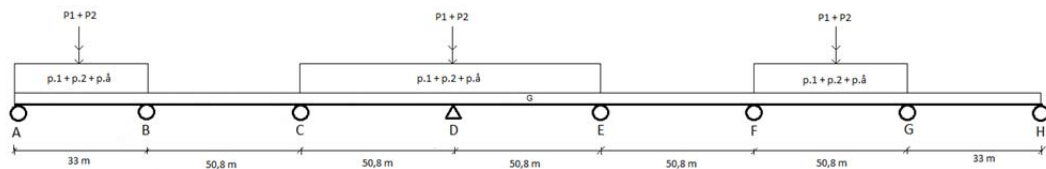
10.4.3 Längsled – brottgränstillstånd

Även i längsledsberäkningarna antas broplattan fungera som en fritt upplagd balk på stöd, dvs pelarna. Egentygden för tvärsnittet blir det totala tvärsnittet, till skillnad från tvärledsberäkningarna. Lastfältens och punktlasternas storheter tillsammans med lastreduktionsstalen och partialkoefficienterna erhålls från SS-EN 1991-2, se bilaga B.3.2.

Efter att de dimensionerande lastfallen fastställts, se Figur 49 och 50, beräknas moment- och tvärkraft med hjälp av CALFEM i Matlab, se bilaga B.4.7. Programmet arbetar med att dela upp systemet i strukturer för att kunna analysera kraftpåverkan på de olika elementen.



Figur 49. Lastfall 1, maximalt fältmoment.



Figur 50. Lastfall 2, maximalt stödmoment.

10.4.4 Längsled – bruksgränstillstånd

För lastkombinering i bruksgränstillstånd används formel 6.16b från SS-EN 1990. Lastreduktionsstalet, ψ_2 , för punktlaster och variabelaster sätts till noll vilket leder till att endast egentyngden påverkar lastkombinationen, se Figur 51. Moment och tvärkraftsdiagram beräknas med hjälp av CALFEM i Matlab, se bilaga B.4.7.



Figur 51. Lastfall 3, endast egentyngden påverkar lastfallskombinationen för långtidslast, d.v.s. bruksgränstillstånd.

10.5 Beräkningar i tvärled

I detta kapitel beräknas betong och armering i tvärled. Avkortning, utformning och dragkraftsbehov för armering beräknas. Beräkningarna i tvärled genomförs på ett tvärsnitt med 1 m bredd i längsled. Beräkningsgången som använts är den som beskrivs i Bärande Konstruktioner – Del 1 & 2. Samtliga värden och beräkningsgång återfinns i bilaga B.3.

10.5.1 Brottgränstillstånd

Med hjälp av influenslinjer bestäms filfaktorer för respektive lastfall, se bilaga B.3.6.1. Filfaktorerna används i sin tur för beräkning av stödreaktioner baserat på formel 6.10a och 6.10b ur SS-EN 1990, där det mest ogynnsamma fallet blir dimensionerande. I detta fall är 6.10b dimensionerande. Vid beräkning av moment och tvärkrafter i broplatta kan punktlaster fördelas ut i plattan (Trafikverket, 2011). Vid beräkning av moment fördelas punktlaster över ett avstånd på 1,2 m och vid tvärkraftsberäkning ett avstånd $b_{ef}=2,839$ m. Beräkningarna redovisas i bilaga B.3.9.

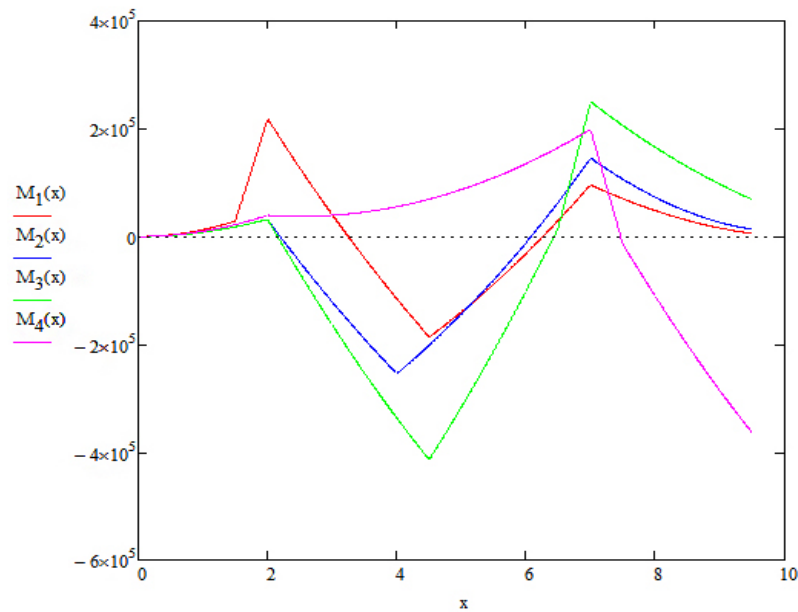
När lastfall och tillhörande reaktionskrafter är beräknade kan respektive lastfalls moment- och tvärkraftsdiagram erhållas, se Figur 52 och 53.

Tabell 7. Reaktionskrafter för stöd A och B. Punktlaster fördelade på 1,2 m.

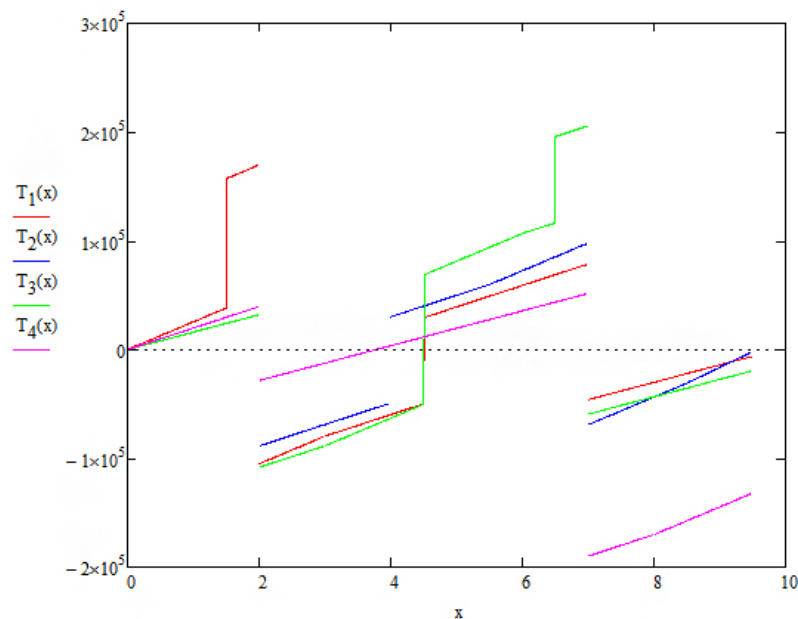
Stöd A		Stöd B	
Lastfall	Reaktionskraft	Lastfall	Reaktionskraft
1	580,073 kN	1	192,279 kN
2	195,03 kN	2	592,263 kN
3	237,659 kN	3	565,349 kN
4	47,635 kN	4	504,787 kN

Tabell 8. Reaktionskrafter för stöd A och B. Punktlaster fördelade på 2,839 m.

Stöd A		Stöd B	
Lastfall	Reaktionskraft	Lastfall	Reaktionskraft
1	308,07 kN	1	130,514 kN
2	128,783 kN	2	319,286 kN
3	150,953 kN	3	297,828 kN
4	65,756 kN	4	270,194 kN



Figur 52. Momentkurvor i tvärled för lastfall i brottgränstillstånd, stöd A vid 2 m och stöd B vid 7 m.



Figur 53. Tvärkraftsdiagram i tvärled för lastfall i brottgränstillstånd, stöd A vid 2 m och stöd B vid 7 m.

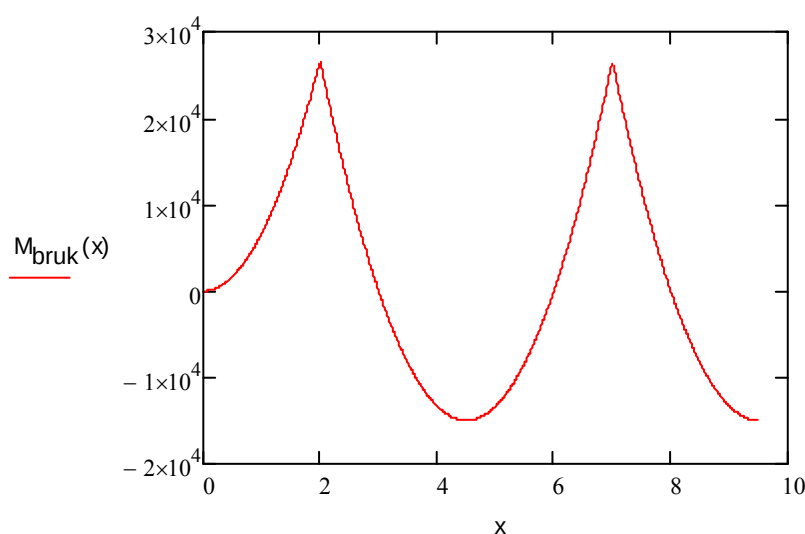
De maximala momenten vid stöd och fält utnyttjas för att bestämma erforderlig mängd armering för att uppnå tillräcklig momentkapacitet i tvärsnittet. Vidare anpassas armeringens längd efter det dragkraftsbehov som uppstår. Se bilaga B.3.9.3-B.3.9.6 för beräkningar.

Vid beräkning av tvärkraftskapaciteten bestäms den största tvärkraften som verkar på tvärsnittet och kontrolleras mot kapaciteten för livtryckbrott utan tvärkraftsarmering. Tvärkraften som blir dimensionerande kan hämtas ur Figur 53 och blir $V_{EDdim}=205,6$ kN. Kapaciteten för livtryckbrott utan tvärkraftsarmering beräknas till $V_{rc}=2231$ kN. Se bilaga B.3.9.8.

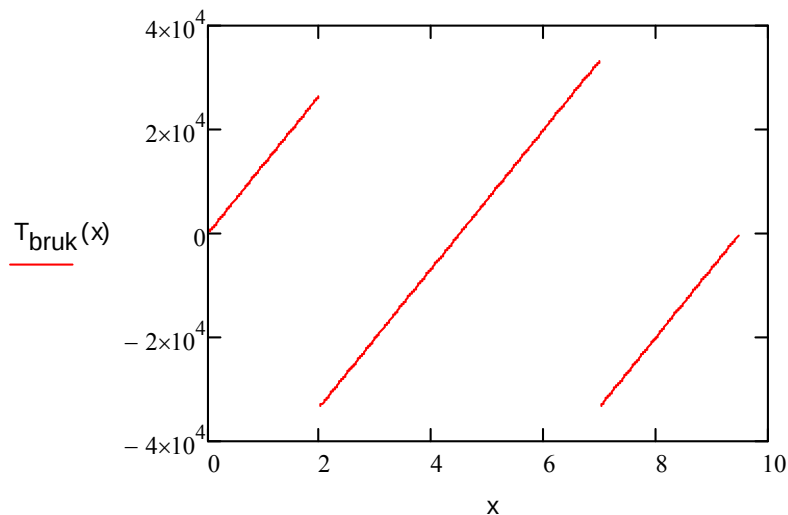
Till sist genomförs en kontroll av tvärsnittets kapacitet för skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering. Kontrollen visar att tvärkraftsarmering inte behövs i broplattan. Dock utökas antalet armeringsstänger över stöd B med två stänger, se bilaga B.3.9.8. Se bilaga C.1 för ritningar över armeringsinläggning.

10.5.2 Bruksgränstillstånd

Vid beräkning av bruksgränstillstånd sätts lastreduktionstalet för långtidslast, ψ_2 , till noll. Enligt formel 6.16b erhålls lastfallskombinationen $\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_2 * Q_k$. Detta medför att endast egentyngden påverkar långtidsmomentet. För bruksgränstillstånd kontrolleras nedböjning, betongspänning, stålspänning och sprickbredd för broplattan. Beräkningarna redovisas i bilaga B.3.10.



Figur 54. Momentdiagram för lastfall i bruksgränstillstånd.



Figur 55. Tvärkraftsdiagram för lastfall i bruksgränstillstånd.

Sprickbredd och Spänningar

Betongen i tvärsnittet spricker på de ställen i tvärled där de dimensionerande momenten överstiger det kritiska momentet. I detta fall sker uppsprickning i hela tvärsnittet och Stadium II kan antas, se bilaga B.3.10.1. Stadium II innebär även att betongen och armeringen har elastisk respons samt att inverkan av dragen betong under neutrala lagret försummas. Ett ekvivalent betongtvärsnitt införs därmed. Tvärsnittskonstanterna för ekvivalenta betongtvärsnitt beräknas genom antagandet att betongtvärsnittets tyngdpunkt sammanfaller med det ekvivalenta betongtvärsnittets tyngdpunkt, vid ren böjning. Tryckzonshöjden kan beräknas med hjälp av tyngdpunktsekvationen för rektangulärt tvärsnitt. Arean och tröghetsmomentet beräknas även de med avseende på det ekvivalenta tvärsnittets tyngdpunkt, se bilaga B.3.10.1.

Vid långtidsrespons inverkar krympning och krypning. Betongens krypning beaktas vid beräkning av tvärsnittskonstanter genom att elasticitetsmodulen för betong ersätts med en effektiv elasticitetsmodul. Vid beräkning av konstanterna används alltså faktorn α_{ef} , vilket beror på kryptalet $\varphi(\infty, t_0)$.

För att kontrollera sprickbredden för tvärsnittet beräknas betong- och stålspänningarna i de kritiska områdena, alltså i stöd A, stöd B, fält 1 och fält 2. Betongspänningarna beror bland annat på krympkraften, F_{cs} , som uppkommer där armeringen förhindrar krypning i betongen. Inverkan av krypning beskrivs i krypmåttet, ϵ_{cs} .

Betongspänningarna för ett böjsprucket tvärsnitt beräknas enligt Naviers formel, där ett böjande långtidsmoment påverkar. Då kan de slutliga betongspänningarna beräknas med hänsyn till krypning och krypning. Kontroll av betongspänningen sker vid överkant av tryckzonen i fält, respektive underkant i stöd. Spänningen ska vara mindre än $0,45 \cdot f_{yk}$, vilket stämmer utmed brons fyra valda punkter.

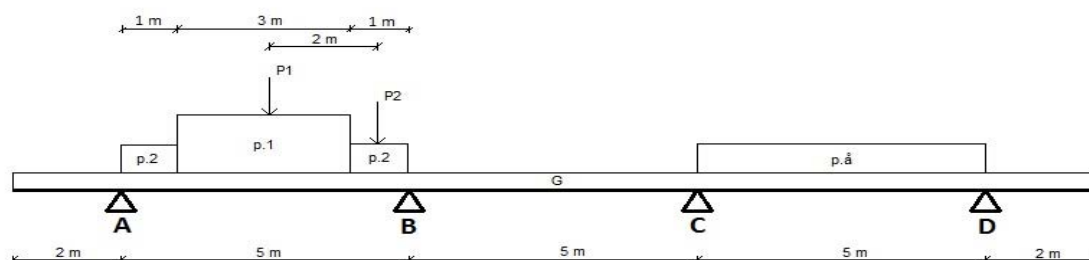
Stålspänningarna beräknas i dragarmeringen, därför bestäms z till den nivån där armeringen är inlagd. Kontroll av stålspänningen innebär att den ska vara mindre än $0,8 \cdot f_{yd}$, vilket även detta stämmer för broplattan.

Sprickbredden, som beräknas enligt Eurocode 2, är skillnaden mellan stålets och betongens medeltöjning multiplicerat med karakteristiska sprickavståndet. Största sprickbredden uppkom till 0,024 mm i stöd B. Denna kontrolleras sedan med den

tillåtna sprickbredden. Tillåtna sprickbredden beror av exponeringsklasserna ifrån Tabell 6 och är 0,2 mm, således utgör sprickbredden ingen risk, se bilaga B.3.10.2.

Nedböjning

Kontroller har utförts på tre olika lastfall som är kritiska för plattan och där nedböjningen förväntas bli störst. Därmed har lastfall 1,3 och 4 studerats. Lasterna har placerats i det värsta ogynnsamma lägen för respektive fall. Ekvivalent area och yttröghetsmoment varierar längs med plattan då armeringsmängden varierar. För att modellera har dessa antagits vara homogena över hela plattan för respektive lastfall. Beräkningar visar att lastfall 3, Figur 56, är dimensionerande och kommande sammanfattning berör endast det fallet. Se bilaga B.3.10.4 för utförliga beräkningar på samtliga lastfall.



Figur 56. Lastfall 3 maximal last i yttre fält (fack AB).

För kontroll har beräkningar gjorts med hjälp av beräkningsprogrammet CALFEM i Matlab. Uppdelningen har utförts med hjälp av beräkningsmodell enligt Figur 57, där noder placerats vid kantbalk, stöd, utbredda laster och punktlaster.

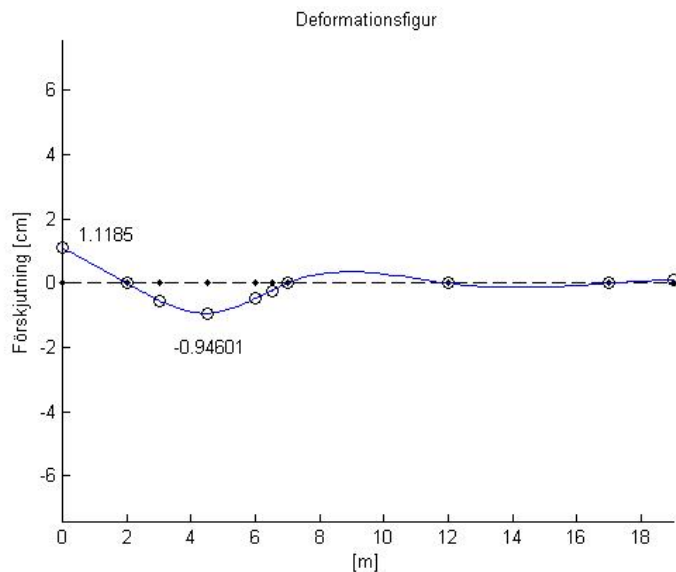


Figur 57. Beräkningsmodell med frihetsgrader och element.

Upplagsvillkoren har förenklats vid beräkning där stöden är låsta i horisontell och vertikal riktning. I verkliga fallet är betongglådan ingjuten i plattan och kan ses som 80 % fast inspänd¹ och gör den därmed betydligt styvare än beräkningsmodellen.

Resultatet på deformationer enligt Figur 58 med maximal uppböjning på konsol med 1,12 cm och i fält på 0,95 cm. Resultatet från beräkningar visar att uppböjningen på konsolen kommer överskrida angivna krav som enligt TRVK Bro 11 är 0,5 cm. I fälten är kravet $L/400$ som ger en tillåten nedböjning på 1,25 cm och ligger därmed inom tillåtna krav.

¹ Thomas Darholm (COWI) föreläsning 29 april 2014.



Figur 58. Deformationsfigur med maximala förskjutningar vid konsol och fält.

Då beräkningsmodellen är konstruerad med leder och inte fasta inspänningar blir den påtagligt vekare än verkliga fallet. Deformationerna anses därmed acceptabla även om de överskrider kravet på konsolen.

10.6 Beräkningar i längsled

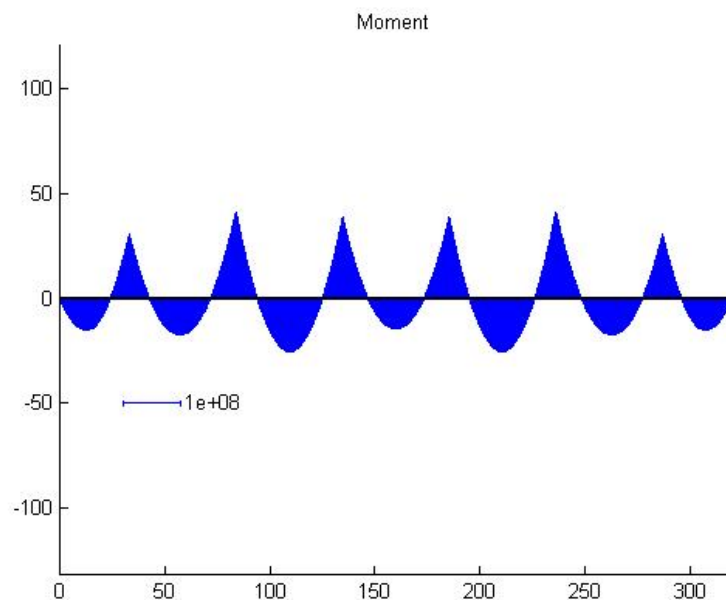
I detta kapitel beräknas betong, armering och spännarmering i längsled. Beräkningsgången som använts är den som beskrivs i Bärande Konstruktioner – Del 1 & 2. Beräkningsgången för längslebsberäkningar redogörs för bilaga B.4.

10.6.1 Brottgränstillstånd

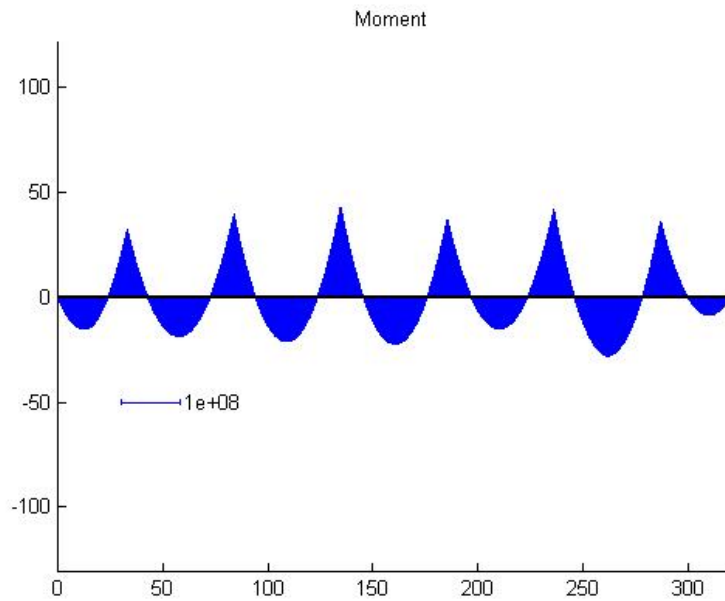
I brottgränstillstånd har två lastfall tagits fram, se Figur 49-50, för att skapa ett maximalt fältmoment samt ett maximalt stödmoment. De största momenten beräknades till 100,437 MNm och -154,55 MNm för fält respektive stöd. Den dimensionerande tvärkraften bestäms till 4,7 MN.

Tabell 9. Reaktionskrafter för alla lastfall och stöd i längsled.

	Lastfall Bruk	Lastfall 1	Lastfall 2	Max
Stöd A				
Höger	-5200000	-7014000	-6919000	7014000
Stöd B				
Vänster	11810000	13810000	13910000	13910000
Höger	-13370000	-13110000	-13370000	13370000
Stöd C				
Vänster	14360000	14630000	14360000	14630000
Höger	-14010000	-16780000	-15650000	16780000
Stöd D				
Vänster	13720000	16370000	16140000	16370000
Höger	-13880000	-13880000	-16340000	16340000
Stöd E				
Vänster	13850000	13850000	15450000	15450000
Höger	-13750000	-16390000	-13550000	16390000
Stöd F				
Vänster	13980000	16760000	14180000	16760000
Höger	-14390000	-14660000	-16970000	16970000
Stöd G				
Vänster	13340000	13070000	16190000	16190000
Höger	-11830000	-13820000	-12460000	13820000
Stöd H				
Vänster	5180000	7003000	4558000	7003000



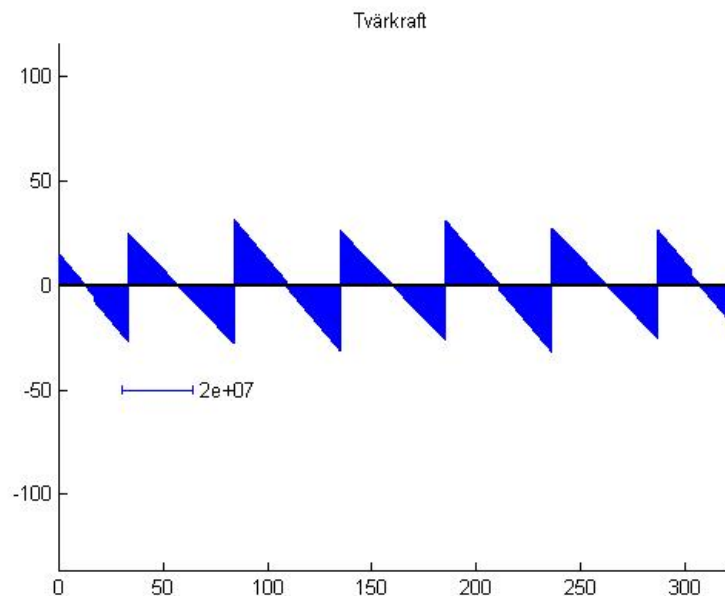
Figur 59. Momentkurva för lastfall 1, brottgränstillstånd i längsled.



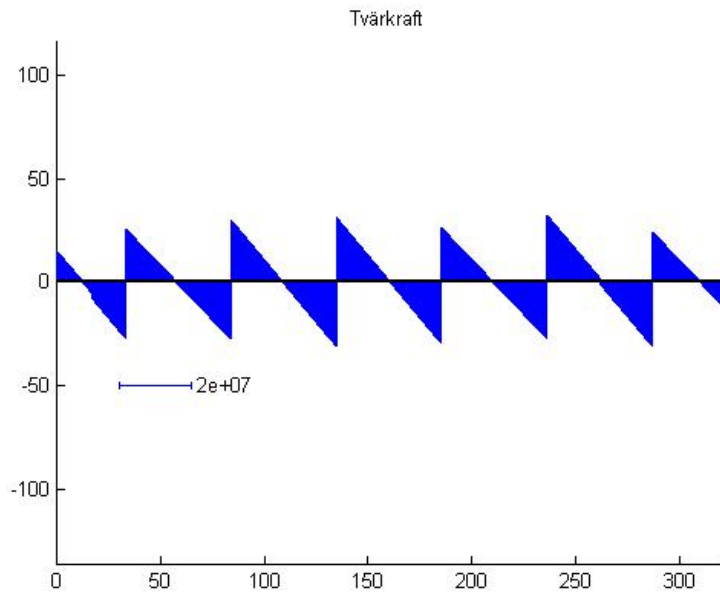
Figur 60. Momentkurva för lastfall 2, brottgränstillstånd i längsled.

Dessa moment används vid framtagning av spännkablarnas antal, diameter och även spännkraften. Spännkraften i kablarna anpassas efter betongens böjdraghållfasthet, $f_{tcm,fl}$ för att minimera sprickbildning orsakad av kablarnas motböjande effekt på betongen, se bilaga B.4.9.1.

Momentkapaciteten, M_{Rd} , för tvärsnittet beräknas till 243,485 MNm med enbart spännkablar. Därför placeras endast minimiarmering i tvärsnittet. Detta för att undvika ett sprött brott (Al-Emrami, Engström, Johansson, & Johansson, 2013). Se bilaga B.4.9.2 för beräkning av minimiarmering.



Figur 61. Tvärkraftsdiagram för lastfall 1, brottgränstillstånd i längsled.

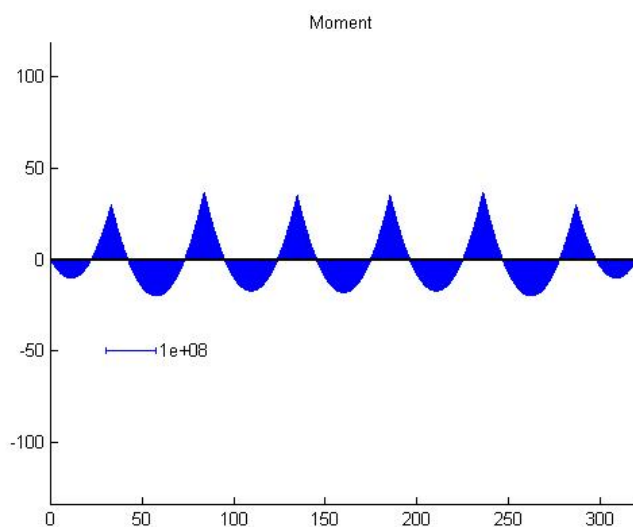


Figur 62. Tvärkraftsdiagram för lastfall 2, brottgränstillstånd i längsled.

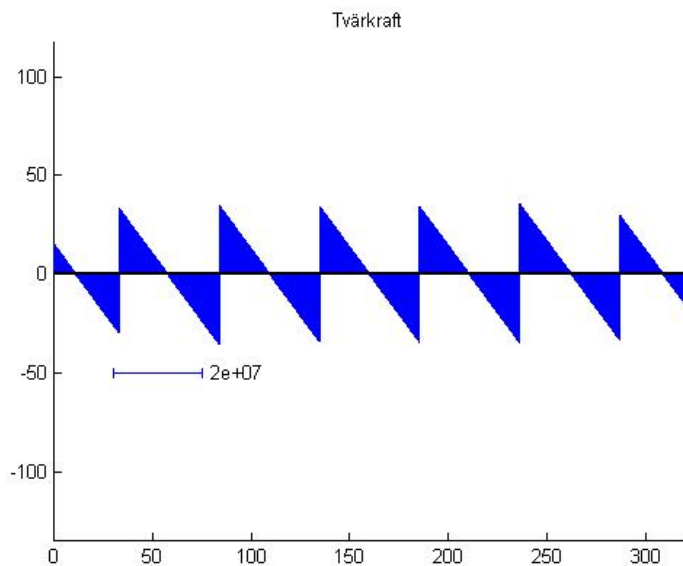
För kontroll av tvärkraftskapaciteten genomförs först kontroll av livtryckbrott utan tvärkraftsarmering. Kapaciteten för livtryckbrott beräknas till 16,2 MN och är således tillräcklig. Kapaciteten för skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering beräknas till 0,8 MN, vilket medför att tvärkraftsarmering erfordras. Se bilaga B.4.9.4 för fullständig beräkning, samt bilaga C.1 (ritning 04-05) för placering av tvärkraftsarmering.

10.6.2 Bruksgränstillstånd

Vid beräkning i bruksgränstillstånd sätts lastreduktionstalet för långtidslast, ψ_2 , till noll. Enligt formel 6.16b i Eurocode erhålls lastfallskombinationen $\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_2 \cdot Q_k$. Alltså påverkar endast egentyngheden långtidsmomentet. För bruksgränstillstånd kontrolleras betongspänning och stålspänning för broplattan vid val av mängd spännarmering, se bilaga B.4.9. Vidare kontrolleras även sprickbredd i bilaga B.4.10.



Figur 63. Momentkurva för lastfall bruk, bruksgränstillstånd i längsled.



Figur 64. Tvärkraftsdiagram för lastfall bruk, bruksgränstillstånd i längsled.

Temperaturutvidgning

Temperaturutvidgningen erhöles till 0,1 m genom att anta högsta och lägsta temperatur för sommar respektive vinter. Detta ställer sedan krav på övergångskonstruktionens tolerans för rörelse i längsled.

Sprickbredd och Spänningar

I bilaga B.4 beräknas spännarmeringens kraft sådan att inga sprickor uppkommer i längsled. Kraften väljs också sådan att betongens tryckhållfasthet ej överskrids. Spännarmeringens stålspänning väljs även den inom tillåtet intervall. Dragarmeringen kommer inte att bära någon last så dess spänning behöver ej kontrolleras.

Nedböjning

Nedböjningen i längsled behandlas inte fullständigt i beräkningsbilagan. I bilaga B.4.7 redovisas Matlab-filer där brons nedböjning i längsled utan hänsyn till spännarmering kan erhållas. En möjlig approximation av spännarmeringens bidragande moment är att en linjär utbredning av spännkablarna antas och en linjär funktion av excentriciteten kan erhållas. Spännkablarnas moment fås av den konstanta spännkraften i kablarna multiplicerat med excentriciteten. Detta moment dras sedan ifrån det effektiva momentet i momentkurvan. Vilket leder till en reducering av momentet och en minskad nedböjning.

10.7 Ritningar

Förslagsritningar för överbyggnaden finns återgivna i bilaga C.1.

10.8 Återstående beräkningar

Beräkningarna är preliminära vilket betyder att flera moment återstår. Följande avsnitt tar upp de beräkningar som saknas för att kunna göra ett slutgiltigt koncept.

Brons krökningsradie har inte tagits hänsyn till vid beräkningar. Den preliminära dimensioneringen är alltså gjorda på en helt rak bro.

Inga horisontella krafter som bromslast, vindlast och centrifugalkraft har tagits hänsyn till i beräkningarna. Dessa skulle kunna ge upphov till vridning i tvärsnittet och måste även tas hänsyn till vid beräkning av pelare.

Dimensionering av pelare och lager behöver genomföras för att se till att krafterna från överbyggnaden kan föras ner till underbyggnaden.

Grundläggning har enbart nämnts kortfattat i rapporten. Detta är viktiga beräkningar för att kunna undvika sättningar i konstruktionen och kunna föra ner krafter i marken. Denna dimensionering genomförs enligt Eurocode SS-EN 1997-1.

Brons kantbalkar är inte dimensionerade för påkörning, vilket kommer leda till ökad mängd armering i dessa.

Spännkablarnas utbredning i längsled måste beräknas. Denna rapport har enbart behandlat placering av spännarmering i stöd och fält. Se bilaga C.1.

Inre spänningar på grund av temperaturutvidgning mellan de fasta stöden tas ej hänsyn till vid beräkning av spännkraft i spännarmeringen.

När bron belastas upprepade gånger under en lång tid bildas små sprickor som efter en tid kan leda till utmattningsbrott. Även detta bör dimensioneras enligt Eurocode.

Tillfälliga konstruktioner som gjutformar och ställningar måste dimensioneras för att kunna bära brons egenvikt under den tiden som betongen härdar.

10.9 Ekonomi

En preliminär uppskattning av materialkostnaderna har genomförts. Beräkningarna avser endast kostnad för betong och armering i överbyggnaden exklusive kostnad för spännkablar.

För att kunna göra en uppskattning av kostnaden har först mängden betong och armering beräknats. Därefter har schablonkostnader för respektive material använts i syfte att ge en bild av materialets kostnad.

De schablonkostnader som utnyttjats är 2500 kr/m³ för betong, där även formarbete och gjutning är inkluderat, samt 15000 kr/ton för armeringen. I armeringens kostnad räknas inläggning och bockning också med¹.

Materialkostnaden beräknades till 25,62 miljoner kr för överbyggnaden. Beräkningsgången kan följas i bilaga B.5.

¹ Staffan Lindén (Grupprechef Broteknik, COWI) handledning 28 februari 2014.

11 Diskussion

Syftet med detta arbete är att utforma det brokoncept som bäst lämpar sig för de givna förhållandena. Under arbetets gång har flera antaganden gjorts vad gäller urvalsprocessen för brotyperna och även de preliminära beräkningarna. I detta avsnitt följer en diskussion som behandlar rimligheten av antagandena, beräkningarna och resultaten.

11.1 Litteraturstudie

I den litteraturstudie som gjorts för att kunna ta fram ett broprojekt har en stor mängd källor använts. I delen där olika brotyper beskrivs är den största delen av informationen hämtad från Trafikverket och deras handböcker. Dessa källor ses som trovärdiga då Trafikverket ses som en opartisk aktör i frågan. Olika broars användningsområde och begränsningar ses inte som ett omtvistat ämne vilket medför att en mindre mängd källor behövs användas för att styrka fakta. Även delen som behandlar olika materials uppbyggnad och fysikaliska egenskaper är hämtat från trovärdiga källor så som kurslitteratur och branschorganisationer. På frågan vilket som är det mest effektiva materialet för olika broar styr dock egenintressen. Fakta i denna del är i många fall hämtat från en källa som är specialiserad inom just detta material. Ofta ligger också någon form av branschintresse bakom dessa källor vilket gör dem mer subjektiva.

Sammanfattningsvis är källorna i litteraturstudien bra. Många är från de främsta experterna inom respektive område och det är information som behandlats flertalet gånger i många olika sammanhang. Att bygga broar är väl beprövat och de teorier och normer som finns har tagits fram genom många års försök.

11.2 Viktning av kriterier

Att vikta kriterier mot varandra är en bra metod för att få en rättvis jämförelse mellan brokoncepten. Det gör att de kriterier som är viktigare enligt syftet kommer påverka val av koncept i en större grad. Viktningen är gjord så att ett kriterium endast blir viktigare eller mindre viktigare än andra. Den tar alltså inte hänsyn till hur mycket viktigare ett kriterium är jämfört med ett annat utan ger en jämn procentuell fördelning mellan alla kriterier. Detta är bra då det är väldigt svårt att avgöra exakt hur högt vissa kriterier ska viktas gentemot andra utan att sätta ett väldigt tydligt syfte och mål från början.

Mycket av den bedömning som gjorts vid jämförelsen av kriterierna är subjektiv och gör att den blir väldigt vinklad av författarnas åsikter. Detta är ofrånkomligt hos många av kriterierna, exempelvis estetik, innovation och miljö. En lösning på detta har blivit att i avgränsningarna prioriterat ekonomi och tid lägre.

Mängden kriterier är också viktigt. Används för få kriterier blir skillnaderna i procent väldigt stora samtidigt som mindre viktiga kriterier kan få väldigt stor inverkan. Är antalet kriterier istället väldigt stort kommer skillnaderna mellan dem bli väldigt små och de viktigare kriterierna kommer tappa sin roll i urvalet. Med hänsyn till de kriterier som är relevanta anses tio kriterier rimligt.

11.3 Urvalsprocessen

Tidigt i rapporten klargjordes att ekonomin inte kommer ha en avgörande roll i utformningen av detta koncept. Detta öppnar upp för ett betydligt bredare urval av

brotyper, material, grundläggningsmetoder och så vidare jämfört med vad som eventuellt hade varit tillgängligt i praktiken, då ekonomin i verkligheten är av stor betydelse.

Vidare viktades även projektets byggtid lågt i multikriterieanalysen som genomfördes. Liksom kostnaden för bron bör även byggtiden i praktiken vara så kort som möjligt, vilket kan ha stor påverkan på brons utformning vad gäller prefabriceringsgrad, produktionsmetod, grundläggningsmetod med mera.

Då kostnad och produktionstid prioriterats lågt har istället större vikt kunnat läggas på bland annat estetik, trafikkomfort och miljöpåverkan. Estetik och trafikkomfort är två högst subjektiva kriterier och kan eventuellt vara svåra att motivera i en urvalsprocess såsom denna. I sin tur är även själva urvalet av kriterier till kriterieanalysen subjektiv, vilket kan innebära att det slutgiltiga koncept som i denna rapport anses vara det mest lämpliga alternativet för platsen i själva verket inte är det.

I slutändan konkurrerade balkbro i betong och balkbro i trä om högst poängsättning i multikriterieanalysen. Rent estetiskt rankades dessa koncept relativt lågt jämfört med övriga förslag men poängsattes högre i andra kriterier, exempelvis miljöpåverkan. Jämfört med varandra ansågs träbalkbron vara det mer innovativa och miljövänliga alternativet. Dock gavs betongalternativet en högre rangordning i trafikkomfort och flera av de lägre viktade kriterierna, bland annat bygg- och underhållskostnad.

Varför trafikkomfort sattes lågt för träbalkbron beror i första hand på att trä ännu inte är ett vanligt förekommande material för broar i Sverige och kan därför upplevas som opålitligt i förhållande till betong som idag används till en mängd olika typer av bärande konstruktioner och på så sätt har fått visa sin pålitlighet under en lång tid.

I övrigt har en del antaganden gjorts gällandes bland annat grundläggningens omfattning för respektive brokoncept. Rimligheten i dessa antaganden är svåra att avgöra då tillgång till en geoteknisk undersökning av området i fråga har varit begränsad.

11.4 Beräkningar

Den slutgiltiga tvärsnittstypen för balkbron blev ett lådtvärsnitt med två lådor. Ett alternativ hade varit att dela upp bron i två mindre broar med en låda under respektive brobana. Detta skulle dock innebära att konstruktionens totala bredd blir större då det krävs en säkerhetsmarginal mellan broarna.

Vidare valdes antalet stöd till totalt åtta stycken, inklusive landfästen. Den längsta spännvidden blir då 50,8 m. Lådtvärsnitt kan normalt klara betydligt längre spännvidder än dessa. Anledningen till att antalet stöd ändå inte blev färre är för att minska på konstruktionshöjden. Fler antal stöd kan innebära ett mer omfattande grundläggningsarbete men minimerar istället höjden på överbyggnaden, vilket ger bron ett mer attraktivt utseende. Då estetik rangordnas högre än exempelvis grundläggning och kostnader anses detta val vara väl motiverat.

För själva beräkningarna har till stor del handberäkning med hjälp av Mathcad utnyttjats. CALFEM har också använts till beräkning av stödreaktioner, moment, tvärkraft och i längsled. Strusoft FEM-Design, ett finita element-program, användes som rimlighetskontroll för våra moment- och tvärkraftsberäkningar. I praktiken används vanligtvis mer avancerad programvara för beräkningar och därefter handberäkningar för kontroll av resultatet. Mer avancerad programvara hade i detta fall inneburit noggrannare beräkningar, då flera av de förenklingar som gjorts

eventuellt inte hade behövt göras. Erhållna preliminära dimensioner och mängd armering anses rimliga.

11.4.1 Tvärled

En förenkling som gjorts för tvärledsberäkningarna är att plattan modelleras som en fritt upplagd balk med bredden 1 m över de fyra lådliven som stöd. Detta kan ses som ett antagande på säkra sidan, då plattan i själva verket kan ses som fast inspänd till 80 % i lådliven. Exempelvis blir nedböjningen av platta med kantbalk något större, cirka 11 mm, med denna förenkling och klarar för tillfället inte kravet på 5 mm. Detta anses ändå vara acceptabelt då nedböjningen i verkligheten inte blir lika stor.

Plattan har även dimensionerats med ett något tjockare täckande betongskikt än nödvändigt. Detta beror i första hand på att tvärkraftsarmering skulle få plats i plattan om det så skulle krävas.

11.4.2 Längsled

I längsled modelleras bron som en fritt upplagd balk över åtta stöd. Vid momentberäkningar i CALFEM har ingen hänsyn tagits till upplagens utbredning på bron och därför har inte stödmomenten reducerats enligt SS-EN 1992-1-1:2005. Detta resulterar dock i dimensionering på säkra sidan, då bron anpassas efter ett högre moment.

Vid beräkning av lastupptagning antas att all tvärkraft tas upp av de fyra lådliven som finns i tvärsnittet, samt att kraftfördelningen mellan dessa är jämn. I verkligheten kan denna kraftfördelning komma att variera med hänsyn till mängden trafik på bron. Vad gäller byglar har dessa placerats så att de börjar och slutar i underkant respektive överkant liv. För att få bättre samverkan mellan platta och liv bör de dock placeras så att de slutar i överkant platta.

Spännkraften i spännkablarna är anpassad på så sätt att allt moment kan tas upp av dessa. Därför krävs endast minimiarmering i tvärsnittet för att begränsa sprickbildning samt ge ett segt beteende vid brott. I bruksgränstillstånd har nedböjning inte fullständigt behandlats. Dock har nedböjningen utan inverkan av spännkablarna beräknats i Matlab, vilket bör ge ett värsta fall då spännkablarna motverkar nedböjning.

Då vägräcken inte har varit med i beräkningsgången har ej heller påkörningslast tagits i beaktning. Detta har resulterat i en mindre mängd armering i kantbalkarna än vad som egentligen skulle behövas i praktiken. I dagsläget har endast två armeringsjärn placerats i respektive kantbalk. Kantbalken bör däremot förses med fler armeringsjärn med hänsyn till påkörningslast.

Vid varje stöd finns preliminärt fyra lager, två under varje låda. Vid stöd 3 och 4 är bron förhindrad att röra sig i färdriktningen. Detta innebär att den del av bron som ligger mellan stöd 3 och 4 kommer att utsättas för spänningar när bron vill expandera respektive kontrahera vid temperaturförändringar. Dessa spänningar ska tas i beaktning vid beräkning av erforderlig spännkraft. Anledningen till att finns två lager som förhindrar bron att röra sig i färdriktningen beror på att expansionslängden blir kortare, vilket resulterar i en mindre övergångskonstruktion och minimerar risken att brons rörelser överskrider lagrens rörelsekapacitet. I övrigt har lagrens fria rörelseriktningar valts på ett sådant sätt att spänningar mellan lager i tvärled inte kan uppstå.

12 Slutsats

I syftet nämns att bron ska vara utformad utifrån ett hållbart, produktionseffektivt och funktionsmässigt perspektiv, vilket speglar det slutgiltiga brokonceptet. Önskemålen om en bro som konstrueras med hänsyn till produktion, inspektion, underhåll och miljöpåverkan har beaktats genom hela rapporten.

Det slutgiltiga konceptet; en betongbalkbro, med åtta stöd och två lådtvärsnitt med en brobana, är resultatet från urvalsprocessen. Konceptet passar in i omgivningen och fullgör de tekniska förutsättningarna.

Beräkningarna uppfyller även de ställda kraven på hållbarhet och funktionalitet. De preliminära beräkningarna på broplattan och tvärsnittet, samt de antagna utformningarna av resterande brodelar är en påbörjande del av ett stort konstruktionsarbete. De beräkningar detta projekt innehåller är sammanställda och klarar kontroller enligt Eurocode. Dock är tvärsnittet och broplattan inte maximalt optimerat i utformningen, vilket i vissa beräkningar leder till överdimensionering.

Rapporten har resulterat i ett genomförbart och passande brokoncept för vägsträckningen över Karlsnäs industriområde som uppfyller de ställda kraven utifrån syftet.

13 Litteraturförteckning

- Abelsson, B., Båge, P., & Westerlund, L. (1998). *Träbroar - Ett alternativ till stål och betong*. Stockholm: 1998.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner - Del 1*. Göteborg: Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers tekniska högskola. (Rapport: 2013:1).
- Axell, L. (2013). *Kortfakta om Ulricehamns natur*. Hämtat från Ulricehamn: http://www.ulricehamn.se/ulh_templates/Information.aspx?id=954 den 07 02 2014
- Axelsson, K., & Elfgren, L. (2004). *Bro*. Hämtat från Nationalencyklopedin: <http://www.ne.se/lang/bro/136006#> den 04 02 2014
- Banverket, Vägverket, Transportstyrelsen, & Sjöfartsverket. (2009). *Strategier för drift och underhåll av väg- och järnvägsnätet*. Borlänge: Vägverket (Publikation: 2009:103).
- Bellander, R. (2006). *Gatusektioner - Råd och exempel vid utformning av gatumiljöer*. Malmö: Malmö stad, Gatukontoret.
- Burström, P. (2007). *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper* (2:6 uppl.). Lund: Studentlitteratur AB.
- Carlgren, A., & Bölske, A. (2008). *Tillåtlighetsprövning enligt 17 kap. miljöbalken av ny dragning av väg 40 Dällebo till Hester, Ulricehamns kommun*. Stockholm: Miljödepartementet.
- Carlsson, B; Stridh, K. (2006). *Miljöskyddsåtgärder vid rotskyddsmålning*. Hämtat från [http://www5.goteborg.se/prod/Miljo/Miljohandboken/dalis2.nsf/vyFilArkiv/N800_miljosk_rotsk.pdf/\\$file/N800_miljosk_rotsk.pdf](http://www5.goteborg.se/prod/Miljo/Miljohandboken/dalis2.nsf/vyFilArkiv/N800_miljosk_rotsk.pdf/$file/N800_miljosk_rotsk.pdf) den 18 02 2014
- Corcetti, R., Johansson, M., Johnsson, H., Kliger, R., Mårtensson, A., Norlin, B., . . . Thelandersson, S. (2011). *Design of timber structures*. Malmö: Proservice Reklambyrå i Malmö AB.
- DNEC. (2011). *Projects - Construction Support: Balanced Cantilever Construction method*. Hämtat från <http://dnec.com/?portfolio=balanced-cantilever-construction-method-for-dubai-metro-bridges> den 04 02 2014
- Domone, P., & Illston, J. (2010). *Construction materials - Their Nature and Behaviour* (4 uppl.). New York: Spon Press.
- Duan, L., Chen, K., & Tan, A. (2000). Prestressed Concrete Bridges. i W.-F. Chen, & L. Duan (Red.), *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Engström, B. (den 28 01 2014). Betongbroar föreläsning.
- Eriksson, D., & Jakobson, H. (2009). *Prefabricerade betongbroar, ett lönsamt koncept? En fallstudie av NCC Montagebro*. Lund: Lunds tekniska högskola, examensarbete inom institutionen för byggproduktion.
- Gustavsson, L. (2007). *Broprojektering*. Banverket.
- Hallgren, M. (2010). *Delrapport: Bro*. Bygginnovationen.

- Heidelbergcement. (u.d.). *Miljö*. Hämtat från Heidelberg cement: http://www.heidelbergcement.com/se/sv/betongindustri/om_oss/Miljo/index.htm den 07 02 2014
- Jernkontoret. (2010). Hämtat från Processernas miljöpåverkan: http://www.jernkontoret.se/stalindustrin/staltillverkning/processernas_miljopa_verkan/index.php den 07 02 2014
- Jernkontoret. (u.d.). *Tillverkning, användning och återvinning*. Hämtat från Jernkontoret: <http://www.jernkontoret.se/stalindustrin/staltillverkning/anvandning/index.php> den 07 02 2014
- Karlström, P. (u.d.). *Stålbyggnadsinstitutet*. Hämtat från http://www.sbi.se/omraden/o_dokument.asp?mId=3&kId=64&subKId=0&mg_rp=0&dId=18 den 27 02 2014
- Lount, P. (2003). *Active Information Corporation's Global Construction Industry Projects*. Hämtat från <http://www.activeinfo.ca/construction.html> den 04 02 2014
- Lundgren, K. (den 30 10 2013). *Trä* [PowerPoint-presentaion]. Chalmers tekniska högskola.
- Lundh, L. (2011). *Bro 14-497-1 över Källösund (Källösundsbron) - Drift och underhållsplan*. Trafikverket.
- Luping, T. (den 02 10 2013). *Corrosion protection* [PowerPoint-presentation]. Chalmers tekniska högskola.
- Luping, T. (den 07 02 2013). *Stålbros* [PowerPoint-Presentation]. Chalmers tekniska högskola.
- Lyang, J., Lee, D., & Kung, J. (2000). *Bridge Engineering Handbook*. i W.-F. Chen, & L. Duan (Red.), *Reinforced Concrete Bridges*. Boca Raton: CRC Press.
- Martinssons. (2014). *Träbroguiden*. Hämtat från Martinsons: http://www.martinsons.se/Allm%C3%A4n/Filer/Trabroar/Produktbroschyr_Tr%C3%A4broguiden.pdf den 04 02 2014
- Maurer Söhne. (u.d.). http://www.maurer-soehne.de/files/bauwerkschutzsysteme/pdf/de/prospekt/Prospekt_Topflager.pdf
- Nationalencyklopedin. (2014). Hämtat från Armerad betong: <http://www.ne.se/lang/armerad-betong> den 05 02 2014
- Nationalencyklopedin. (2014). *Bågbros*. Hämtat från Nationalencyklopedin: <http://www.ne.se/lang/b%C3%A5gbro> den 05 02 2014
- NCC. (2013). *Snabba brobyten och brobyggnationer*. NCC Teknik (Rapport: 12691).
- Richfield, D. (2009). *Stress vs. Strain curve for structural steel*. Hämtat från Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stress_v_strain_A36_2.svg den 07 02 2013
- Rosell, E. (2011). *TRVK Bro 11*. Borlänge: Trafikverket.
- Sauvageot, G. (2000). *Bridge Engineering - Handbook*. Boca Raton: CRC Press.

- Scandinavia, S. (2014). *Betongskydd med fokus på miljö*. Hämtat från Sto Scandinavia AB: http://www.sto.se/sv/produkter_system/betong/infrastruktur/bro.html den 11 02 2014
- Schunnesson, C. (2007). *Samverkansgrundläggning i relation till spetsburna pålar*. Lund: Lunds universitet, examensarbete vid institutionen Byggnadsmekanik vid Lunds tekniska högskola.
- SGU. (u.d.). *Kartvisare - Jordarter*. Hämtat från SGU: http://www.sgu.se/sgu/sv/produkter-tjanster/kartvisare/kartvisare_jord.html den 18 02 2014
- Sjåde, U., & Ronnebrant, R. (1996). *Broprojektering - En handbok*. Borlänge: Vägverket.
- Somerset. (u.d.). *Somerset - Alex Fraser Bridge*. Hämtat från <http://www.somerseteng.com/project.php?proj=services.customized.derrick.al> ex den 04 02 2014
- SP. (u.d.). *Träbroar*. Hämtat från SP: <http://www.sp.se/sv/index/services/woodenbridge/sidor/default.aspx> den 07 02 2014
- Sundquist, H. (2007). *Beam and frame structures*. Stockholm: KTH Div. for Structural Design and Bridges.
- Svenskabil. (u.d.). *Hur att övervinna rädsla för körning över broar*. Hämtat från <http://www.motorfordon.com/bilar/driving-safety/driving-safety/146214.html> den 25 02 2014
- Svenskabetong. (u.d.). *Koldioxidutsläpp*. Hämtat från Svensk betong: <http://www.svenskabetong.se/miljoe-och-hallbarhet/koldioxidutslaepp.html> den 07 02 2014
- Tang, M. (2000). *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Trafikverket. (2010). Hämtat från Inspektion: https://batmanhandbok.vv.se/_layouts/BaTManPrint/BaTManPrint.aspx?print=all&path=https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/inspektion.aspx den 11 02 2014
- Trafikverket. (2011). Hämtat från TRVK Bro 11 - Trafikverkets tekniska krav Bro: http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6500/2011_085_trvk_bro_11.pdf den 27 02 2014
- Trafikverket. (2011). Hämtat från TRVR Bro 11 - Trafikverkets tekniska råd bro: http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6498/2011_086_trvr_bro_11.pdf den 10 04 2014
- Trafikverket. (den 01 02 2013). *Utbyggnad av väg 40 Projektinformation*. Hämtat från http://www.trafikverket.se/PageFiles/10385/Infobroschyr5_130204.pdf den 03 03 2014
- Träguiden. (u.d.). Hämtat från Fackverksbroar: <http://www.traguiden.se/tgtemplates/popup1spalt.aspx?id=6996> den 25 02 2014

- Träguiden.* (u.d.). Hämtat från Hängbroar och snedstagsbroar:
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7000> den 25 02 2014
- Träguiden.* (2006). Hämtat från Balkbro:
<http://www.traguiden.org/TGtemplates/PageTwoColumn.aspx?id=7005> den 05 02 2014
- Träguiden.* (2006). Hämtat från Inspektion och underhåll:
<http://www.traguiden.se/tgtemplates/popup1spalt.aspx?id=7004> den 11 02 2014
- Träguiden.* (2006). Hämtat från Materialet trä:
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/GeneralPage.aspx?id=911> den 07 02 2014
- Träguiden.* (2006). Hämtat från Miljö:
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/GeneralPage.aspx?id=950> den 07 02 2014
- Träguiden.* (2006). Hämtat från Träbroar - Historisk återblick:
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=6989> den 20 02 2014
- Vägverket.* (u.d.). Hämtat från Definitioner och Begrepp - Brotyper, fasta broar:
https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/DEF_BrotyperFastaBroar.htm den 13 02 2014
- Vägverket.* (u.d.). Hämtat från Genomförande - Huvudinspektion av huvud- och övrigt bärverk:
https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/Huvud_Huvudochövrigtbärverk den 11 02 2014
- Vägverket.* (2004). *Bro 2004 - Allmänna förutsättningar*. Borlänge: Vägverket (Publikation: 2004:56). Hämtat från *Bro 2004 - Allmänna förutsättningar*.
- Vägverket.* (2008). Hämtat från Kodförteckning och beskrivning av brotyper:
https://batman.vv.se/batinfo/Batman/BiblioteketPDF/01_dokument%20batman/kodfoerteckning%20och%20beskrivning%20av%20brotyper.pdf den 11 02 2014
- Vägverket.* (2010). Hämtat från Definitioner och Begrepp - Konstruktionsdelar bro, Beläggning: <https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/15Belaggnings.htm> den 20 03 2014
- Vägverket.* (2010). Hämtat från Räckeslängden - hur mäts den. den 04 02 2014
- Wikipedia.* (2006). *Järnbro, balkbro, nordisk familjebok*. Hämtat från Wikipedia:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:J%C3%A4rnbro,_Balkbro,_Nordisk_familjebok.png den 29 01 2014

Bilagor

A1 - Teknisk beskrivning

A2 - Översiktsritning

B - Beräkningar

B.1 - Antagna värden på tvärsnitt

B.2 - Betongproportionering

B.3 - Tvärled

B.3.1 - Beräkningsmodell

B.3.2 - Ingående materialparametrar

B.3.3 - Täckande betongskikt

B.3.4 - Avstånd mellan stänger

B.3.5 - Minimiarmering

B.3.6 - Laster och lastkombination

B.3.7- Moment och tvärkraft

B.3.8 - Dimensionerande moment och tvärkraft

B.3.9 - Brottgränstillstånd

B.3.10 - Bruksgränstillstånd

B.4 - Längsled

B.4.1 - Beräkningsmodell

B.4.2 - Ingående materialparametrar

B.4.3 - Täckande betongskikt

B.4.4 - Avstånd mellan stänger/spännarmering

B.4.5 - Minimiarmering

B.4.6 - Laster och lastkombination

B.4.7 - Moment och tvärkraft

B.4.8 - Dimensionerande moment och tvärkraft

B.4.9 - Brottgränstillstånd

B.4.10 - Bruksgränstillstånd

B.5 - Överslagsberäkning materialkostnader

C.1 – Förslagsritningar

A1 – Teknisk beskrivning



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

TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVERK

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/ Högspänningsledning	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/ Kabelskyddsrör på bärverk	21
DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsrör 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 framtagna 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. Brobanepatta/ Platsgjuten brobanepatta" där brobanepatta är konstruktion och platsgjuten brobanepatta 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 rivas 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 rivas. 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 tvärsektioner 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 nivå +175 till ungefär km 13/140. Resterande del till brons östra ändpunkt består terrängen av en glest trädbevuxen bäckravin där botten ligger som lägst på nivå +171 och ravinkrönen på nivå +174. Omedelbart söder om brons östra landfäste sträcker sig en industrigata där körbanan ligger på nivå 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 befanns 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 trafikanter 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 kravspecifikation 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 åberopas 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 åberopas 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 överensstämma med upprättad teknisk dokumentation och däri åberopade 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 dimensionerad teknisk livslängd på 80 år.

Broarbetet påverkas inte av allmän trafik.

Kontroll. Funktion

Grundläggningsarbetena 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.

Samtlig 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 formstag 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 topplager. 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 tvärled 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 försees 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 försees 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 avvattnas 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 dräneringsvatten och omfattar dräneringsledningar och dräneringsbrunnar.

Funktion

Dräneringssystem ska kunna dränera väggroppen, 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 försees 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. Räcke skall 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 försees 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 undergutas.

Skruvarna försees 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 genomsiktliga, 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 försees 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 försees 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 "RELATIONS-RITNING" 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 avvägningsdubbar
- 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 $v_{ct_{ekv}}$
- typ av och beteckning på lager inklusive antal per stöd
- typ av och beteckning på övergångskonstruktioner
- uppmätta värden vid inmätning av lod- och avvägningsdubbar
- 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 avvägningsdubbar 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.

A2 – Översiktsritning

F:\plan\plan\projekter\A202000\A024770_0_060\CAD\244K2001_10m.dwg, Plottad 2012-01-18 - 14:01 /anin, Layout: 244K2001, Format: A1F

SKYDDSNÄT I 3x100 FACK ÖVER UTFÖRS PÅ BRONS SÖDRA SIDA

- BEF MARKKONTUR 25 m SÖDER OM RÄKNAD LINJE
--- BEF MARKKONTUR I RÄKNAD LINJE
--- BEF MARKKONTUR 25 m NORR OM RÄKNAD LINJE
--- BLIVANDE MARKKONTUR I RÄKNAD LINJE

ALLMÄNNA ANVISNINGAR

HÖJDSYSTEM: RH 70
KOORDINATSYSTEM: RT 90 5 gon v 0-1
HÖJDEFIX: ENLIGT MÄTPÄRM

POLYGONPUNKTER: ENLIGT MÄTPÄRM

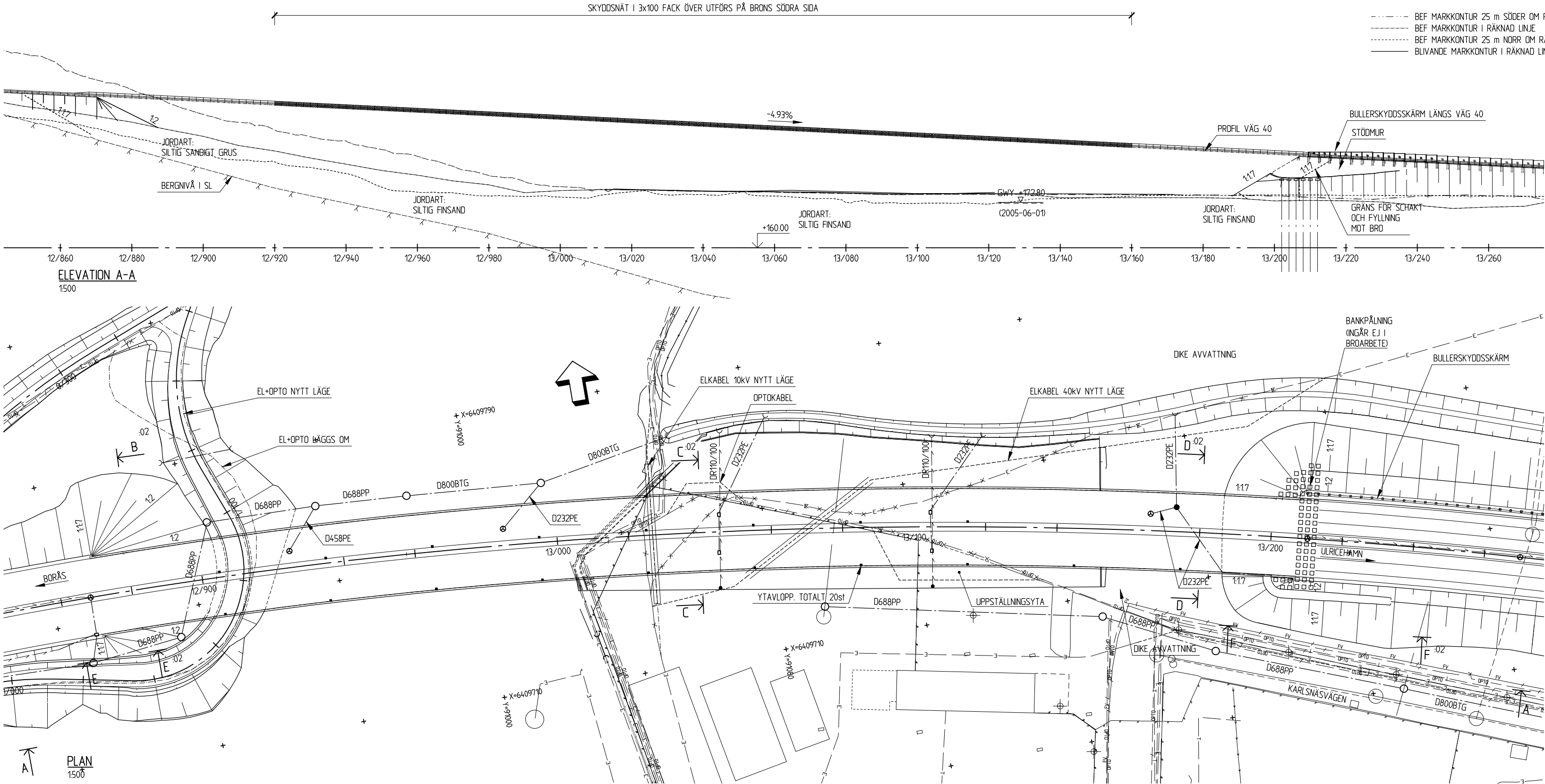
NORMER, FÖRESKRIFTER BRON SKALL DIMENSIONERAS OCH UTFÖRAS ENLIGT TK BRO (PUBL 2009:7) SAMT ENLIGT BREV "ÄNDRINGAR AV TK BRO" OCH BESKRIVNINGAR: (PUBL 2010-11-01 OCH TK GEO (PUBL 2008:49) SAMT DATERAT 2010-11-01 OCH TK GEO (PUBL 2008:49) SAMT TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK 2K110002 UPPRÄTTAD AV COWI AB, DATERAD 2011-09-15.

FÖRKLARINGAR

MED RL OCH FL AVSES RÖRLIGT RESPEKTIVE FAST LAGER.

HÄNVISNINGAR

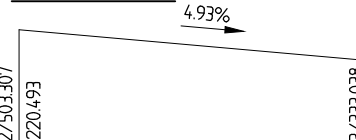
LEDNINGAR ENLIGT RITNING 200W5113-14
AVVATTNING ENLIGT RITNING 200W5156-57
STÖDMUR I VÄGBANK ENLIGT RITNING 242K2201-03
BULLERSKYDDSSKÄRM LÄNGS VÄG 40 ENLIGT RITNING 239K2001-03
YTSKIKT ENLIGT 200L1903-04
KANALISATION ENLIGT RITNING 200W6311
UPPSTÄLLNINGSYTA UNDER BRON ENLIGT RITNING 237T0407
BANKPÄLNING ENLIGT RITNING 201G1501-02



PLANDATA VÄG 40

SEKTION	X	Y	ANM.
12/704.055	6409746.649	90726.676	R=1300
12/937.582	6409754.106	90979.692	R=1501
13/340.330	6409679.956	91354.133	

PROFIL VÄG 40



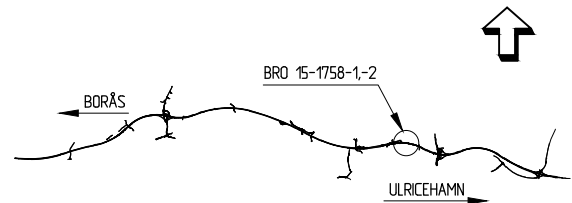
TECKENFÖRKLARINGAR

- DAGVATTENLEDNING
--- DRÄNVATTENLEDNING
--- DAGVATTENUTLOPP/TRUMÖGA
--- NYTT DAGVATTENDIKE
--- KABELSCHAKT
--- KABELSCHAKT INKL. KABELSKYDDSRÖR

- NEDSTIGNINGSBRUNN
● TILLSYNSBRUNN
□ DAGVATTENBRUNN MED KUPOLSIL
□ DAGVATTENBRUNN MED GALLER
□ RENSBRUNN
--- BEFINTLIG DIKE FLÖDESRIKTNING
--- BEFINTLIG SPILLVATTENLEDNING
--- BEFINTLIG VATTENLEDNING

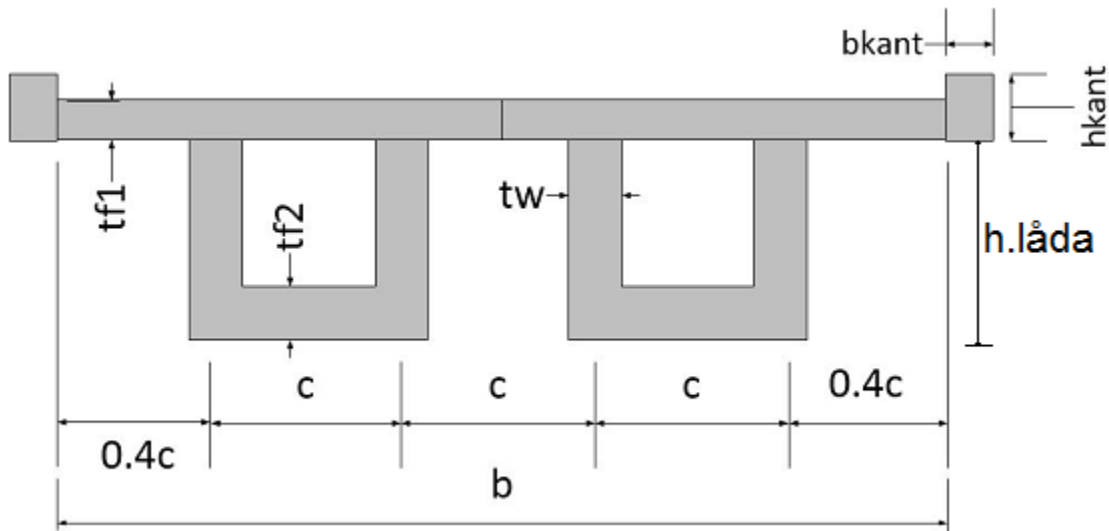
- BEFINTLIG DAGVATTENLEDNING
--- BEFINTLIG FJÄRRVÄRMELEDNING
--- BEFINTLIG LEDNING/TRUMMA SOM RIVES/SLOPAS
--- BEFINTLIG EL, MARKFÖRLAGD KABEL
--- BEFINTLIG TELE, MARKFÖRLAGD KABEL
--- BEFINTLIG OPTOKABEL I MARK
--- BEFINTLIG NEDSTIGNINGSBRUNN
--- BEFINTLIG BELYSNINGSSTOLPE

SITUATIONSPLAN



REV	ART	ÄNDRADE	ÖSK	ÖSKP	VY	DATUM	VY	DATUM
BYGGHANDLING	FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG							
TRAFIKVERKET		VÄG 40 BORÅS-ULRICEHAMN DELEN DÄLLEBO - HESTER						
COWI		ETAPP 2 BRO ÖVER KARLSNÄS IND-OMRÅDE, 300 M S VIST KYRKA						
COWI AB Skårgårdsgatan 1 BOX 12076 Göteborg		010-450 10 00 www.cowi.se						
TEKNIKANSVAR A. BERGHOLTZ	OPPRÄTTARE 16/12/25							
GRANSK C. KIVILÖD	GRANSK M. BÄCKSTRÖM							
GÖTEBORG	2011-09-15							
A. BERGHOLTZ								
KM 12/880 - 13/200 FÖRSLAGSRITNING 1(2)		PLAN, ELEVATION						
85436030		244K2001						

B.1 - Antagna värden på tvärsnitt



Skiss på preliminärt tvärsnitt av överbyggnad

Mått

$b_{kantb} := 0.5\text{m}$	Kantbalkens bredd. Givet från teknisk beskrivning, se bilaga A1.
$b_{körfält} := 3.5\text{m}$	Bredd på körfält
$b_{vry} := 2\text{m}$	Yttre vägren
$b_{vri} := 0.5\text{m}$	Inre vägren
$b_{tot} := (b_{kantb} + b_{vry} + 2 \cdot b_{körfält} + b_{vri}) \cdot 2 = 20\text{ m}$	Total brobredd
$b_{fri} := b_{tot} - 2 \cdot b_{kantb} = 19\text{ m}$	Fri brobredd (exklusive kantbalkar)
$c := \frac{b_{fri}}{3.8} = 5\text{ m}$	CC-mått för lådornas balkar
$h_{kantb} := 0.5\text{m}$	Höjd kantbalk. Givet från teknisk beskrivning, se bilaga A1.
$t_{f1} := 0.4\text{m}$	Tjocklek broplatta
$t_{f2} := 0.5\text{m}$	Tjocklek nedre lådfäns
$t_w := 0.9\text{m}$	Tjocklek lådliv
$h_{låda} := 2.5\text{m}$	Höjd låda. Minimikrav 1.9 m inuti. Minst Spännvidd/20.

Bilaga B.1 - Antagna värden på tvärsnitt

$$b_{l\ddot{a}da} := c + t_w = 5.9 \text{ m} \quad \text{Bredd låda}$$

$$b_{f2} := b_{l\ddot{a}da} - 2 \cdot t_w = 4.1 \text{ m} \quad \text{Bredd lådbotten}$$

Areor

$$A_{tvsn} := b_{kantb} \cdot h_{kantb} \cdot 2 + b_{fri} \cdot t_{f1} + h_{l\ddot{a}da} \cdot t_w \cdot 4 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot 2 = 21.2 \text{ m}^2 \quad \text{Total tvärsnittsarea}$$

$$A_f := t_{f2} \cdot b_{f2} = 2.05 \text{ m}^2 \quad \text{Tvärsnittsarea nedre fläns}$$

$$A_w := t_w \cdot h_{l\ddot{a}da} = 2.25 \text{ m}^2 \quad \text{Tvärsnittsarea liv}$$

$$A_p := b_{fri} \cdot t_{f1} = 7.6 \text{ m}^2 \quad \text{Tvärsnittsarea platta}$$

$$A_{kantb} := h_{kantb} \cdot b_{kantb} = 0.25 \text{ m}^2 \quad \text{Tvärsnittsarea kantbalk}$$

Avstånd

$$l_{f2} := \frac{t_{f2}}{2} = 0.25 \text{ m} \quad \text{Längd till centrum nedre fläns}$$

$$l_w := \frac{h_{l\ddot{a}da}}{2} = 1.25 \text{ m} \quad \text{Längd till centrum liv}$$

$$l_{f1} := l_w + \frac{t_{f1}}{2} = 1.45 \text{ m} \quad \text{Längd till centrum platta}$$

$$l_{kantb} := l_w + \frac{h_{kantb}}{2} = 1.5 \text{ m} \quad \text{Längd till centrum kantbalk}$$

Tyngdpunkt tvärsnitt

$$T_p := \frac{A_f \cdot l_{f2} \cdot 2 + A_w \cdot l_w \cdot 4 + A_p \cdot l_{f1} + A_{kantb} \cdot l_{kantb} \cdot 2}{A_{tvsn}} = 1.134 \text{ m} \quad \text{Tyngdpunktsekvation}$$

Yttöröghetsmoment

$$I_{tvsn} := \left[\frac{b_{f2} \cdot t_{f2}^3}{12} + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot (T_p - l_{f2})^2 \right] \cdot 2 \dots = 9.036 \text{ m}^4$$

$$+ \left[\frac{t_w \cdot h_{l\ddot{a}da}^3}{12} + t_w \cdot h_{l\ddot{a}da} \cdot (l_w - T_p)^2 \right] \cdot 4 \dots$$

$$+ \left[\frac{b_{fri} \cdot t_{f1}^3}{12} + t_{f1} \cdot b_{fri} \cdot (l_{f1} - T_p)^2 \right] \dots$$

$$+ \left[\frac{b_{kantb} \cdot h_{kantb}^3}{12} + b_{kantb} \cdot h_{kantb} \cdot (l_{kantb} - T_p)^2 \right] \cdot 2$$

B.2 - Betongproportionering

Exponeringsklass XD3 blir dimensionerande. Vct är hämtat ur tabell 4, från Bärande konstruktioner - Del 1.

$$vct := 0.45$$

Vct=0.45 ger tryckhållfastheten 55 MPa enligt Construction Materials - Their nature and behaviour.

Med t=28 dagar ger

$$f_{cmcube} := 55 \text{ MPa}$$

Tryckhållfasthetens medelvärde vid åldern 28 dygn.

$$f_{cmcylinder} := \frac{f_{cmcube}}{1.2} = 45.833 \cdot \text{MPa} \quad \text{Relationen mellan cylinderns och kubens medelhållfasthet.}$$

Karakteristisk hållfasthet

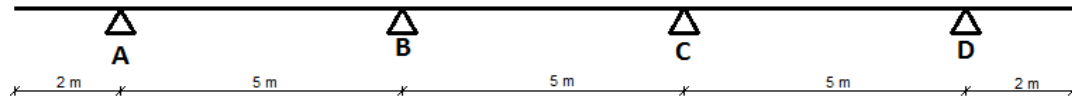
Betongen måste ha dimensionerande hållfasthet C40/50 vilket ger

$$f_{cm} := 48 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} := 40 \text{ MPa}$$

B.3 - Tvärled

B.3.1 - Beräkningsmodell



Beräkningsmodellen för tvärled är en fritt upplagd balk på fyra stöd.

B.3.2 - Ingående materialparametrar

Tvärsnittsparametrar

$b_{kantb} := 0.5\text{m}$	Kantbalkens bredd. Givet från teknisk beskrivning, se bilaga A1.
$b_{körfält} := 3.5\text{m}$	Bredd på körfält
$b_{vry} := 2\text{m}$	Yttre vägren
$b_{vri} := 0.5\text{m}$	Inre vägren
$b_{tot} := (b_{kantb} + b_{vry} + 2 \cdot b_{körfält} + b_{vri}) \cdot 2 = 20\text{ m}$	Total brobredd
$b_{fri} := b_{tot} - 2 \cdot b_{kantb} = 19\text{ m}$	Fri brobredd (exklusive kantbalkar)
$c := \frac{b_{fri}}{3.8} = 5\text{ m}$	CC-mått för lådornas balkar
$h_{kantb} := 0.5\text{m}$	Höjd kantbalk. Givet från teknisk beskrivning, se bilaga A1.
$t_{f1} := 0.4\text{m}$	Tjocklek broplatta
$t_{f2} := 0.5\text{m}$	Tjocklek nedre lådf läns
$t_w := 0.9\text{m}$	Tjocklek lådliv
$h_{låda} := 2.5\text{m}$	Höjd låda. Minimikrav 1.9 m inuti. Minst Spännvidd/20.
$b_{låda} := c + t_w = 5.9\text{ m}$	Bredd låda
$b_{f2} := b_{låda} - 2 \cdot t_w = 4.1\text{ m}$	Bredd lådbotten
$A_{tvsn} := b_{kantb} \cdot h_{kantb} \cdot 2 + b_{fri} \cdot t_{f1} + h_{låda} \cdot t_w \cdot 4 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot 2 = 21.2\text{ m}^2$	Total tvärsnittsarea
$t_{bel} := 0.115\text{m}$	Tjocklek beläggning, givet från teknisk beskrivning se bilaga A1.

Bilaga B.3 - Tvärled

$$A_{\text{bel}} := t_{\text{bel}} \cdot b_{\text{fri}} = 2.185 \text{ m}^2 \quad \text{Tvärsnittsarea beläggning}$$

$$\rho_{\text{armbet}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Tunghet, armerad betong.}$$

$$\rho_{\text{asfbel}} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Tunghet, beläggning.}$$

$$\rho_{\text{räcke}} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Tunghet, räcke.}$$

$$G_{\text{tot}} := A_{\text{tvsn}} \cdot \rho_{\text{armbet}} + A_{\text{bel}} \cdot \rho_{\text{asfbel}} + \rho_{\text{räcke}} = 580.755 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egentyngd för hela tvärsnittet}$$

$$G_{\text{platta}} := (h_{\text{kantb}} \cdot b_{\text{kantb}} \cdot 2 + b_{\text{fri}} \cdot t_{\text{fl}}) \cdot \rho_{\text{armbet}} + \rho_{\text{räcke}} + b_{\text{fri}} \cdot t_{\text{bel}} \cdot \rho_{\text{asfbel}} = 253.255 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egentyngd för broplatta}$$

$$g_{\text{platta}} := \frac{G_{\text{platta}}}{b_{\text{fri}}} = 13.329 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Broplattans utbredda last}$$

$$G_{\text{ytter}} := g_{\text{platta}} \cdot 0.9 \cdot c = 59.981 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egentyngd för ytterstöd}$$

$$G_{\text{inner}} := g_{\text{platta}} \cdot c = 66.646 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egentyngd för innerstöd}$$

Betong

$$f_{\text{ctm}} := 3.5 \text{ MPa} \quad \text{Medelvärde draghållfasthet betong}$$

$$d_g := 20 \text{ mm} \quad \text{Största diameter ballast}$$

$$f_{\text{ctd}} := \frac{2.5}{1.5} \text{ MPa} = 1.667 \cdot \text{MPa} \quad \text{Dimensionerande draghållfasthet}$$

$$f_{\text{ck}} := 40 \text{ MPa} \quad \text{Karakteristisk betonghållfasthet}$$

$$\alpha_{\text{cc}} := 1$$

$$\gamma_c := 1.5 \quad \text{Partialkoefficient}$$

$$f_{\text{cd}} := \alpha_{\text{cc}} \cdot \frac{f_{\text{ck}}}{\gamma_c} = 26.667 \cdot \text{MPa} \quad \text{Dimensionerande betonghållfasthet}$$

$$\alpha := 0.810 \quad \text{Faktorer } \alpha \text{ \& } \beta \text{ för bestämning av tryckresultantens storlek}$$

$$\beta := 0.416$$

Bilaga B.3 - Tvärled

$$\varepsilon_{cu} := 3.5 \cdot 10^{-3}$$

Maximal betongtöjning

$$E_{cm} := 35 \text{ GPa}$$

Elasticitetsmodul betong

$$f_{cm} := 48 \text{ MPa}$$

Medelhållfasthet betong

Armering

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

Karakteristisk hållfasthet armering

$$\gamma_s := 1.15$$

Partialkoefficient

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa}$$

Dimensionerande hållfasthet armering

$$\phi := 20 \text{ mm}$$

Diameter dragarmering

$$\phi_{bygel} := 8 \text{ mm}$$

Diameter bygel

$$A_{si} := \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \cdot \pi = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Tvärsnittsarea dragarmering

$$f_{ywd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa}$$

Dimensionerande hållfasthet, byglar

$$A_{sw} := 4 \cdot \pi \cdot \frac{(8 \text{ mm})^2}{4} = 2.011 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Tvärsnittsarea byglar

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

E-modul armering

$$\varepsilon_{syd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.174 \times 10^{-3}$$

Ståltöjning

Omgivande miljö

$$RH := 80\%$$

Utomhusmiljö [%]

Konstanter från SS-EN 1991-2

$$Q_{ik1} := 270 \text{ kN}$$

Axellast för lastfälten

$$Q_{ik2} := 180 \text{ kN}$$

$$q_{ik1} := 6.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{ik2} := \frac{q_{ik1}}{2.52} = 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Jämnt utbredd fillast

$$q_{ik\alpha} := \frac{q_{ik1}}{2.52} = 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$\gamma_G := 1.35$ Partialkoefficient permanent last (STR)

$\gamma_Q := 1.5$ Partialkoefficient variabel last (STR)

$\psi_{0a} := 0.75$ Lastreduktionstal axellast

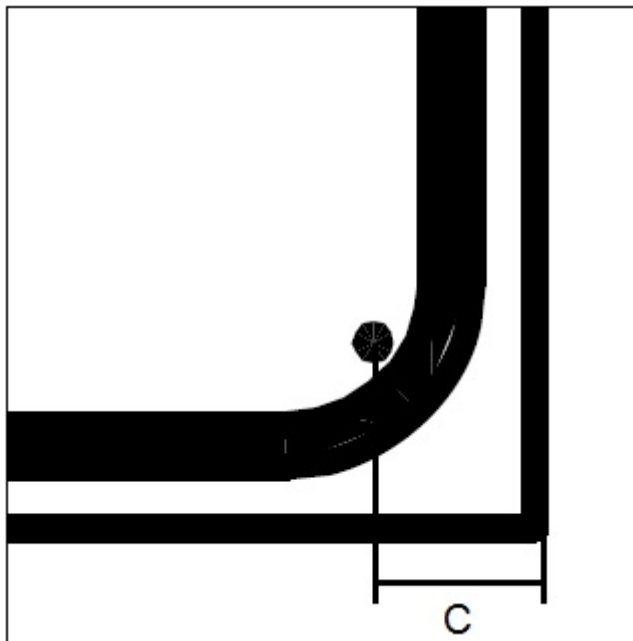
$\psi_{0u} := 0.4$ Lastreduktionstal utbredd trafiklast

$\xi := 0.89$ Reduktionsfaktor

$c_c := 1 \text{ m}$ 1 m i längsled

B.3.3 - Täckande betongskikt, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 4

Beräkning av minsta täckande betongskikt för armering



$C_{\min.dur} := 40 \text{ mm}$ Minsta kantavstånd, armering, mht beständighet

$C_{dev} := 10 \text{ mm}$ Deviationstillägg

$C_{\min.b} := \phi$

$$C_{\min} := \max(C_{\min.b}, C_{\min.dur}) \quad \text{Minsta kantavstånd} \quad \text{ekv [4.2] i EC 2}$$

$$C_{\text{nom}} := C_{\min} + C_{\text{dev}} = 50 \cdot \text{mm} \quad \text{Slutgiltigt minsta kantavstånd} \quad \text{ekv [4.1] i EC 2}$$

Dragarmeringens kantavstånd från centrum armering

$$C_{\text{ww}} := C_{\text{nom}} + \phi_{\text{bygel}} + \frac{\phi}{2} = 0.068 \text{ m} \quad \text{Det värde som används som } d \text{ i momentberäkningar.}$$

B.3.4 - Avstånd mellan stänger, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 8.2

$$\text{minsta}_{\text{avstånd}} := \max(1 \cdot \phi, d_g + 5 \text{ mm}, 20 \text{ mm}) = 0.025 \text{ m}$$

B.3.5 - Minimiarmering

$$b_{\text{platta}} := cc$$

$$h_{\text{platta}} := t_{f1} = 0.4 \text{ m}$$

$$d := h_{\text{platta}} - C = 0.332 \text{ m}$$

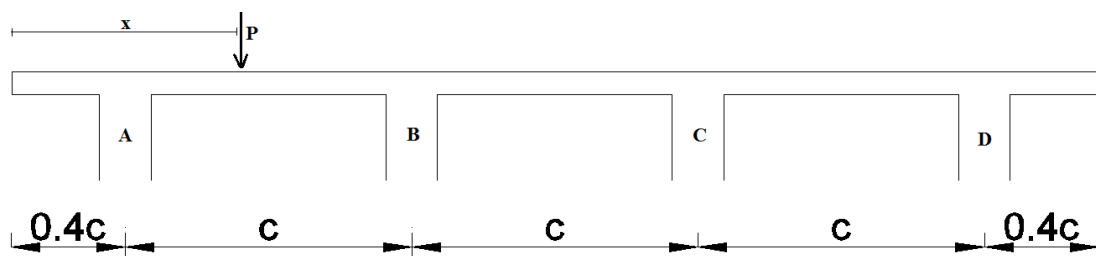
$$A_{\text{smin}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_{\text{platta}} \cdot d = 6.042 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{smax}} := 0.04 \cdot b_{\text{platta}} \cdot h_{\text{platta}} = 0.016 \text{ m}^2$$

B.3.6 - Laster och lastkombination

B.3.6.1 - Filfaktorer

Beräkning med hjälp av influenslinje från broexempel



x/c	R_A/P	R_B/P	R_C/P	R_D/P
0	1,507	-0,640	0,160	-0,027
0,2	1,253	-0,320	0,080	-0,013
0,4	1,000	0,000	0,000	0,000
0,6	0,749	0,315	-0,077	0,013
0,8	0,510	0,602	-0,134	0,022
1,0	0,298	0,830	-0,154	0,026
1,2	0,123	0,973	-0,115	0,019
1,4	0,000	1,000	0,000	0,000
1,6	-0,064	0,896	0,200	-0,032
1,8	-0,080	0,696	0,448	-0,064
2,0	-0,064	0,448	0,6960	-0,080
2,2	-0,032	0,200	0,896	-0,064
2,4	0,000	0,000	1,000	0,000
2,6	0,019	-0,115	0,973	0,123
2,8	0,026	-0,154	0,830	0,298
3,0	0,022	-0,134	0,602	0,510
3,2	0,013	-0,077	0,315	0,749
3,4	0,000	0,000	0,000	1,000
3,6	-0,013	0,080	-0,320	1,253
3,8	-0,027	0,160	-0,640	1,507

Lastfall 1 - Maximal last över stöd A

$L_{A1} := 3\text{m}$ Längd utbredd last lastfält 1

$L_{A2} := 4\text{m}$ Längd utbredd last lastfält 2

$L_{A3} := 5\text{m}$ Längd utbredd last lastfält 3

$$\Upsilon := \frac{2}{3}$$

$$\Pi := 2.52$$

$$f_{P1A} := \frac{1.253 + 1}{2} + \frac{0.51 + 0.298}{2} \cdot \Upsilon = 1.396$$

Filfaktor av punktlaster - Stöd A

$$x/c=0.3 \quad x/c=0.9$$

$$f_{p1A} := \frac{1.253 + 1}{2} \cdot L_{A1} + 0.298 \cdot \frac{L_{A2}}{\Pi} + 0.024 \cdot \frac{L_{A3}}{\Pi} = 3.9\text{m}$$

Filfaktor av utbredda laster - Stöd A

$$x/c=0.3 \quad x/c=1.0 \quad x/c=2.9$$

$$f_{P1B} := \frac{-0.32}{2} + \frac{0.602 + 0.83}{2} \cdot \Upsilon = 0.317$$

Filfaktor av punktlaster - Stöd B

$$x/c=0.3 \quad x/c=0.9$$

$$f_{p1B} := \frac{-0.32}{2} \cdot L_{A1} + 0.83 \cdot \frac{L_{A2}}{\Pi} + \frac{-0.154 - 0.134}{2} \cdot \frac{L_{A3}}{\Pi} = 0.552 \text{ m}$$

$x/c=0.3 \quad x/c=1.0 \quad x/c=2.9$

Filfaktor av utbredda laster - Stöd B

Lastfall 2 - Maximal last över stöd B

$$L_{B1} := 3 \text{ m} \quad \text{Längd utbredd last lastfält 1}$$

$$L_{B2} := 3.5 \text{ m} \quad \text{Längd utbredd last lastfält 2}$$

$$L_{B3} := 2 \text{ m} \quad \text{Längd utbredd last lastfält 3}$$

$$f_{p2A} := 0 + 0.51 \cdot \Upsilon = 0.34$$

$$x/c=7/5=1.4 \quad x/c=4/5=0.8$$

Filfaktor av punktlaster - Stöd A

$$\text{Int}_{1A} := 0.510 + \frac{0.75 - 0.6}{0.8 - 0.6} \cdot (0.749 - 0.510) = 0.689$$

Interpolering $x/c=3.75/5=0.75$

$$\text{Int}_{2A} := -0.032 + \frac{2.05 - 2}{2.2 - 2} \cdot (-0.032 - 0.064) = -0.056$$

Interpolering $x/c=10.25/5=2.05$

$$f_{p2A} := (0) \cdot L_{B1} + \text{Int}_{1A} \cdot \frac{L_{B2}}{\Pi} + \left[\left(\text{Int}_{2A} \right) \cdot \frac{L_{B2}}{\Pi} - 0.013 \cdot \frac{L_{B3}}{\Pi} \right] = 0.869 \text{ m}$$

Filfaktor av utbredda laster - Stöd A

$$x/c=7/5=1.4$$

$$x/c=18/5=3.6$$

$$f_{p2B} := 1 + 0.602 \cdot \Upsilon = 1.401$$

$$x/c=7/5=1.4 \quad x/c=4/5=0.8$$

Filfaktor av punktlaster - Stöd B

$$\text{Int}_{1B} := 0.315 + \frac{0.75 - 0.6}{0.8 - 0.6} \cdot (0.602 - 0.315) = 0.53$$

Interpolering $x/c=3.75/5=0.75$

$$\text{Int}_{2B} := 0.2 + \frac{2.05 - 2}{2.2 - 2} \cdot (0.448 - 0.200) = 0.262$$

Interpolering $x/c=10.25/5=2.05$

$$f_{p2B} := 1 \cdot L_{B1} + \text{Int}_{1B} \cdot \frac{L_{B2}}{\Pi} + \left(\text{Int}_{2B} \right) \cdot \frac{L_{B2}}{\Pi} + 0.08 \cdot \frac{L_{B3}}{\Pi} = 4.164 \text{ m}$$

Filfaktor av utbredda laster - Stöd B

$$x/c=7/5=1.4$$

$$x/c=18/5=3.6$$

Lastfall 3 - Maximal last över fält 1 (yttre fält)

$L_{C1} := 3\text{m}$ Längd utbredd last lastfält 1
 $L_{C2} := 1\text{m}$ Längd utbredd last lastfält 2
 $L_{C3} := 5\text{m}$ Längd utbredd last lastfält 3

$$f_{p3A} := \frac{(0.510 + 0.298)}{2} + \frac{0.123}{2} \cdot \Upsilon = 0.445 \quad \text{Filfaktor av punktlaster - Stöd A}$$

$x/c = 4.5/5 = 0.9$ $x/c = 6.5/5 = 1.3$

$$f_{p3A} := \frac{0.510 + 0.298}{2} \cdot L_{C1} + \frac{1 + 0.749}{2} \cdot \frac{L_{C2}}{\Pi} \dots = 1.631\text{ m} \quad \text{Filfaktor av utbredda laster - Stöd A}$$

$$+ \left(\frac{0.123}{2} \cdot \frac{L_{C2}}{\Pi} + \frac{0.026 + 0.022}{2} \cdot \frac{L_{C3}}{\Pi} \right)$$

$x/c = 4.5/5 = 0.9$ $x/c = 2.5/5 = 0.5$ $x/c = 6.5/5 = 1.3$ $x/c = 14.5/5 = 2.9$

$$f_{p3B} := \frac{(0.602 + 0.830)}{2} + \frac{0.973 + 1}{2} \cdot \Upsilon = 1.374 \quad \text{Filfaktor av punktlaster - Stöd B}$$

$x/c = 4.5/5 = 0.9$ $x/c = 6.5/5 = 1.3$

$$f_{p3B} := \frac{0.602 + 0.830}{2} \cdot L_{C1} + \frac{0.315}{2} \cdot \frac{L_{C2}}{\Pi} \dots = 2.316\text{ m} \quad \text{Filfaktor av utbredda laster - Stöd B}$$

$$+ \left(\frac{0.973 + 1}{2} \cdot \frac{L_{C2}}{\Pi} + \frac{-0.154 - 0.134}{2} \cdot \frac{L_{C3}}{\Pi} \right)$$

$x/c = 4.5/5 = 0.9$ $x/c = 2.5/5 = 0.5$ $x/c = 6.5/5 = 1.3$ $x/c = 14.5/5 = 2.9$

Lastfall 4 - Maximal last över fält 2 (mittfält)

$L_{D1} := 3\text{m}$ Längd utbredd last lastfält 1
 $L_{D2} := 1\text{m}$ Längd utbredd last lastfält 2
 $L_{D3} := 2\text{m}$ Längd utbredd last lastfält 3

$$f_{p4A} := \frac{-0.08 - 0.064}{2} + \frac{0 - 0.064}{2} \cdot \Upsilon = -0.093 \quad \text{Filfaktor av punktlaster - Stöd A}$$

$x/c = 9.5/5 = 1.9$ $x/c = 7.5/5 = 1.5$

$$f_{p4A} := \frac{-0.08 - 0.064}{2} \cdot L_{D1} + \frac{0 - 0.064}{2} \cdot \frac{L_{D2}}{\Pi} \dots = -8.659 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$+ \frac{1.253}{2} \cdot \frac{L_{D2}}{\Pi} + \frac{-0.032}{2} \cdot \frac{L_{D3}}{\Pi} + \frac{-0.013 - 0.027}{2} \cdot \frac{L_{D3}}{\Pi} \quad \text{Filfaktor av utbredda laster - Stöd A}$$

Bilaga B.3 - Tvärled

$$x/c=9.5/5=1.9 \quad x/c=7.5/5=1.5 \quad x/c=1/5=0.2 \quad x/c=14.5/5=2.9 \quad x/c=18/5=3.6$$

$$f_{p4B} := \frac{0.696 + 0.448}{2} + \frac{1 + 0.896}{2} \cdot \gamma = 1.204 \quad \text{Filfaktor av punktlaster - Stöd B}$$

$$x/c=9.5/5=1.9 \quad x/c=7.5/5=1.5$$

$$f_{p4B} := \frac{0.696 + 0.448}{2} \cdot L_{D1} + \frac{1 + 0.896}{2} \cdot \frac{L_{D2}}{\Pi} \dots = 2.037 \text{ m} \quad \text{Filfaktor av utbredda laster - Stöd B}$$

$$+ \left(\frac{0.2}{2} \cdot \frac{L_{D2}}{\Pi} + \frac{-0.32}{2} \cdot \frac{L_{D3}}{\Pi} + \frac{0.08}{2} \cdot \frac{L_{D3}}{\Pi} \right)$$

$$x/c=9.5/5=1.9 \quad x/c=7.5/5=1.5 \quad x/c=1/5=0.2 \quad x/c=14.5/5=2.9 \quad x/c=18/5=3.6$$

Sammanställning av Filfaktorer

Lastfall 1

$$f_{p1A} := 1.396 \quad \text{Filfaktor punktlaster stöd A}$$

$$f_{p1A} := 3.9 \text{ m} \quad \text{Filfaktor utbredda laster stöd A}$$

$$f_{p1B} := 0.317 \quad \text{Filfaktor punktlaster stöd B}$$

$$f_{p1B} := 0.552 \text{ m} \quad \text{Filfaktor utbredda laster stöd B}$$

Lastfall 2

$$f_{p2A} := 0.34 \quad \text{Filfaktor punktlaster stöd A}$$

$$f_{p2A} := 0.869 \text{ m} \quad \text{Filfaktor utbredda laster stöd A}$$

$$f_{p2B} := 1.401 \quad \text{Filfaktor punktlaster stöd B}$$

$$f_{p2B} := 4.164 \text{ m} \quad \text{Filfaktor utbredda laster stöd B}$$

Lastfall 3

$$f_{p3A} := 0.445 \quad \text{Filfaktor punktlaster stöd A}$$

$$f_{p3B} := 1.373 \quad \text{Filfaktor punktlaster stöd B}$$

$$f_{p3A} := 1.63 \text{ m} \quad \text{Filfaktor utbredda laster stöd A}$$

$$f_{p3B} := 2.316 \text{ m} \quad \text{Filfaktor utbredda laster stöd B}$$

Lastfall 4

$$f_{p4A} := -0.093$$

Filfaktor punktlaster stöd A

$$f_{p4B} := 1.204$$

Filfaktor punktlaster stöd B

$$f_{p4A} := 0.736\text{m}$$

Filfaktor utbredda laster stöd A

$$f_{p4B} := 1.943\text{m}$$

Filfaktor utbredda laster stöd B

B.3.6.2 - Stödreaktioner**Brottgränstillstånd****Formel 6.10a**

Reducering av punkt- och utbredda laster för lastfall 1 och 2

Laststorlek enligt 6.10a

$$P_{1.6.10a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0a} \cdot Q_{ik1} = 303.75 \cdot \text{kN}$$

Punktlast 1

$$P_{2.6.10a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0a} \cdot Q_{ik2} = 202.5 \cdot \text{kN}$$

Punktlast 2

$$P_{1.6.10a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0u} \cdot q_{ik1} \cdot cc = 3.78 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lastfält 1

$$P_{2.6.10af1} := \gamma_Q \cdot \psi_{0u} \cdot q_{ik2} \cdot cc = 1.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lastfält 2

$$P_{å.6.10af1} := \gamma_Q \cdot \psi_{0u} \cdot q_{ikå} \cdot cc = 1.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Återstående lastfält

Egentyngd för båda snitten

$$G_{inner6.10a} := G_{inner} \cdot \gamma_G = 89.972 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_{ytter6.10a} := G_{ytter} \cdot \gamma_G = 80.975 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Stödreaktioner, stöd A, ekvation 6.10a**Lastfall 1**

$$R_{APf1.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{p1A} = 424.035 \cdot \text{kN}$$

p.g.a punktlast 1

$$R_{Apf1.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{p1A} = 14.742 \cdot \text{kN}$$

p.g.a utbredd last

$$R_{AGf1.6.10a} := G_{ytter6.10a} \cdot cc = 80.975 \cdot \text{kN}$$

p.g.a egentyngt

$$R_{Af1.6.10a} := R_{APf1.6.10a} + R_{Apf1.6.10a} + R_{AGf1.6.10a} = 519.752 \cdot \text{kN}$$

Total stödreaktion

Lastfall 2

$R_{APf2.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{P2A} = 103.275 \cdot \text{kN}$	p.g.a punktlast 1
$R_{Apf2.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{p2A} = 3.285 \cdot \text{kN}$	p.g.a utbredd last
$R_{AGf2.6.10a} := G_{ytter6.10a} \cdot cc = 80.975 \cdot \text{kN}$	p.g.a egentyngt
$R_{Af2.6.10a} := R_{APf2.6.10a} + R_{Apf2.6.10a} + R_{AGf2.6.10a} = 187.535 \cdot \text{kN}$	Total stödreaktion

Lastfall 3

$R_{APf3.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{P3A} = 135.169 \cdot \text{kN}$	p.g.a punktlast 1
$R_{Apf3.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{p3A} = 6.161 \cdot \text{kN}$	p.g.a utbredd last
$R_{AGf3.6.10a} := G_{ytter6.10a} \cdot cc = 80.975 \cdot \text{kN}$	p.g.a egentyngt
$R_{Af3.6.10a} := R_{APf3.6.10a} + R_{Apf3.6.10a} + R_{AGf3.6.10a} = 222.305 \cdot \text{kN}$	Total stödreaktion

Lastfall 4

$R_{APf4.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{P4A} = -28.249 \cdot \text{kN}$	p.g.a punktlast 1
$R_{Apf4.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{p4A} = 2.782 \cdot \text{kN}$	p.g.a utbredd last
$R_{AGf4.6.10a} := G_{ytter6.10a} \cdot cc = 80.975 \cdot \text{kN}$	p.g.a egentyngt
$R_{Af4.6.10a} := R_{APf4.6.10a} + R_{Apf4.6.10a} + R_{AGf4.6.10a} = 55.508 \cdot \text{kN}$	Total stödreaktion

Stödreaktioner, stöd B, ekvation 6.10a

Lastfall 1

$R_{BPF1.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{P1B} = 96.289 \cdot \text{kN}$	p.g.a punktlast 1
$R_{Bpf1.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{p1B} = 2.087 \cdot \text{kN}$	p.g.a utbredd last
$R_{BGf1.6.10a} := G_{inner6.10a} \cdot cc = 89.972 \cdot \text{kN}$	p.g.a egentyngt
$R_{Bf1.6.10a} := R_{BPF1.6.10a} + R_{Bpf1.6.10a} + R_{BGf1.6.10a} = 188.347 \cdot \text{kN}$	Total stödreaktion

Lastfall 2

$R_{BPF2.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{P2B} = 425.554 \cdot \text{kN}$	p.g.a punktlast 1
$R_{Bpf2.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{p2B} = 15.74 \cdot \text{kN}$	p.g.a utbredd last

$$R_{BGf2.6.10a} := G_{inner6.10a} \cdot cc = 89.972 \cdot kN$$

p.g.a egentyngt

$$R_{Bf2.6.10a} := R_{BPf2.6.10a} + R_{Bpf2.6.10a} + R_{BGf2.6.10a} = 531.266 \cdot kN$$

Total stödreaktion

Lastfall 3

$$R_{BPf3.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{p3B} = 417.049 \cdot kN$$

p.g.a punktlast 1

$$R_{Bpf3.6.10a} := p_{1.6.10a} \cdot f_{p3B} = 8.754 \cdot kN$$

p.g.a utbredd last

$$R_{BGf3.6.10a} := G_{inner6.10a} \cdot cc = 89.972 \cdot kN$$

p.g.a egentyngt

$$R_{Bf3.6.10a} := R_{BPf3.6.10a} + R_{Bpf3.6.10a} + R_{BGf3.6.10a} = 515.775 \cdot kN$$

Total stödreaktion

Lastfall 4

$$R_{BPf4.6.10a} := P_{1.6.10a} \cdot f_{p4B} = 365.715 \cdot kN$$

p.g.a punktlast 1

$$R_{Bpf4.6.10a} := p_{1.6.10a} \cdot f_{p4B} = 7.345 \cdot kN$$

p.g.a utbredd last

$$R_{BGf4.6.10a} := G_{inner6.10a} \cdot cc = 89.972 \cdot kN$$

p.g.a egentyngt

$$R_{Bf4.6.10a} := R_{BPf4.6.10a} + R_{Bpf4.6.10a} + R_{BGf4.6.10a} = 463.032 \cdot kN$$

Total stödreaktion

Formel 6.10b

Reducering av punkt- och utbredda laster för lastfall 1 och 2

Laststorlek enligt 6.10b

$$P_{1.6.10b} := \gamma_Q \cdot Q_{ik1} = 405 \cdot kN$$

Punktlast 1

$$P_{2.6.10b} := \gamma_Q \cdot Q_{ik2} = 270 \cdot kN$$

Punktlast 2

$$p_{1.6.10b} := \gamma_Q \cdot q_{ik1} \cdot cc = 9.45 \cdot \frac{kN}{m}$$

Lastfält 1

$$p_{2.6.10b} := \gamma_Q \cdot q_{ik2} \cdot cc = 3.75 \cdot \frac{kN}{m}$$

Lastfält 2

$$p_{å.6.10b} := \gamma_Q \cdot q_{ikå} \cdot cc = 3.75 \cdot \frac{kN}{m}$$

Återstående lastfält

Egentyngd för båda snitten

$$G_{inner6.10b} := G_{inner} \cdot \gamma_G \cdot \xi = 80.075 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$G_{ytter6.10b} := G_{ytter} \cdot \gamma_G \cdot \xi = 72.068 \cdot \frac{kN}{m}$$

Stödreaktioner, stöd A

Fall 1

$$R_{APf1.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P1A} = 565.38 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a punktlast 1}$$

$$R_{Apf1.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p1A} = 36.855 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a utbredd last}$$

$$R_{AGf1.6.10b} := G_{ytter6.10b} \cdot cc = 72.068 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a egentyngt}$$

$$R_{Af1.6.10b} := R_{APf1.6.10b} + R_{Apf1.6.10b} + R_{AGf1.6.10b} = 674.303 \cdot \text{kN} \quad \text{Total stödreaktion}$$

Fall 2

$$R_{APf2.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P2A} = 137.7 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a punktlast 1}$$

$$R_{Apf2.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p2A} = 8.212 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a utbredd last}$$

$$R_{AGf2.6.10b} := G_{ytter6.10b} \cdot cc = 72.068 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a egentyngt}$$

$$R_{Af2.6.10b} := R_{APf2.6.10b} + R_{Apf2.6.10b} + R_{AGf2.6.10b} = 217.98 \cdot \text{kN} \quad \text{Total stödreaktion}$$

Fall 3

$$R_{APf3.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P3A} = 180.225 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a punktlast 1}$$

$$R_{Apf3.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p3A} = 15.403 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a utbredd last}$$

$$R_{AGf3.6.10b} := G_{ytter6.10b} \cdot cc = 72.068 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a egentyngt}$$

$$R_{Af3.6.10b} := R_{APf3.6.10b} + R_{Apf3.6.10b} + R_{AGf3.6.10b} = 267.696 \cdot \text{kN} \quad \text{Total stödreaktion}$$

Fall 4

$$R_{APf4.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P4A} = -37.665 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a punktlast 1}$$

$$R_{Apf4.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p4A} = 6.955 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a utbredd last}$$

$$R_{AGf4.6.10b} := G_{ytter6.10b} \cdot cc = 72.068 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a egentyngt}$$

$$R_{Af4.6.10b} := R_{APf4.6.10b} + R_{Apf4.6.10b} + R_{AGf4.6.10b} = 41.358 \cdot \text{kN} \quad \text{Total stödreaktion}$$

Stödreaktioner, stöd B

Fall 1

$$R_{BPf1.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P1B} = 128.385 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a punktlast 1}$$

$$R_{Bpf1.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p1B} = 5.216 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a utbredd last}$$

$$R_{BGf1.6.10b} := G_{\text{inner}6.10b} \cdot cc = 80.075 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a egentyngt}$$

$$R_{Bf1.6.10b} := R_{BPf1.6.10b} + R_{Bpf1.6.10b} + R_{BGf1.6.10b} = 213.677 \cdot \text{kN} \quad \text{Total stödreaktion}$$

Fall 2

$$R_{BPf2.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p2B} = 567.405 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a punktlast 1}$$

$$R_{Bpf2.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p2B} = 39.35 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a utbredd last}$$

$$R_{BGf2.6.10b} := G_{\text{inner}6.10b} \cdot cc = 80.075 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a egentyngt}$$

$$R_{Bf2.6.10b} := R_{BPf2.6.10b} + R_{Bpf2.6.10b} + R_{BGf2.6.10b} = 686.83 \cdot \text{kN} \quad \text{Total stödreaktion}$$

Fall 3

$$R_{BPf3.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p3B} = 556.065 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a punktlast 1}$$

$$R_{Bpf3.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p3B} = 21.886 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a utbredd last}$$

$$R_{BGf3.6.10b} := G_{\text{inner}6.10b} \cdot cc = 80.075 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a egentyngt}$$

$$R_{Bf3.6.10b} := R_{BPf3.6.10b} + R_{Bpf3.6.10b} + R_{BGf3.6.10b} = 658.026 \cdot \text{kN} \quad \text{Total stödreaktion}$$

Fall 4

$$R_{BPf4.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p4B} = 487.62 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a punktlast 1}$$

$$R_{Bpf4.6.10b} := P_{1.6.10b} \cdot f_{p4B} = 18.361 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a utbredd last}$$

$$R_{BGf4.6.10b} := G_{\text{inner}6.10b} \cdot cc = 80.075 \cdot \text{kN} \quad \text{p.g.a egentyngt}$$

$$R_{Bf4.6.10b} := R_{BPf4.6.10b} + R_{Bpf4.6.10b} + R_{BGf4.6.10b} = 586.057 \cdot \text{kN} \quad \text{Total stödreaktion}$$

Sammanställning stödreaktioner

Stöd A

$$R_{Af1.6.10a} = 519.752 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Af2.6.10a} = 187.535 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Af3.6.10a} = 222.305 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Af4.6.10a} = 55.508 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Af1.6.10b} = 674.303 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Af2.6.10b} = 217.98 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Af3.6.10b} = 267.696 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Af4.6.10b} = 41.358 \cdot \text{kN}$$

$$R_{A\text{dim}.f1} := \max(R_{Af1.6.10a}, R_{Af1.6.10b}) = 674.303 \cdot \text{kN}$$

$$R_{A\text{dim}.f2} := \max(R_{Af2.6.10a}, R_{Af2.6.10b}) = 217.98 \cdot \text{kN}$$

$$R_{A\text{dim}.f3} := \max(R_{Af3.6.10a}, R_{Af3.6.10b}) = 267.696 \cdot \text{kN}$$

$$R_{A\text{dim}.f4} := \max(R_{Af4.6.10a}, R_{Af4.6.10b}) = 55.508 \cdot \text{kN}$$

Stöd B

$$R_{Bf1.6.10a} = 188.347 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf2.6.10a} = 531.266 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf3.6.10a} = 515.775 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf4.6.10a} = 463.032 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf1.6.10b} = 213.677 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf2.6.10b} = 686.83 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf3.6.10b} = 658.026 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf4.6.10b} = 586.057 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B\text{dim}.f1} := \max(R_{Bf1.6.10a}, R_{Bf1.6.10b}) = 213.677 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B\text{dim}.f2} := \max(R_{Bf2.6.10a}, R_{Bf2.6.10b}) = 686.83 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B\text{dim}.f3} := \max(R_{Bf3.6.10a}, R_{Bf3.6.10b}) = 658.026 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B\text{dim}.f4} := \max(R_{Bf4.6.10a}, R_{Bf4.6.10b}) = 586.057 \cdot \text{kN}$$

För båda stöden och båda lastfallen blir ekvation 6.10b dimensionerande

Bruksgränstillstånd

Vid beräkning av bruksgränstillstånd enligt SS-EN 1990 sätts

lastreduktionstalet för långtidslast, ψ_2 , till 0. Enligt formel 6.16b så erhålls lastfallskombinationen $\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_2 \cdot Q_{k,j}$. Alltså påverkar endast egentvyngheden.

$$G_{\text{inner}} := 66.646 \text{ kN}$$

$$G_{\text{ytter}} := 59.981 \text{ kN}$$

$$R_{\text{Abruk}} := G_{\text{ytter}} = 59.981 \cdot \text{kN}$$

$$R_{\text{Bbruk}} := G_{\text{inner}} = 66.646 \cdot \text{kN}$$

$$g_{\text{bruk}} := 13.329 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

B.3.7 - Moment och tvärkraft

B.3.7.1 - Moment

Brottgränstillstånd

$$G_{\text{platta.6.10b}} := g_{\text{platta}} \cdot cc \cdot \gamma_G \cdot \xi = 16.015 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

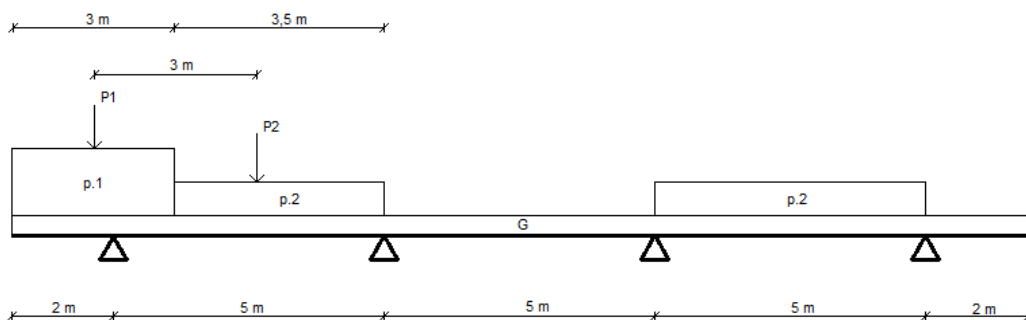
För momentekvationen gäller att punktlasterna sprids på 1.2m och inte 1m. Reducerar därför punktlasternas storlek. Ytterligare gäller att moment och tvärkraft enbart beräknats fram till mitten av plattan, symmetri gäller i andra delen.

Ekvation 6.10b är dimensionerande.

$$P_{1.6.10b} := \frac{P_{1.6.10b}}{1.2} = 337.5 \cdot \text{kN}$$

$$P_{2.6.10b} := \frac{P_{2.6.10b}}{1.2} = 225 \cdot \text{kN}$$

Lastfall 1



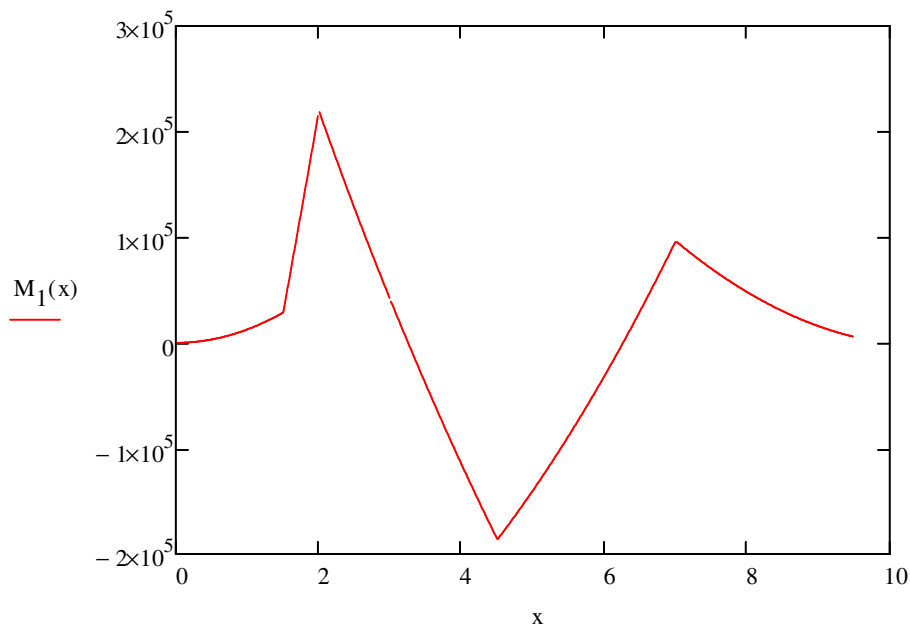
Reaktionskrafter

Bilaga B.3 - Tvärlädd

$$R_{Af1} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P1A} + R_{Apf1.6.10b} + R_{AGf1.6.10b} = 580.073 \cdot \text{kN}$$

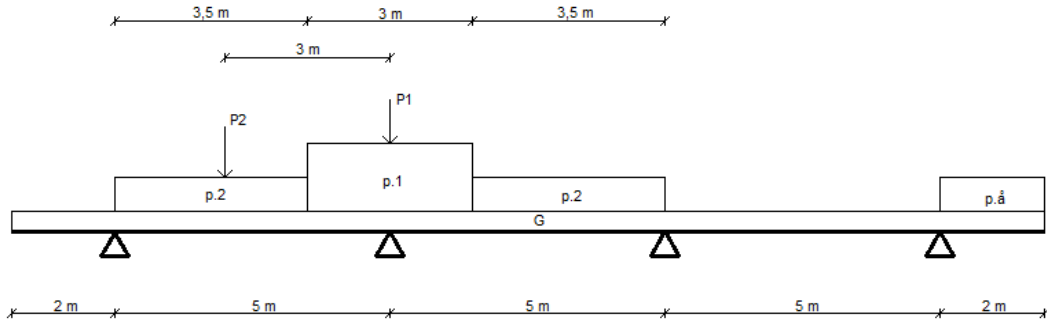
$$R_{Bf1} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P1B} + R_{Bpf1.6.10b} + R_{BGf1.6.10b} = 192.279 \cdot \text{kN}$$

$$M_1(x) := \begin{cases} P_{1.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 0\text{m} < x < 1.5\text{m} \\ P_{1.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{1.6.10b} \cdot (x - 1.5\text{m}) + G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 1.5\text{m} < x < 2\text{m} \\ P_{1.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{1.6.10b} \cdot (x - 1.5\text{m}) - R_{Af1} \cdot (x - 2\text{m}) + G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 2\text{m} < x < 3\text{m} \\ P_{1.6.10b} \cdot 3 \cdot \text{m} \cdot (x - 1.5\text{m}) + P_{1.6.10b} \cdot (x - 1.5\text{m}) - R_{Af1} \cdot (x - 2\text{m}) \dots & \text{if } 3\text{m} < x < 4.5\text{m} \\ + P_{2.6.10b} \cdot \frac{(x - 3\text{m})^2}{2} + G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} & \\ P_{1.6.10b} \cdot 3 \cdot \text{m} \cdot (x - 1.5\text{m}) + P_{1.6.10b} \cdot (x - 1.5\text{m}) - R_{Af1} \cdot (x - 2\text{m}) \dots & \text{if } 4.5\text{m} < x < 7\text{m} \\ + P_{2.6.10b} \cdot \frac{(x - 3\text{m})^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot (x - 4.5\text{m}) + G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} & \\ P_{1.6.10b} \cdot 3 \cdot \text{m} \cdot (x - 1.5\text{m}) \dots & \text{if } 7\text{m} < x < 9.5\text{m} \\ + P_{1.6.10b} \cdot (x - 1.5\text{m}) - R_{Af1} \cdot (x - 2\text{m}) + P_{2.6.10b} \cdot 3.5\text{m} \cdot (x - 4.75\text{m}) \dots & \\ + P_{2.6.10b} \cdot (x - 4.5\text{m}) - R_{Bf1} \cdot (x - 7\text{m}) + G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} & \end{cases}$$



Momentdiagram lastfall 1

Lastfall 2



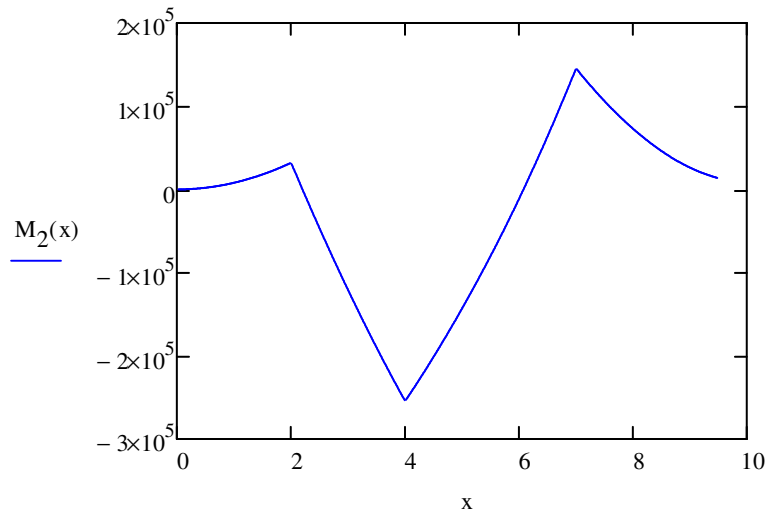
Reaktionskrafter

$$R_{Af2} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P2A} + R_{Apf2.6.10b} + R_{AGf2.6.10b} = 195.03 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf2} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P2B} + R_{Bpf2.6.10b} + R_{BGf2.6.10b} = 592.263 \cdot \text{kN}$$

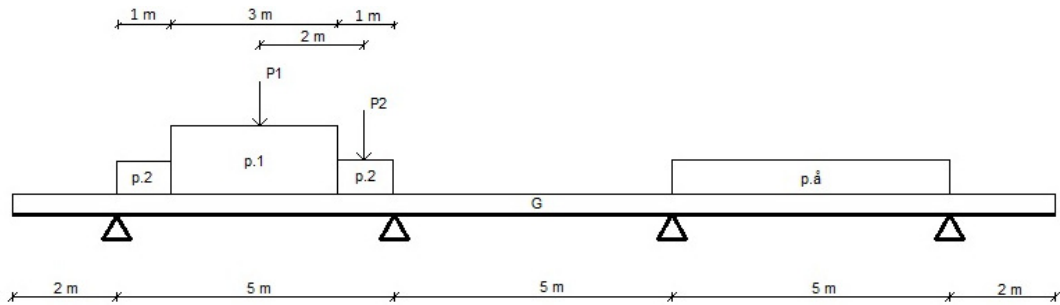
$$M_2(x) := \begin{cases} G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 0\text{m} < x < 2\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot \frac{(x-2\text{m})^2}{2} - R_{Af2} \cdot (x-2\text{m}) & \text{if } 2\text{m} < x < 4\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} \dots & \text{if } 4\text{m} < x < 5.5\text{m} \\ + P_{2.6.10b} \cdot \frac{(x-2\text{m})^2}{2} - R_{Af2} \cdot (x-2\text{m}) + P_{2.6.10b} \cdot (x-4\text{m}) & \\ G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot 3.5\text{m} \cdot (x-3.75\text{m}) - R_{Af2} \cdot (x-2\text{m}) \dots & \text{if } 5.5\text{m} < x < 7\text{m} \\ + P_{2.6.10b} \cdot (x-4\text{m}) + P_{1.6.10b} \cdot \frac{(x-5.5\text{m})^2}{2} & \\ G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot 3.5\text{m} \cdot (x-3.75\text{m}) - R_{Af2} \cdot (x-2\text{m}) \dots & \text{if } 7\text{m} < x < 8.5\text{m} \\ + P_{2.6.10b} \cdot (x-4\text{m}) + P_{1.6.10b} \cdot \frac{(x-5.5\text{m})^2}{2} \dots & \\ + P_{1.6.10b} \cdot (x-7\text{m}) - R_{Bf2} \cdot (x-7\text{m}) & \\ G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot 3.5\text{m} \cdot (x-3.75\text{m}) - R_{Af2} \cdot (x-2\text{m}) \dots & \text{if } 8.5\text{m} < x < 9.5\text{m} \\ (x-5.5\text{m})^2 & \end{cases}$$

$$\begin{aligned} &+ P_{2.6.10b} \cdot (x - 4m) + p_{1.6.10b} \cdot \frac{(x - 4m)^2}{2} \dots \\ &+ P_{1.6.10b} \cdot (x - 7m) - R_{Bf2} \cdot (x - 7m) + p_{2.6.10b} \cdot \frac{(x - 8.5m)^2}{2} \end{aligned}$$



Momentdiagram lastfall 2

Lastfall 3

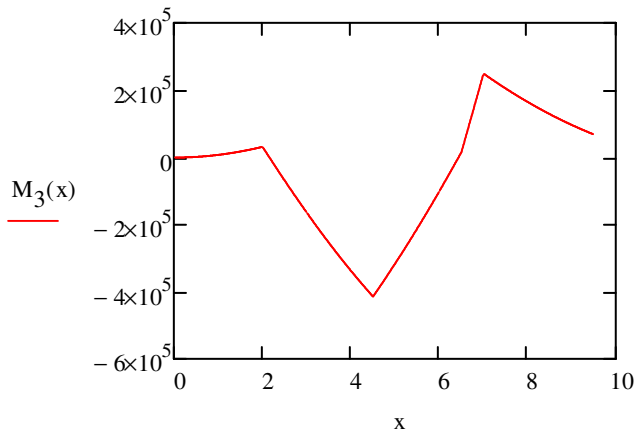


Reaktionskrafter

$$R_{Af3} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P3A} + R_{Apf3.6.10b} + R_{AGf3.6.10b} = 237.659 \cdot \text{kN}$$

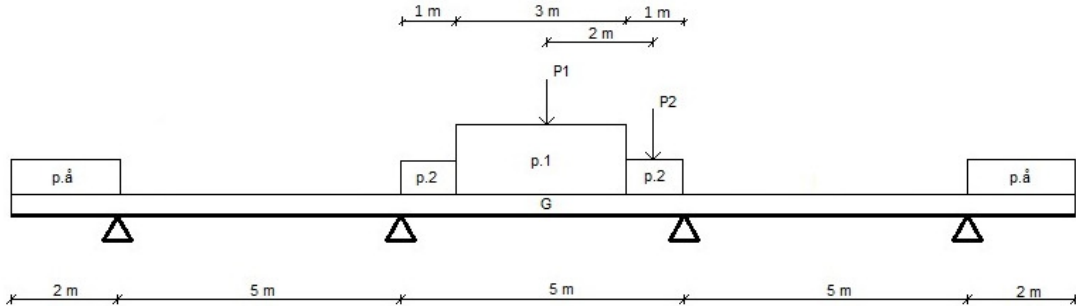
$$R_{Bf3} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P3B} + R_{Bpf3.6.10b} + R_{BGf3.6.10b} = 565.349 \cdot \text{kN}$$

$$\begin{aligned}
 M_3(x) := & G_{\text{platta}.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} \quad \text{if } 0\text{m} < x < 2\text{m} \\
 & G_{\text{platta}.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + p_{2.6.10b} \cdot \frac{(x-2\text{m})^2}{2} - R_{\text{Af}3} \cdot (x-2\text{m}) \quad \text{if } 2\text{m} < x < 3\text{m} \\
 & G_{\text{platta}.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} \dots \quad \text{if } 3\text{m} < x < 4.5\text{m} \\
 & + p_{2.6.10b} \cdot 1\text{m} \cdot (x-2.5\text{m}) - R_{\text{Af}3} \cdot (x-2\text{m}) + p_{1.6.10b} \cdot \frac{(x-3\text{m})^2}{2} \\
 & G_{\text{platta}.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + p_{2.6.10b} \cdot 1\text{m} \cdot (x-2.5\text{m}) - R_{\text{Af}3} \cdot (x-2\text{m}) \dots \quad \text{if } 4.5\text{m} < x < 6\text{m} \\
 & + p_{1.6.10b} \cdot \frac{(x-3\text{m})^2}{2} + p_{1.6.10b} \cdot (x-4.5\text{m}) \\
 & G_{\text{platta}.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + p_{2.6.10b} \cdot 1\text{m} \cdot (x-2.5\text{m}) - R_{\text{Af}3} \cdot (x-2\text{m}) \dots \quad \text{if } 6\text{m} < x < 6.5\text{m} \\
 & + p_{1.6.10b} \cdot 3\text{m} \cdot (x-4.5\text{m}) + p_{1.6.10b} \cdot (x-4.5\text{m}) + p_{2.6.10b} \cdot \frac{(x-6\text{m})^2}{2} \\
 & G_{\text{platta}.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + p_{2.6.10b} \cdot 1\text{m} \cdot (x-2.5\text{m}) - R_{\text{Af}3} \cdot (x-2\text{m}) \dots \quad \text{if } 6.5\text{m} < x < 7\text{m} \\
 & + p_{1.6.10b} \cdot 3\text{m} \cdot (x-4.5\text{m}) + p_{1.6.10b} \cdot (x-4.5\text{m}) \dots \\
 & + p_{2.6.10b} \cdot \frac{(x-6\text{m})^2}{2} + p_{2.6.10b} \cdot (x-6.5\text{m}) \\
 & G_{\text{platta}.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + p_{2.6.10b} \cdot 1\text{m} \cdot (x-2.5\text{m}) - R_{\text{Af}3} \cdot (x-2\text{m}) \dots \quad \text{if } 7\text{m} < x < 9.5\text{m} \\
 & + p_{1.6.10b} \cdot 3\text{m} \cdot (x-4.5\text{m}) + p_{1.6.10b} \cdot (x-4.5\text{m}) + p_{2.6.10b} \cdot 1\text{m} \cdot (x-6.5\text{m}) \dots \\
 & + p_{2.6.10b} \cdot (x-6.5\text{m}) - R_{\text{Bf}3} \cdot (x-7\text{m})
 \end{aligned}$$



Momentdiagram lastfall 3

Lastfall 4



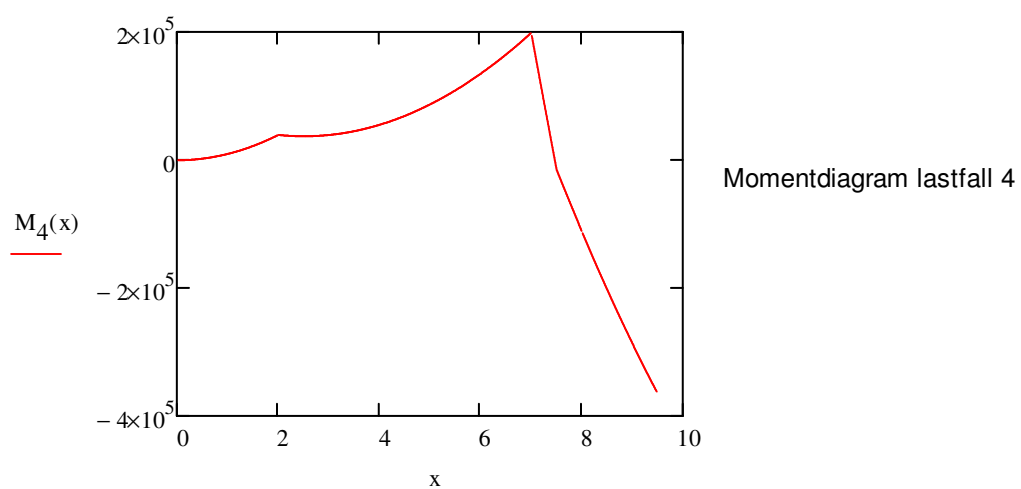
Reaktionskrafter

$$R_{Af4} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P4A} + R_{Apf4.6.10b} + R_{AGf4.6.10b} = 47.635 \cdot \text{kN}$$

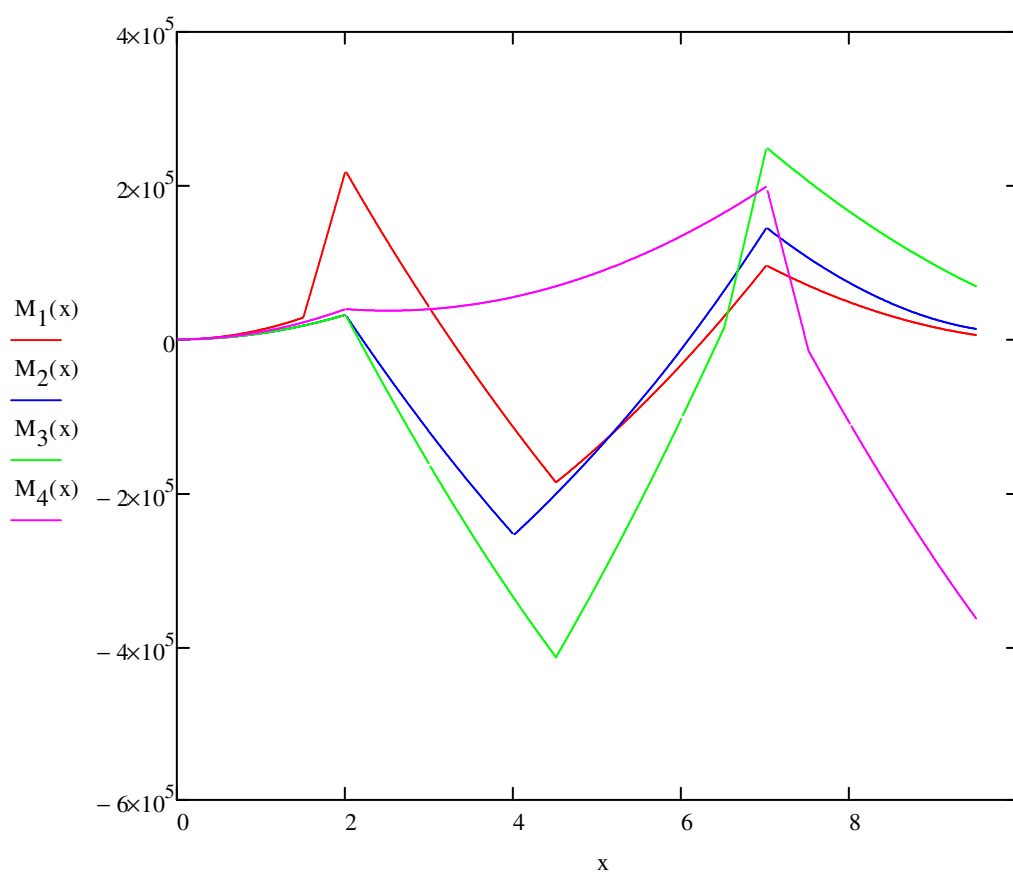
$$R_{Bf4} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P4B} + R_{Bpf4.6.10b} + R_{BGf4.6.10b} = 504.787 \cdot \text{kN}$$

$$M_4(x) := \begin{cases} G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 0\text{m} < x < 2\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot 2\text{m} \cdot (x - 1\text{m}) - R_{Af4} \cdot (x - 2\text{m}) & \text{if } 2\text{m} < x < 7\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot 2\text{m} \cdot (x - 1\text{m}) - R_{Af4} \cdot (x - 2\text{m}) \dots & \text{if } 7\text{m} < x < 7.5\text{m} \\ + -R_{Bf4} \cdot (x - 7\text{m}) + P_{2.6.10b} \cdot \frac{(x - 7\text{m})^2}{2} & \\ G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot 2\text{m} \cdot (x - 1\text{m}) \dots & \text{if } 7.5\text{m} < x < 8\text{m} \\ + -R_{Af4} \cdot (x - 2\text{m}) - R_{Bf4} \cdot (x - 7\text{m}) \dots & \\ + P_{2.6.10b} \cdot \frac{(x - 7\text{m})^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot (x - 7.5\text{m}) & \\ G_{platta.6.10b} \cdot \frac{x^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot 2\text{m} \cdot (x - 1\text{m}) \dots & \text{if } 8\text{m} < x < 9.5\text{m} \\ + -R_{Af4} \cdot (x - 2\text{m}) - R_{Bf4} \cdot (x - 7\text{m}) \dots & \\ + P_{2.6.10b} \cdot 1\text{m} \cdot (x - 7.5\text{m}) + P_{1.6.10b} \cdot \frac{(x - 8\text{m})^2}{2} + P_{2.6.10b} \cdot (x - 7.5\text{m}) & \end{cases}$$

Bilaga B.3 - Tvärled



Sammanställning av momentdiagram



Max stödmoment

$$M_{EDA} := M_1(1.999\text{m}) = 219.292 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{EDB} := M_3(6.999\text{m}) = 249.477 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

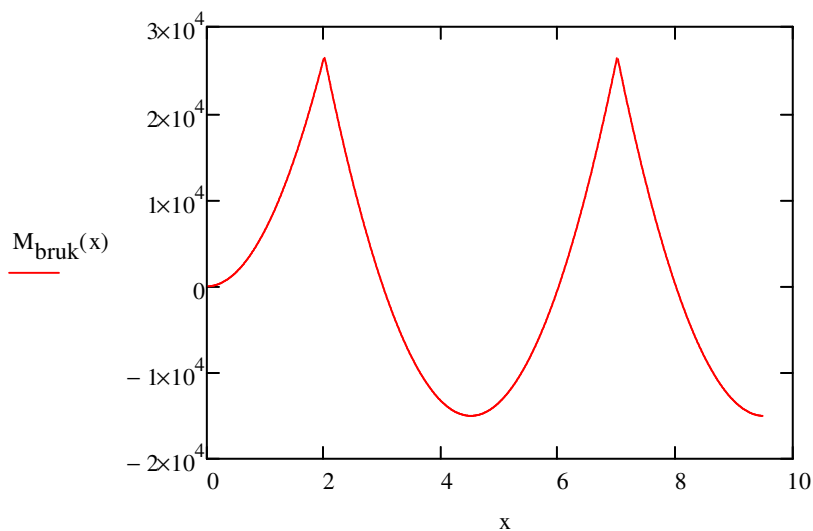
Max fältmoment

$$M_{ED1} := M_3(4.49\text{m}) = -412.385 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ED2} := M_4(9.499\text{m}) = -364.522 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Bruksgränstillstånd

$$M_{\text{bruk}}(x) := \begin{cases} g_{\text{bruk}} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 0\text{m} < x < 2\text{m} \\ g_{\text{bruk}} \cdot \frac{x^2}{2} - R_{A\text{bruk}} \cdot (x - 2\text{m}) & \text{if } 2\text{m} < x < 7\text{m} \\ g_{\text{bruk}} \cdot \frac{x^2}{2} - R_{A\text{bruk}} \cdot (x - 2\text{m}) - R_{B\text{bruk}} \cdot (x - 7\text{m}) & \text{if } 7\text{m} < x < 9.5\text{m} \end{cases}$$



Momentdiagram
bruksgränstillstånd

Maxmoment

$$M_{\text{max.stöd.bruk}} := 26.44 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{max.fält.bruk}} := -14.992 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

B.3.7.2 - Tvärkraft

Brottgränstillstånd

Vid dimensionerande tvärkraft kan punktlasterna reduceras med hänsyn till lastspridning. Enligt TRVR 11 kan lasterna reduceras med en faktor b-effektiv, som är maximala värdet av

$$b_{ef} = \begin{cases} 7 \cdot d + b + t \\ 10d + 1.3x \end{cases}$$

där d=plattans effektiva höjd

t=tjocklek av beläggning

x=avsånd från lastcentrum till dimensionerande snitt

b=Lastbredden

I denna tvärkraftsberäkning kommer den översta ekvationen användas. Detta kan anses som dimensionering på säker sida.

$$d := 0.332\text{m}$$

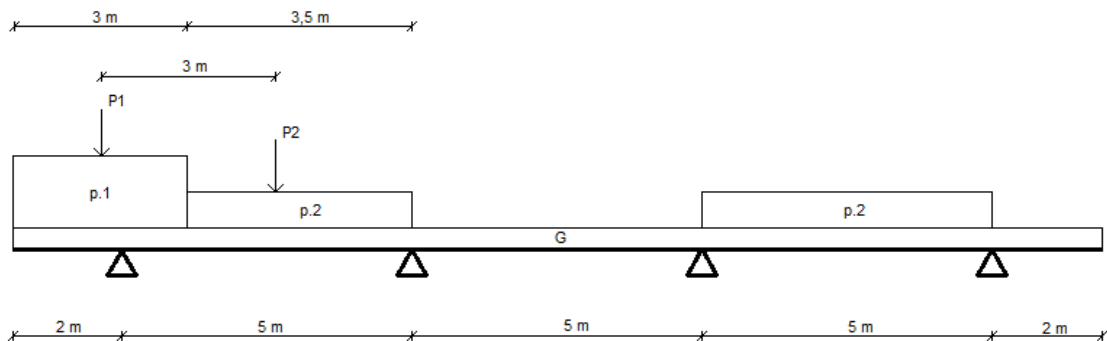
$$b := 0.4\text{m}$$

$$b_{ef} := 7 \cdot \frac{d}{m} + \frac{b}{m} + \frac{t_{bel}}{m} = 2.839$$

$$P_{1.6.10b} := \frac{P_{1.6.10b} \cdot 1.2}{b_{ef}} = 142.656 \cdot \text{kN}$$

$$P_{2.6.10b} := \frac{P_{2.6.10b} \cdot 1.2}{b_{ef}} = 95.104 \cdot \text{kN}$$

Lastfall 1



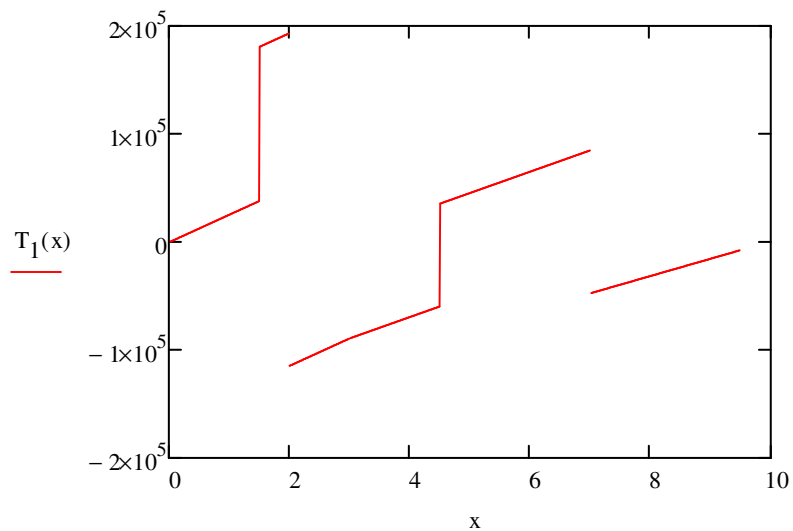
Reaktionskrafter

$$R_{Aef1} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P1A} + R_{Apf1.6.10b} + R_{AGf1.6.10b} = 308.07 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bef1} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P1B} + R_{Bpf1.6.10b} + R_{BGf1.6.10b} = 130.514 \cdot \text{kN}$$

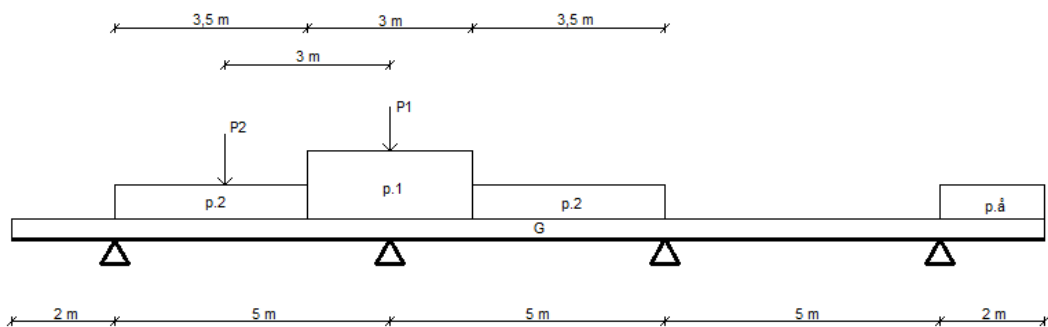
Bilaga B.3 - Tvärled

$$T_1(x) := \begin{cases} P_{1.6.10b} \cdot x + G_{platta.6.10b} \cdot x & \text{if } 0\text{m} < x < 1.5\text{m} \\ P_{1.6.10b} \cdot x + P_{1.6.10b} + G_{platta.6.10b} \cdot x & \text{if } 1.5\text{m} < x \leq 2\text{m} \\ P_{1.6.10b} \cdot x + P_{1.6.10b} - R_{Af1} + G_{platta.6.10b} \cdot x & \text{if } 2\text{m} \leq x < 3\text{m} \\ P_{1.6.10b} \cdot 3\text{m} + P_{1.6.10b} - R_{Af1} \dots & \text{if } 3\text{m} < x < 4.5\text{m} \\ + P_{2.6.10b} \cdot (x - 3\text{m}) + G_{platta.6.10b} \cdot x & \\ P_{1.6.10b} \cdot 3\text{m} + P_{1.6.10b} - R_{Af1} \dots & \text{if } 4.5\text{m} < x < 7\text{m} \\ + P_{2.6.10b} \cdot (x - 3\text{m}) + P_{2.6.10b} + G_{platta.6.10b} \cdot x & \\ P_{1.6.10b} \cdot 3\text{m} + P_{1.6.10b} - R_{Af1} \dots & \text{if } 7\text{m} < x < 9.5\text{m} \\ + P_{2.6.10b} \cdot 3.5\text{m} + P_{2.6.10b} - R_{Bf1} + G_{platta.6.10b} \cdot x & \end{cases}$$



Tvärkraftsdiagram lastfall 1

Lastfall 2

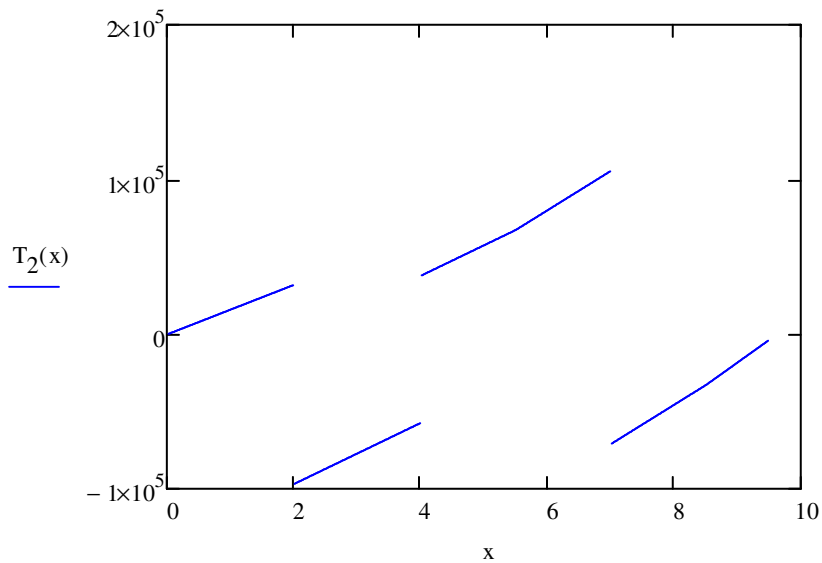


Reaktionskrafter

$$R_{Af2} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P2A} + R_{Apf2.6.10b} + R_{AGf2.6.10b} = 128.783 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf2} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P2B} + R_{Bpf2.6.10b} + R_{BGf2.6.10b} = 319.286 \cdot \text{kN}$$

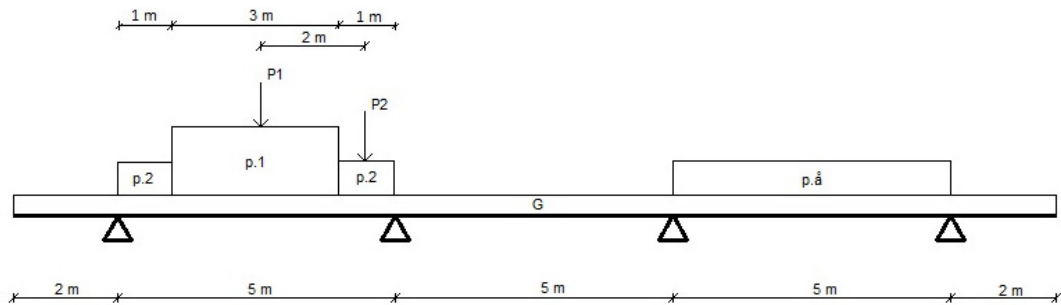
$$T_2(x) := \begin{cases} G_{platta.6.10b} \cdot x & \text{if } 0\text{m} < x < 2\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + p_{2.6.10b} \cdot (x - 2\text{m}) - R_{Af2} & \text{if } 2\text{m} < x < 4\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + p_{2.6.10b} \cdot (x - 2\text{m}) - R_{Af2} + P_{2.6.10b} & \text{if } 4\text{m} < x < 5.5\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + p_{2.6.10b} \cdot 3.5\text{m} - R_{Af2} \dots & \text{if } 5.5\text{m} < x < 7\text{m} \\ + P_{2.6.10b} + p_{1.6.10b} \cdot (x - 5.5\text{m}) & \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + p_{2.6.10b} \cdot 3.5\text{m} - R_{Af2} \dots & \text{if } 7\text{m} < x < 8.5\text{m} \\ + P_{2.6.10b} + p_{1.6.10b} \cdot (x - 5.5\text{m}) + P_{1.6.10b} - R_{Bf2} & \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + p_{2.6.10b} \cdot 3.5\text{m} - R_{Af2} \dots & \text{if } 8.5\text{m} < x < 9.5\text{m} \\ + P_{2.6.10b} + p_{1.6.10b} \cdot (x - 5.5\text{m}) \dots & \\ + P_{1.6.10b} - R_{Bf2} + p_{2.6.10b} \cdot (x - 8.5\text{m}) & \end{cases}$$



Tvärkraftsdiagram lastfall 2

Lastfall 3

Bilaga B.3 - Tvärled

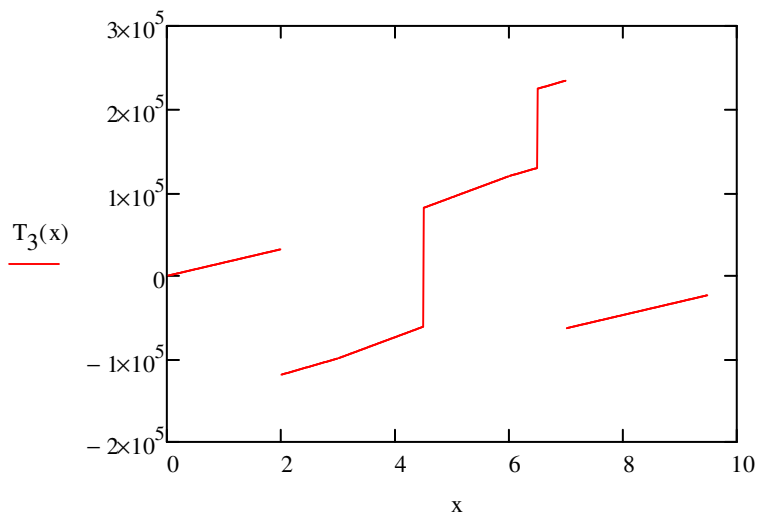


Reaktionskrafter

$$R_{Af3} := P_{1.6.10b} \cdot p_{3A} + R_{Apf3.6.10b} + R_{AGf3.6.10b} = 150.953 \cdot \text{kN}$$

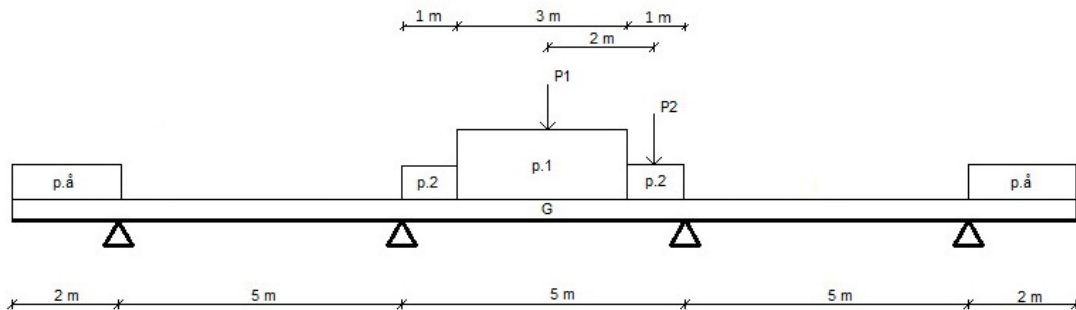
$$R_{Bf3} := P_{1.6.10b} \cdot p_{3B} + R_{Bpf3.6.10b} + R_{BGf3.6.10b} = 297.828 \cdot \text{kN}$$

$$T_3(x) := \begin{cases} G_{platta.6.10b} \cdot x & \text{if } 0m < x < 2m \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + P_{2.6.10b} \cdot (x - 2m) - R_{Af3} & \text{if } 2m < x < 3m \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + P_{2.6.10b} \cdot 1m - R_{Af3} + P_{1.6.10b} \cdot (x - 3m) & \text{if } 3m < x < 4.5m \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + P_{2.6.10b} \cdot 1m - R_{Af3} + P_{1.6.10b} \cdot (x - 3m) + P_{1.6.10b} & \text{if } 4.5m < x < 6m \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + P_{2.6.10b} \cdot 1m - R_{Af3} \dots & \text{if } 6m < x < 6.5m \\ + P_{1.6.10b} \cdot 3m + P_{1.6.10b} + P_{2.6.10b} \cdot (x - 6m) & \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + P_{2.6.10b} \cdot 1m - R_{Af3} + P_{1.6.10b} \cdot 3m \dots & \text{if } 6.5m < x < 7m \\ + P_{1.6.10b} + P_{2.6.10b} \cdot (x - 6m) + P_{2.6.10b} & \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + P_{2.6.10b} \cdot 1m - R_{Af3} + P_{1.6.10b} \cdot 3m \dots & \text{if } 7m < x < 9.5m \\ + P_{1.6.10b} + P_{2.6.10b} \cdot 1m + P_{2.6.10b} - R_{Bf3} & \end{cases}$$



Tvärkraftsdiagram
lastfall 3

Lastfall 4

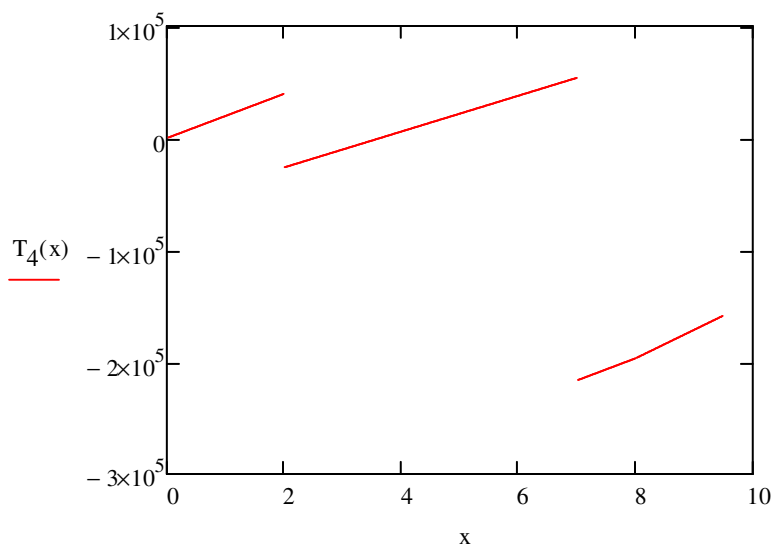


Reaktionskrafter

$$R_{Af4} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P4A} + R_{Apf4.6.10b} + R_{AGf4.6.10b} = 65.756 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bf4} := P_{1.6.10b} \cdot f_{P4B} + R_{Bpf4.6.10b} + R_{BGf4.6.10b} = 270.194 \cdot \text{kN}$$

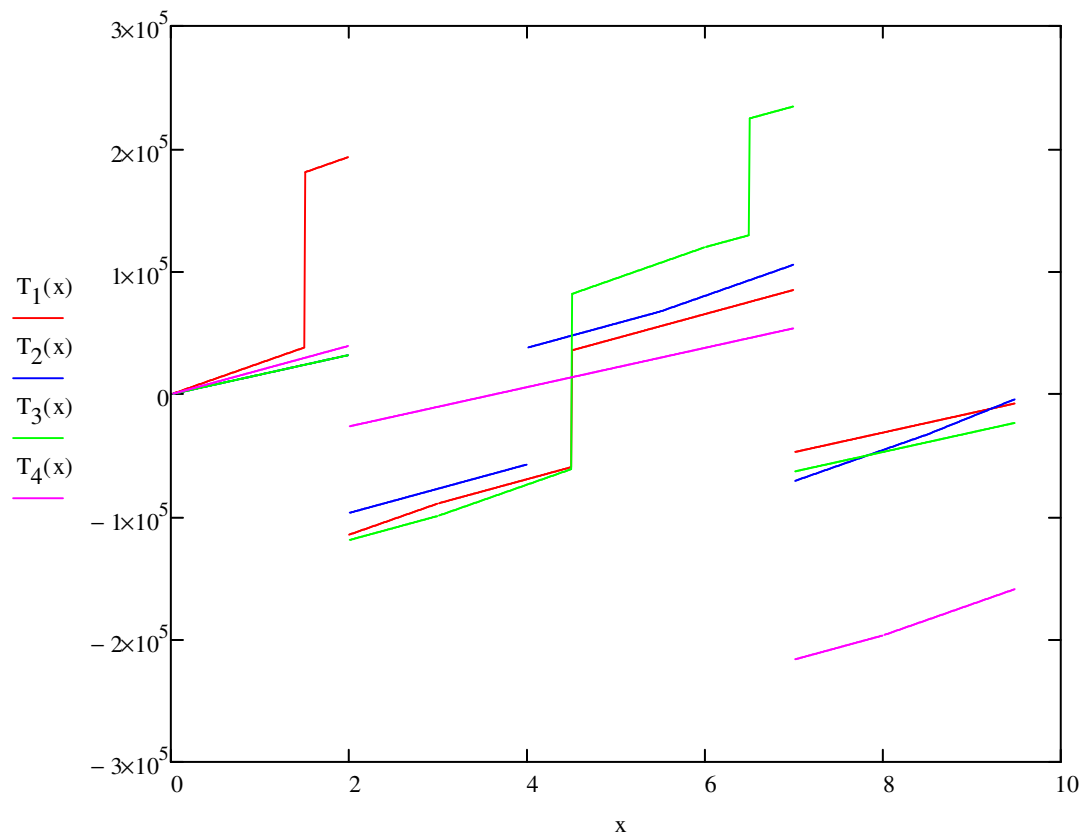
$$T_4(x) := \begin{cases} G_{platta.6.10b} \cdot x + p_{2.6.10b} \cdot x & \text{if } 0\text{m} < x < 2\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + p_{2.6.10b} \cdot 2\text{m} - R_{Af4} & \text{if } 2\text{m} < x < 7\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + p_{2.6.10b} \cdot 2\text{m} - R_{Af4} - R_{Bf4} + p_{2.6.10b} \cdot (x - 7\text{m}) & \text{if } 7\text{m} < x < 8\text{m} \\ G_{platta.6.10b} \cdot x + p_{2.6.10b} \cdot 2\text{m} - R_{Af4} - R_{Bf4} + p_{2.6.10b} \cdot 1\text{m} + p_{1.6.10b} \cdot (x - 8\text{m}) & \text{if } 8\text{m} < x < 9.5\text{m} \end{cases}$$



Tvärkraftsdiagram
lastfall 4

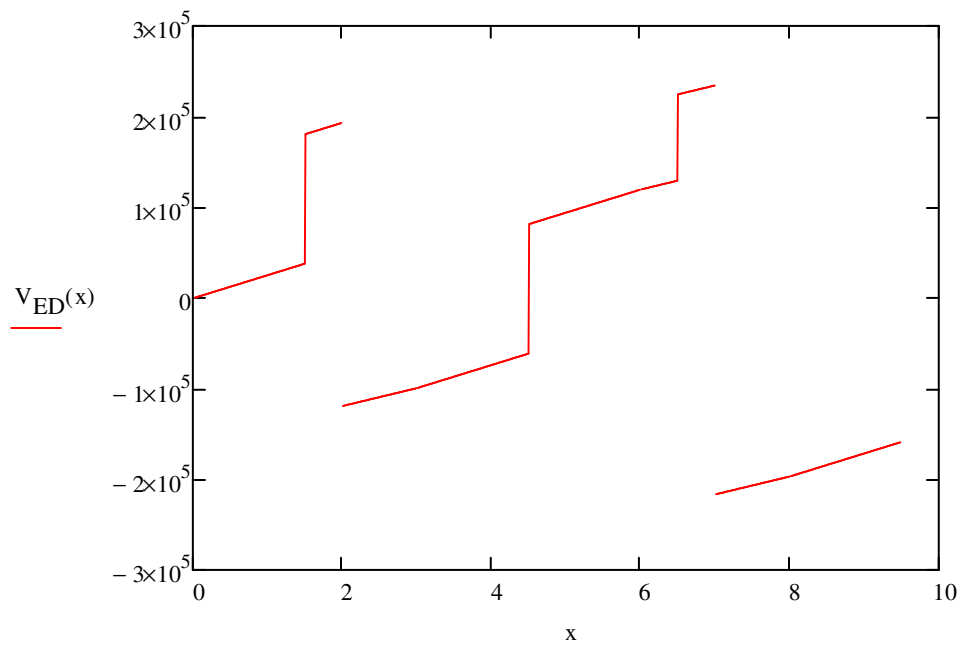
Sammanställning av tvärkraftsdiagram

Bilaga B.3 - Tvärled



Dimensionerande tvärkraft

$$V_{ED}(x) := \begin{cases} T_1(x) & \text{if } 0\text{m} < x < 2\text{m} \\ T_3(x) & \text{if } 2\text{m} < x < 7\text{m} \\ T_4(x) & \text{if } 7\text{m} < x < 9.5\text{m} \end{cases}$$



Tvärkrafter vid kritiska snitt

$$V_{ED}(2\text{m} - 0.743\text{m}) = 32.01 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ED}(2\text{m} + 0.743\text{m}) = -104.238 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ED}(7\text{m} - 0.743\text{m}) = 124.973 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ED}(7\text{m} + 0.743\text{m}) = -201.659 \cdot \text{kN}$$

Dragkraftsbehov

$$z := 0.9 \cdot d = 0.299 \text{ m}$$

$$\bar{s} := 0 \text{ mm}$$

$$F_{sy2}(x) := f_{yd} \cdot 2 \cdot A_{si}$$

$$F_{sy4}(x) := f_{yd} \cdot 4 \cdot A_{si}$$

$$F_{sy6}(x) := f_{yd} \cdot 6 \cdot A_{si}$$

$$F_{sy8}(x) := f_{yd} \cdot A_{si} \cdot 8$$

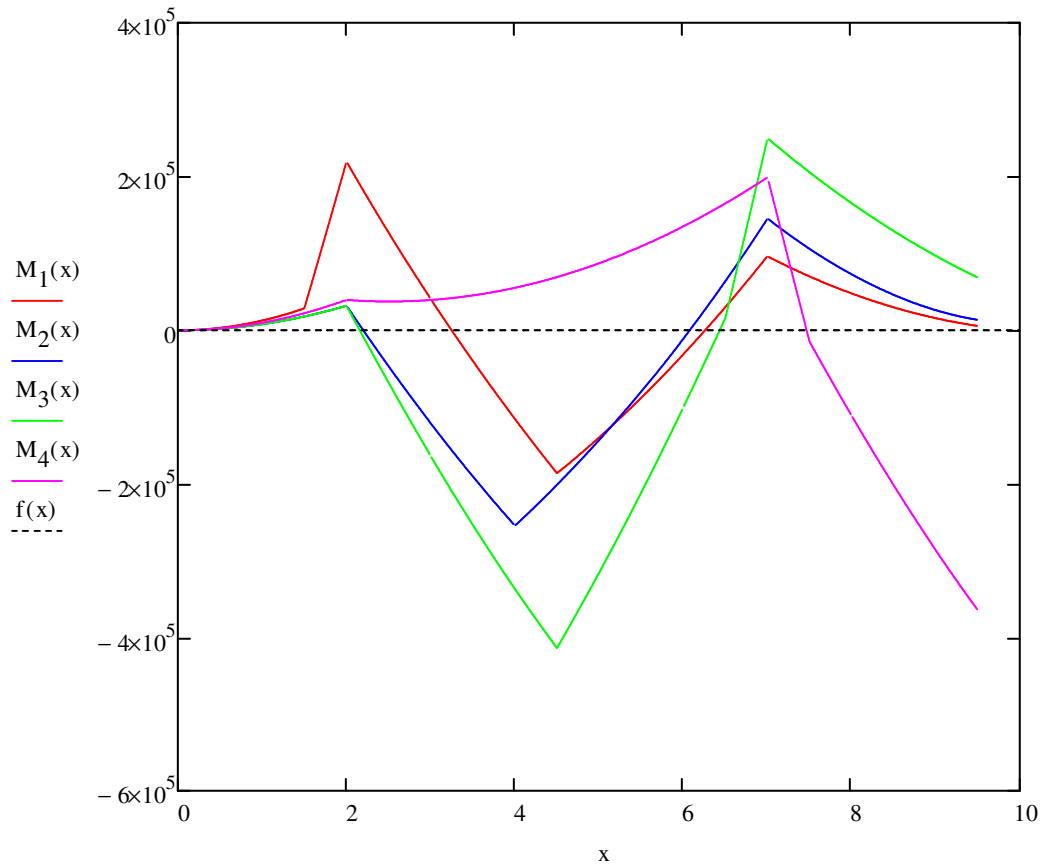
$$F_{sy10}(x) := f_{yd} \cdot A_{si} \cdot 10$$

Bilaga B.3 - Tvärlädd

$$F_{sy12}(x) := f_{yd} \cdot A_{si} \cdot 12$$

$$F_{sy14}(x) := f_{yd} \cdot A_{si} \cdot 14$$

$$f(x) := 0 \text{ kN}$$

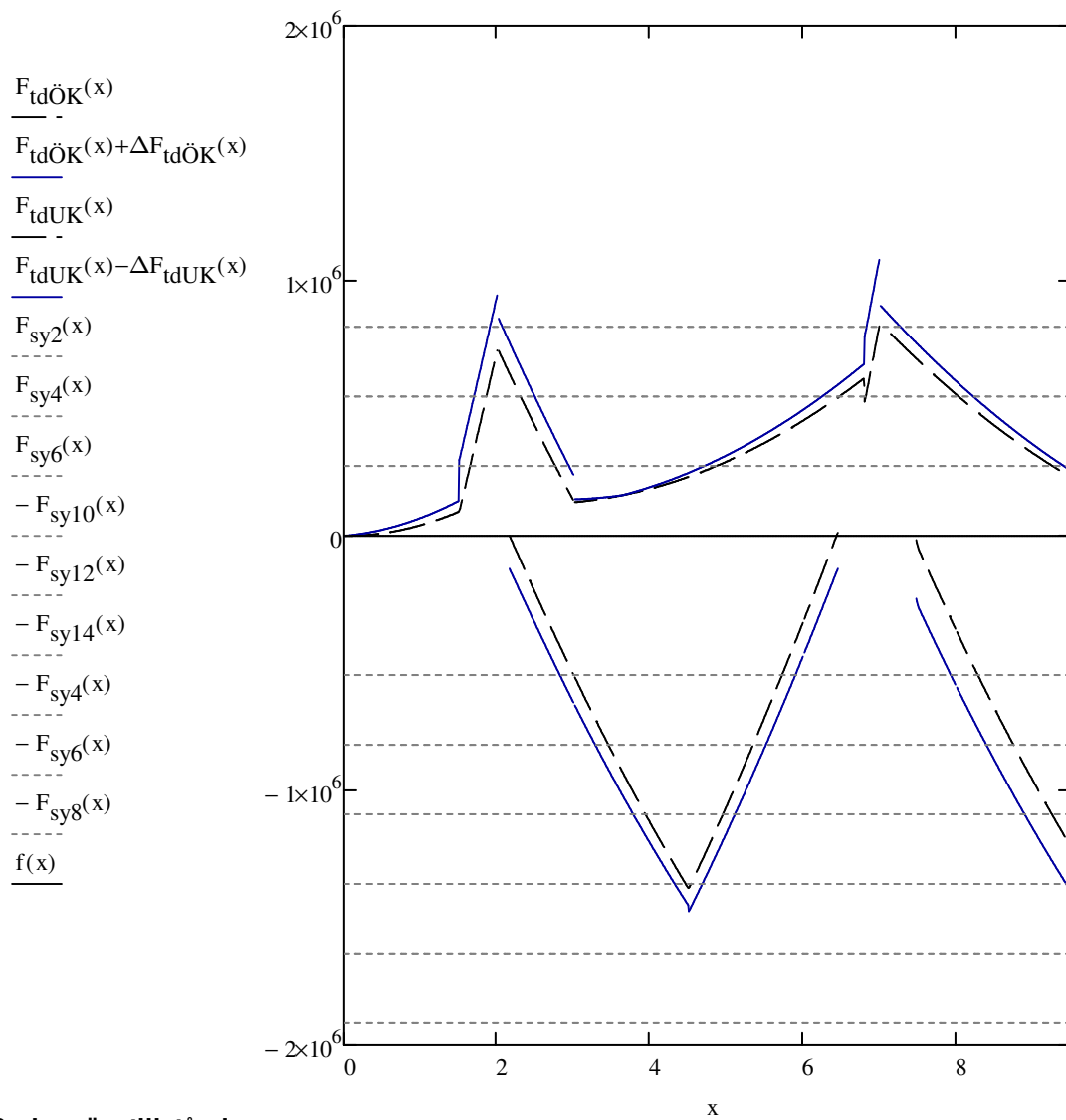


$$F_{tdÖK}(x) := \begin{cases} \frac{M_1(x)}{z} & \text{if } 0\text{m} < x < 3.0\text{m} \\ \frac{M_4(x)}{z} & \text{if } 3.0\text{m} < x < 6.8\text{m} \\ \frac{M_3(x)}{z} & \text{if } 6.8\text{m} < x < 9.5\text{m} \end{cases}$$

$$\Delta F_{tdÖK}(x) := \begin{cases} |1.11 T_1(x)| & \text{if } 0\text{m} < x < 3\text{m} \\ |1.11 T_4(x)| & \text{if } 3\text{m} < x < 6.8\text{m} \\ |1.11 T_3(x)| & \text{if } 6.8\text{m} < x < 9.5\text{m} \end{cases}$$

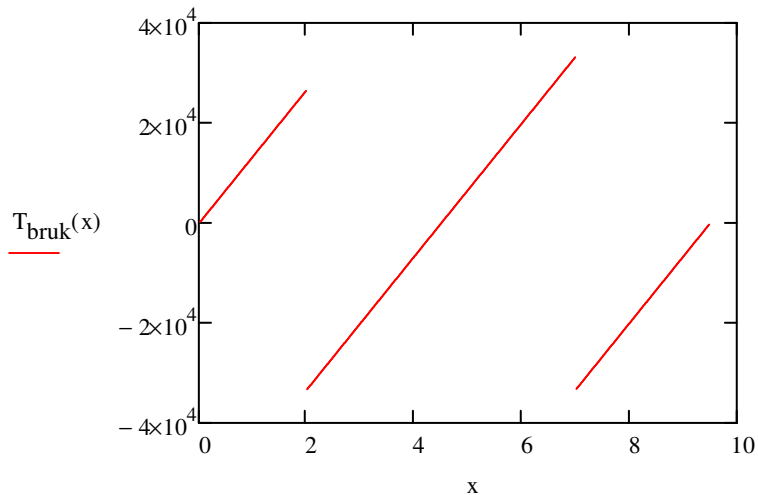
$$F_{tdUK}(x) := \begin{cases} \frac{M_3(x)}{z} & \text{if } 2.15\text{m} < x < 6.46\text{m} \\ \frac{M_4(x)}{z} & \text{if } 7.47\text{m} < x < 9.5\text{m} \end{cases}$$

$$\Delta F_{tdUK}(x) := \begin{cases} |1.11 T_3(x)| & \text{if } 2\text{m} < x < 6.5\text{m} \\ |1.11 T_4(x)| & \text{if } 7.32\text{m} < x < 9.5\text{m} \end{cases}$$



Bruksgränstillstånd

$$T_{\text{bruk}}(x) := \begin{cases} g_{\text{bruk}} \cdot x & \text{if } 0\text{m} < x < 2\text{m} \\ g_{\text{bruk}} \cdot x - R_{A\text{bruk}} & \text{if } 2\text{m} < x < 7\text{m} \\ g_{\text{bruk}} \cdot x - R_{A\text{bruk}} - R_{B\text{bruk}} & \text{if } 7\text{m} < x < 9.5\text{m} \end{cases}$$



Maximal tvärkraft

$$T_{\text{maxbruk}} := -33.24\text{kN}$$

B.3.8 - Dimensionerande moment och tvärkraft

$$R_{Af1} := 580.073\text{kN}$$

$$R_{Bf3} := 565.349\text{kN}$$

Dimensionerande moment över stöd A

$$M_{ED,A} := -219.3\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\Delta M_{sA} := R_{Af1} \cdot \frac{t_w}{8} = 65.258\cdot\text{kN}\cdot\text{m} \quad \text{Reduktion av stödmoment med hänsyn till livets utbredning}$$

$$M_{ED,\text{dim},A} := M_{ED,A} + \Delta M_{sA} = -154.042\cdot\text{kN}\cdot\text{m} \quad \text{Dimensionerande moment över stöd A}$$

Dimensionerande moment över stöd B

$$M_{ED,B} := -249.477\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\Delta M_{sB} := R_{Bf3} \cdot \frac{t_w}{8} = 63.602\cdot\text{kN}\cdot\text{m} \quad \text{Reduktion av stödmoment med hänsyn till livets utbredning}$$

$$M_{ED,dim.B} := M_{ED.B} + \Delta M_{sB} = -185.875 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Dimensionerande moment över stöd A}$$

Dimensionerande moment i fält 1, mellan stöd A och B

$$M_{ED,1} := 412.385 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerande moment i fält 2, mellan stöd B och C

$$M_{ED,2} := 364.522 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

B.3.9 - Brottgränstillstånd , SS-EN 1992-1-1:2005, kap 6, se ritning B.3.9.9 för detaljer

B.3.9.1 - Överslagsberäkning av erforderlig armeringsmängd

Antag att täckande betongskikt är 50 mm

$$d := h_{platta} - 50 \text{ mm} = 0.35 \text{ m}$$

Uppskattning av inre hävarm

$$z := 0.9 \cdot d = 0.315 \text{ m}$$

Överslagsberäkning av erforderlig armeringsmängd i stöd A och stöd B

Stöd A

$$A_{sA1} := \frac{-M_{ED,dim.A}}{f_{yd} \cdot z} = 1.125 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n_A := \frac{A_{sA1}}{\pi \cdot \frac{\phi^2}{4}} = 3.58$$

$$n_{AA} := \text{ceil}(n_A) = 4$$

$$A_{sA} := n_A \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4}$$

Stöd B

$$A_{sB1} := \frac{-M_{ED,dim.B}}{f_{yd} \cdot z} = 1.357 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n_B := \frac{A_{sB1}}{\left(\pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \right)} = 4.32$$

$$n_B := \text{ceil}(n_B) = 5 \quad \text{Antal armeringsstänger i överkant snitt snöd A \& B}$$

$$n_B := 8 \quad \text{Placerar in 2 armeringstänger till pga skjuvglidbrott}$$

$$A_{sB} := n_B \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 2.513 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Överslagsberäkning av erforderlig armeringsmängd i fält 1 och fält 2

Fält 1

$$A_{s,1} := \frac{M_{ED,1}}{f_{yd} \cdot z} = 3.011 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n_1 := \frac{A_{s,1}}{A_{si}} = 9.585$$

$$n_1 := \text{ceil}(n_1) = 10$$

$$n_1 := 12$$

$$A_{s1} := n_1 \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Fält 2

$$A_{s,2} := \frac{M_{ED,2}}{f_{yd} \cdot z} = 2.662 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n_2 := \frac{A_{s,2}}{A_{si}} = 8.472$$

$$n_2 := \text{ceil}(n_2) = 9$$

$$n_2 := 10$$

$$A_{s2} := n_2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 3.142 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

B.3.9.2 - Inläggning av armering

Stöd

$$Avst_A := \frac{b_{platta}}{n_A} = 0.25 \text{ m}$$

$$A_{\text{vst}_B} := \frac{b_{\text{platta}}}{n_B} = 0.125 \text{ m}$$

Fält

$$A_{\text{vst}_1} := \frac{b_{\text{platta}}}{0.5 \cdot n_1} = 0.167 \text{ m}$$

$$A_{\text{vst}_2} := \frac{b_{\text{platta}}}{0.5 n_2} = 0.2 \text{ m}$$

Övre och undre gränser för mängd armering i plattor enligt TRVK Bro 11

$$d := h_{\text{platta}} - C = 0.332 \text{ m}$$

$$A_{\text{smin}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_{\text{platta}} \cdot d = 6.042 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{ekv. [9.1N] i EC 2}$$

$$A_{\text{smax}} := 0.04 \cdot b_{\text{platta}} \cdot h_{\text{platta}} = 0.016 \text{ m}^2 \quad \text{kap. 9.2.1.1 (3) i EC 2}$$

$$\text{Test}_A := \begin{cases} \text{"Armeringsmängd stöd A okej"} & \text{if } A_{\text{smin}} < A_{\text{sA}} < A_{\text{smax}} \\ \text{"Armeringsmängd stöd A ej okej"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Test}_A = \text{"Armeringsmängd stöd A okej"}$$

$$\text{Test}_B := \begin{cases} \text{"Armeringsmängd stöd B okej"} & \text{if } A_{\text{smin}} < A_{\text{sB}} < A_{\text{smax}} \\ \text{"Armeringsmängd stöd B ej okej"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Test}_B = \text{"Armeringsmängd stöd B okej"}$$

$$\text{Test}_1 := \begin{cases} \text{"Armeringsmängd fält 1 okej"} & \text{if } A_{\text{smin}} < A_{\text{s1}} < A_{\text{smax}} \\ \text{"Armeringsmängd fält 1 ej okej"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Test}_1 = \text{"Armeringsmängd fält 1 okej"}$$

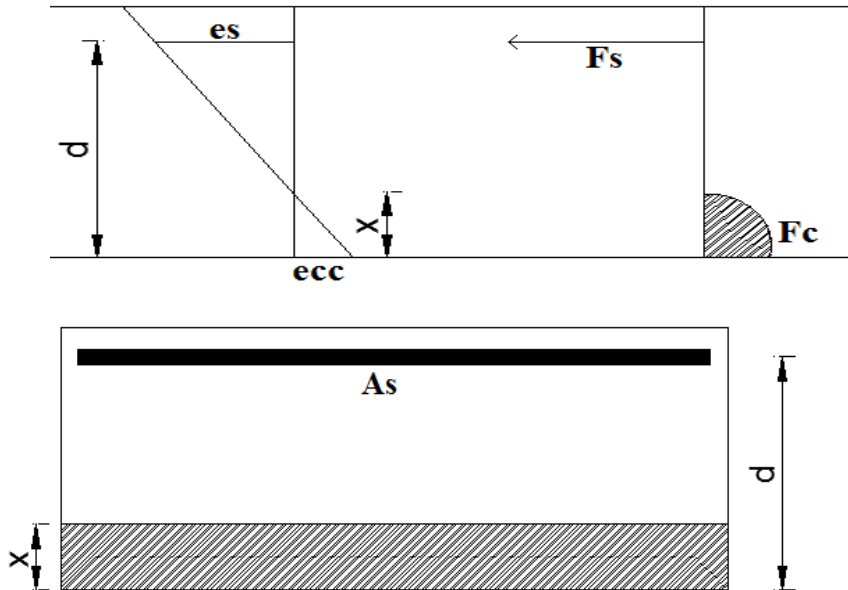
$$\text{Test}_2 := \begin{cases} \text{"Armeringsmängd fält 2 okej"} & \text{if } A_{\text{smin}} < A_{\text{s2}} < A_{\text{smax}} \\ \text{"Armeringsmängd fält 2 ej okej"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Test}_2 = \text{"Armeringsmängd fält 2 okej"}$$

B.3.9.3 - Beräkning av momentkapacitet i stöd A

$$d_{\text{stöd}} := h_{\text{platta}} - C = 0.332 \text{ m}$$

Antag att all armering flyter, kraftjämvikt ger tryckzonshöj



$$x := \frac{f_{yd} \cdot A_{sA}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{platta}}} = 0.025 \text{ m}$$

Underkantsarmering är i drag

Kontroll antagande

$$\epsilon_s := \frac{d_{\text{stöd}} - x}{x} \cdot \epsilon_{cu} = 0.042 \quad > \quad \epsilon_{syd} = 2.174 \times 10^{-3} \quad \text{Okej, överkantsarmering flyter!}$$

Momentjämvikt kring dragarmering

$$F_c := x \cdot f_{cd} \cdot \alpha \cdot b_{\text{platta}} = 546.364 \cdot \text{kN}$$

$$M_{rdA} := -[F_c \cdot (d - \beta \cdot x)] = -175.644 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

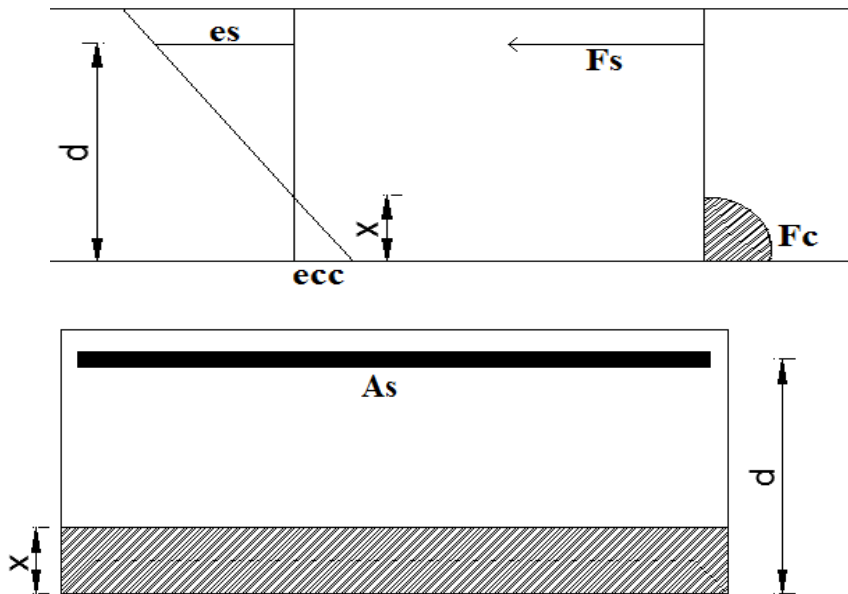
$$\text{Nyttjande}_A := \frac{M_{ED, \text{dim. A}}}{M_{rdA}} = 0.877$$

Kontroll Seghet

$$\frac{x}{d_{\text{stöd}}} = 0.076 \quad \text{Okej}$$

B.3.9.4 - Beräkning av momentkapacitet i stöd B

Antag likt för stöd A att överkantsarmering (dragarmering) flyter i brottgränstillstånd



$$x := \frac{f_{yd} \cdot A_{sB}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{platta}}} = 0.051 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{sv} := \frac{d_{\text{stöd}} - x}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = 0.019 > \varepsilon_{syd} \quad \text{Okej, överkantsarmering flyter!}$$

$$F_c := x \cdot f_{cd} \cdot \alpha \cdot b_{\text{platta}} = 1.093 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$M_{rdB} := -[F_c \cdot (d - \beta \cdot x)] = -339.789 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{Nyttjande}_B := \frac{M_{ED, \text{dim. B}}}{M_{rdB}} = 0.547$$

Kontroll Seghet

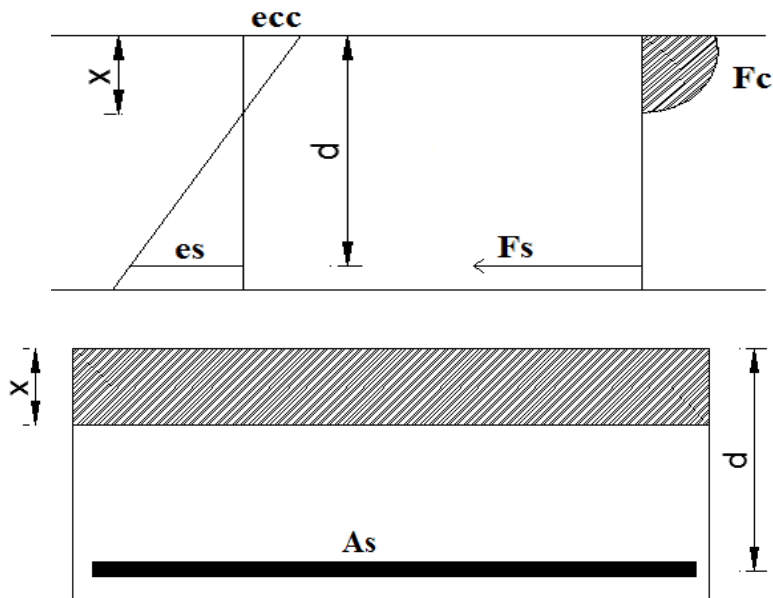
$$\frac{x}{d_{\text{stöd}}} = 0.152 \quad \text{Okej}$$

B.3.9.5 - Beräkning av momentkapacitet i fält 1

Dragarmeringen ska utformas med $n_1 = 12$ stänger.

$$d_{\text{fält}} := h_{\text{platta}} - C = 332 \cdot \text{mm}$$

Beräkning av tryckzonshöjd



$$x := \frac{f_{yd} \cdot A_{s1}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{platta}}} = 0.076 \text{ m}$$

Kontroll antagande

$$\varepsilon_{sv} := \frac{d_{\text{fält}} - x}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = 0.012 > \varepsilon_{syd} \quad \text{Okej, överkantsarmering flyter!}$$

Momentjämvikt kring dragarmering

$$F_c := x \cdot f_{cd} \cdot \alpha \cdot b_{\text{platta}} = 1.639 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{rd},1} := F_c \cdot (d_{\text{fält}} - \beta \cdot x) = 492.436 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{nyttjande}_{\text{fält1}} := \frac{M_{\text{ED},1}}{M_{\text{rd},1}} = 0.837$$

Kontroll Seghet

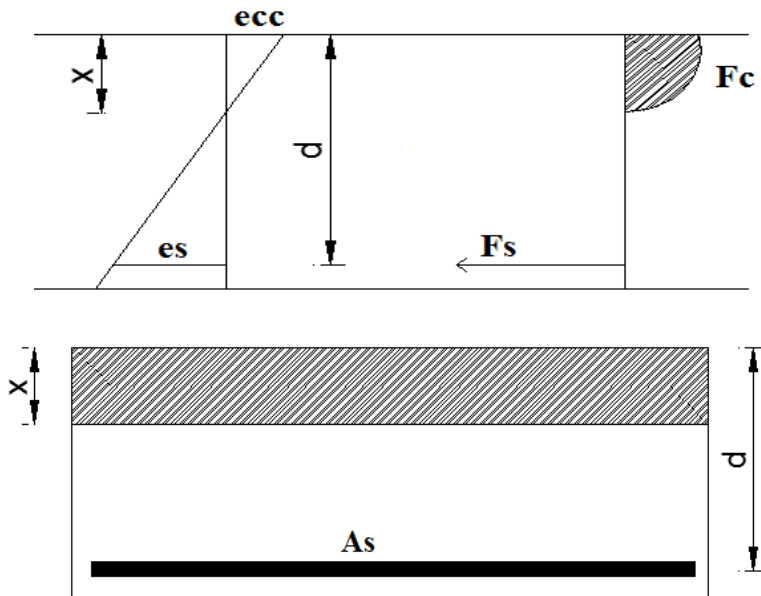
$$\frac{x}{d_{\text{fält}}} = 0.229 \quad \text{Okej}$$

B.3.9.6 - Beräkning av momentkapacitet i fält 2

Dragarmeringen ska utformas med $n_2 = 10$ stänger.

Beräkning av tryckzonshöjd

All armering antas flyta



$$x := \frac{f_{yd} \cdot A_{s2}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{platta}}} = 0.063 \text{ m}$$

Kontroll antagande

$$\varepsilon_{sv} := \frac{d_{\text{fält}} - x}{x} \cdot \varepsilon_{cu} = 0.015 > \varepsilon_{syd} \quad \text{Okej, överkantsarmering flyter!}$$

Momentjämvikt kring dragarmering

$$F_{\text{av}} := x \cdot f_{\text{cd}} \cdot \alpha \cdot b_{\text{platta}} = 1.366 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{rd.2}} := F_{\text{c}} \cdot (d_{\text{fält}} - \beta \cdot x) = 417.55 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{nyttjande}_{\text{fält2}} := \frac{M_{\text{ED.2}}}{M_{\text{rd.2}}} = 0.873$$

$$\text{Kontroll Seghet} \quad \frac{x}{d_{\text{fält}}} = 0.19$$

B.3.9.7 - Avkortning av armering , SS-EN 1992-1-1:2005, kap 9.2.1.3

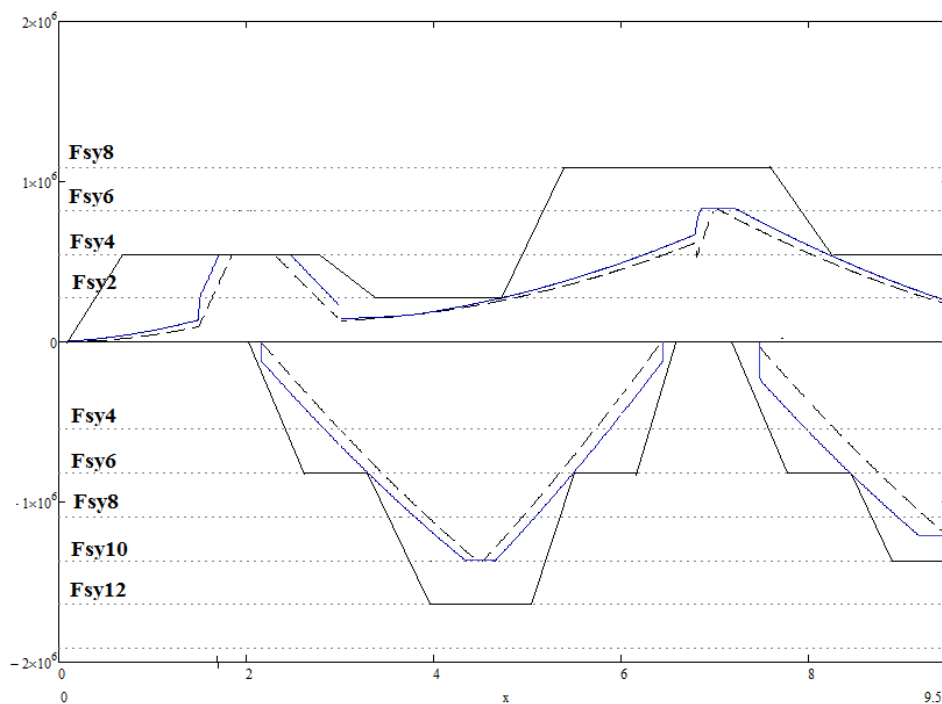
Sträcka för att fullt förankra armeringsjärn

$$f_{\text{bd}} := 2.25 \cdot f_{\text{ctd}}$$

ekv. [8.2] i EC 2

$$S_{\text{bd}} := \pi \cdot \phi \cdot f_{\text{bd}} = 2.356 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

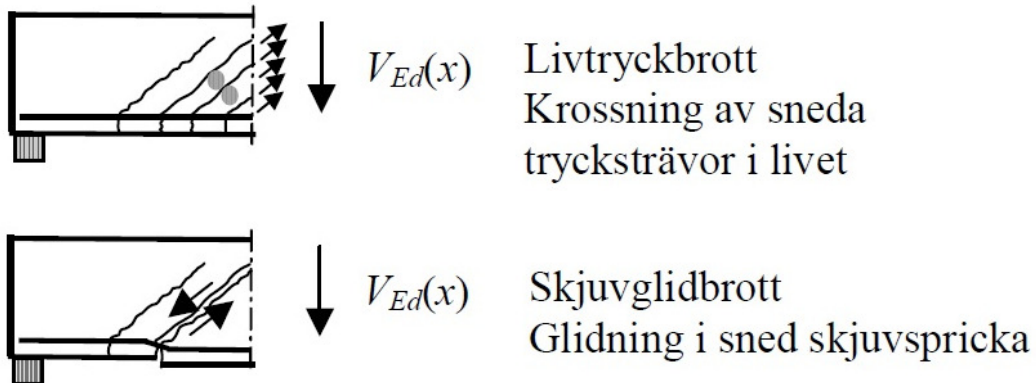
$$l_{\text{bdmax}} := \frac{A_{\text{si}} \cdot f_{\text{yd}}}{S_{\text{bd}}} = 0.58 \text{ m}$$



Inlagd dragkraftsbehov

B.3.9.8 - Dimensionering av tvärkraftsarmering, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 6

$V_{ED,dim} := 205 \text{ kN}$ Maximal dimensionerande tvärkraft i plattan



Karin Lundgren föreläsning 26 november 2013 Bärande konstruktioner - Tvärkraftsarmering

Kontroll med avseende på livtryckbrott utan tvärkraftsarmering

Ny kontroll

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) = 0.504 \quad \text{ekv [6.6N] i EC 2}$$

$$V_{rc} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_{platta} \cdot d = 2.231 \times 10^3 \cdot \text{kN} \quad \text{ekv [6.5] i EC 2}$$

$$\text{Kontroll}_{liv} := \begin{cases} \text{"Livtryckbrott okej"} & \text{if } V_{ED,dim} < V_{rc} \\ \text{"Livtryckbrott ej okej"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Kontroll}_{liv} = \text{"Livtryckbrott okej"}$$

Kontroll skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering

$$z_w := 0.9 \cdot d = 0.299 \text{ m}$$

$$x_{upplag} := \frac{t_w}{2} + 0.9 \cdot d = 0.749 \text{ m}$$

Lasteffekt VED i ett snitt x.upplag från där maximala tvärkraften återfinns

Kontroll med avseende på skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering till vänster om stöd A

$$V_{ED,vänster.A} := 32 \text{ kN}$$

$$C_{rd,c} := \frac{0.18 \text{ MPa}}{\gamma_c} \quad \text{kap. 6.2.2 i EC 2}$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d}} = 1.776 \quad \text{kap. 6.2.2 i EC 2}$$

$$A_{sl} := A_{sA}$$

$$\rho_1 := \frac{A_{sl}}{b_{platta} \cdot d} = 3.785 \times 10^{-3} \quad \text{kap. 6.2.2 i EC 2}$$

$$V_{rd,c1} := C_{rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_{platta} \cdot d = 175.056 \cdot \text{kN} \quad \text{ekv [6.2a] i EC 2}$$

$$V_{rd,c2} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot b_{platta} \cdot d \cdot \text{MPa} = 173.963 \cdot \text{kN} \quad \text{ekv [6.2b] i EC 2}$$

$$V_{rd,c} := \max(V_{rd,c1}, V_{rd,c2}) = 175.056 \cdot \text{kN} \quad \text{Kapacitet okej}$$

Kontroll med avseende på skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering till höger om stöd A

$$V_{ED, \text{höger}, A} := 105.191 \text{ kN}$$

$$A_{sl} := A_{sA}$$

$$\rho_1 := \frac{A_{sl}}{b_{platta} \cdot d} = 3.785 \times 10^{-3} \quad \text{kap. 6.2.2 i EC 2}$$

$$V_{rd,c1} := C_{rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_{platta} \cdot d = 175.056 \cdot \text{kN} \quad \text{ekv [6.2a] i EC 2}$$

$$V_{rd,c2} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot b_{platta} \cdot d \cdot \text{MPa} = 173.963 \cdot \text{kN} \quad \text{ekv [6.2b] i EC 2}$$

$$V_{rd,c} := \max(V_{rd,c1}, V_{rd,c2}) = 175.056 \cdot \text{kN} \quad \text{Kapacitet okej}$$

Kontroll med avseende på skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering till vänster om stöd B

$$V_{ED, \text{vänster}, B} := 126.162 \text{ kN}$$

$$A_{s1} := A_{sB}$$

$$\rho_1 := \frac{A_{s1}}{b_{\text{platta}} \cdot d} = 7.57 \times 10^{-3}$$

kap. 6.2.2 i EC 2

$$V_{rd,c1} := C_{rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_{\text{platta}} \cdot d = 220.556 \cdot \text{kN}$$

ekv [6.2a] i EC 2

$$V_{rd,c2} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot b_{\text{platta}} \cdot d \cdot \text{MPa} = 173.963 \cdot \text{kN}$$

ekv [6.2b] i EC 2

$$V_{rd} := \max(V_{rd,c1}, V_{rd,c2}) = 220.556 \cdot \text{kN} \quad \text{Kapacitet okej}$$

Kontroll med avseende på skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering till höger om stöd B

$$V_{ED, \text{höger}, B} := 204.039 \text{ kN}$$

$$A_{s1} := A_{sB}$$

$$\rho_1 := \frac{A_{s1}}{b_{\text{platta}} \cdot d} = 7.57 \times 10^{-3}$$

kap. 6.2.2 i EC 2

$$V_{rd,c1} := C_{rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_{\text{platta}} \cdot d = 220.556 \cdot \text{kN}$$

ekv [6.2a] i EC 2

$$V_{rd,c2} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot b_{\text{platta}} \cdot d \cdot \text{MPa} = 173.963 \cdot \text{kN}$$

ekv [6.2b] i EC 2

$$V_{rd} := \max(V_{rd,c1}, V_{rd,c2}) = 220.556 \cdot \text{kN}$$

Åtgärd: fick placera in två stänger till i dragarmeringen för att klara av kapaciteten

Sammanställning av armeringsinläggning

Stöd A

Antal armeringsjärn överkant:	$n_A = 4$ $\phi = 20 \cdot \text{mm}$
Momentkapacitet:	$M_{rdA} = -175.644 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Lasteffekt stöd A	$M_{ED, \text{dim. A}} = -154.042 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Nyttjandegrad stöd A:	$Nyttjande_A = 0.877$

Stöd B

Antal armeringsjärn överkant:	$n_B = 8$ $\phi = 20 \cdot \text{mm}$
Momentkapacitet:	$M_{rdB} = -339.789 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Lasteffekt stöd B	$M_{ED, \text{dim. B}} = -185.875 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Nyttjandegrad stöd B:	$Nyttjande_B = 0.547$

Fält 1

Antal armeringsjärn underkant:	$n_1 = 12$ $\phi = 20 \cdot \text{mm}$
Momentkapacitet:	$M_{rd,1} = 492.436 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Lasteffekt fält 1	$M_{ED,1} = 412.385 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Nyttjandegrad fält 1:	$nyttjande_{\text{fält1}} = 0.837$

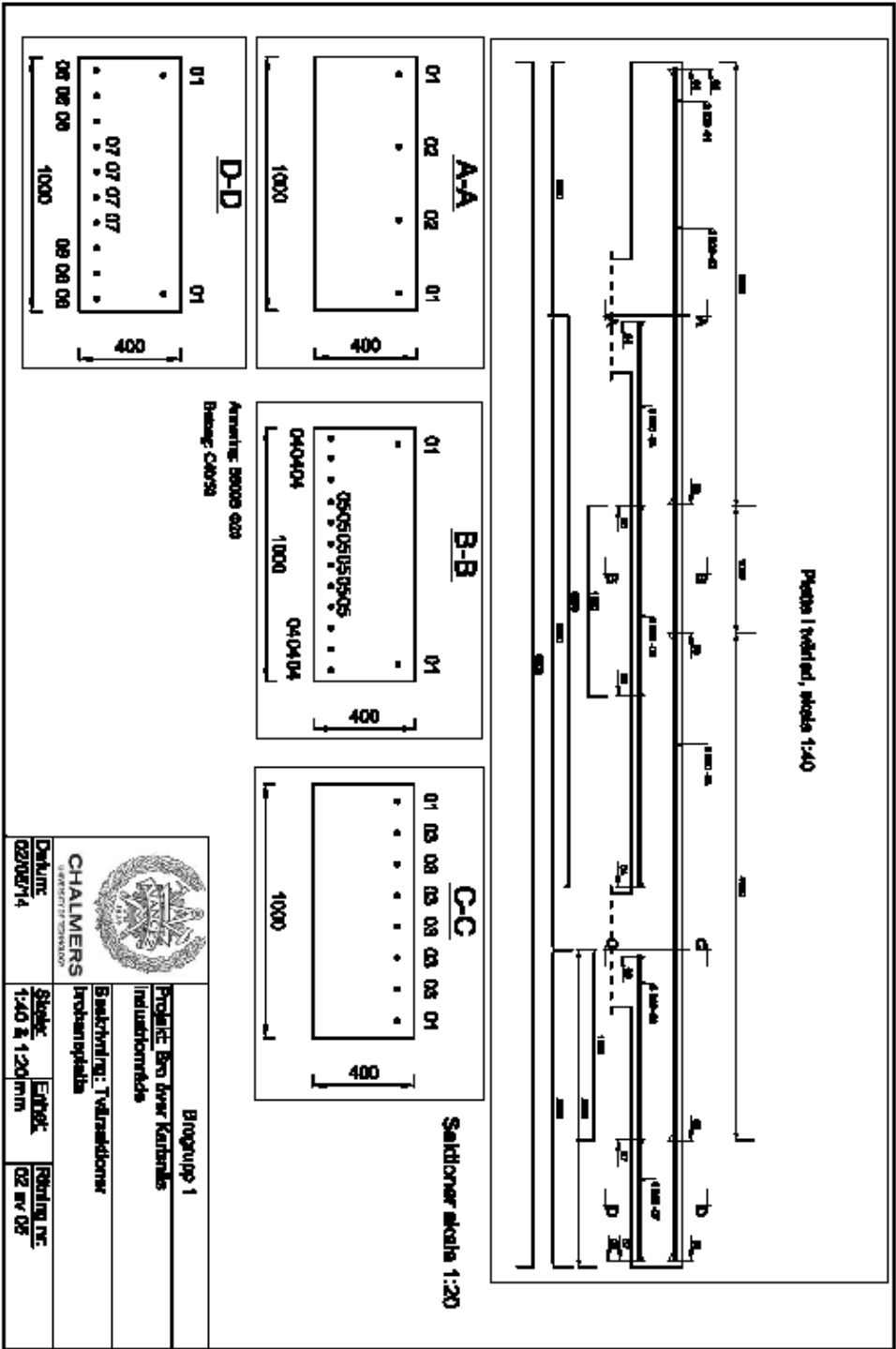
Fält 2

Antal armeringsjärn underkant:	$n_2 = 10$ $\phi = 20 \cdot \text{mm}$
Momentkapacitet:	$M_{rd,2} = 417.55 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Lasteffekt fält 2	$M_{ED,2} = 364.522 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Nyttjandegrad fält 2:	$nyttjande_{\text{fält2}} = 0.873$

Betong

Minsta täckande betongskikt, krav:	$C_{\text{nom}} = 50 \cdot \text{mm}$
Armeringens kantavstånd:	$C = 68 \cdot \text{mm}$

B.3.9.9 - Ritningar, armeringsinläggning



B.3.10 - Bruksgränstillstånd, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 7**Sprickspänning**

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

Bredd
m

$$z := \frac{t_{fl}}{2} = 0.2 \text{ m}$$

$$\sigma_c \leq f_{ct,fl}$$

$$k := \left(1.6 - \frac{t_{fl}}{1 \text{ m}} \right) = 1.2 > 1$$

$$f_{ct,fl} := k \cdot f_{ctm} = 4.2 \cdot \text{MPa}$$

Betongens draghållfasthet

$$I_c := \frac{b \cdot t_{fl}^3}{12} = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

Yttröghetsmoment

$$M_{cr} := \frac{f_{ct,fl} \cdot I_c}{z} = 112 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Kritiskt moment map sprickbildning

Beräkning av slutligt krymptal, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 3

$$A_c := b \cdot t_{fl}$$

Tvärsnittsarea

$$u := 2 \cdot b$$

Antar att betongen kan torka ut åt båda håll

$$h_0 := \frac{2 \cdot A_c}{u} = 0.4 \text{ m}$$

$$k_h := 0.70 + \left(\frac{500 \text{ mm} - h_0}{500 \text{ mm} - 300 \text{ mm}} \right) \cdot (0.75 - 0.70) = 0.725$$

Från tabell B 2.7 Bärande konstruktioner - del 1

$$\beta_{RH} := 0.756$$

Utomhusmiljö

$$\varepsilon_{cdi} := 0.441 \cdot 10^{-3}$$

Hållfasthetsklass C40/50 och Klass R

$$\varepsilon_{cd} := k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \varepsilon_{cdi} = 2.417 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{ca} := 0.075 \cdot 10^{-3}$$

Autogen krympning

$$\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 3.167 \times 10^{-4}$$

Slutgiltigt krympmått

Beräkning av kryptal, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 3

$$h_0 = 0.4 \text{ m}$$

$$\varphi_{RH} := \left[1 + \frac{1 - RH}{0.1 \cdot \sqrt{\frac{h_0}{\text{mm}}}} \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} \right] \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2} = 1.143 \quad \text{Eftersom } f_{cm} \text{ är mindre än } 35 \text{ MPa}$$

$$\beta_{fcm} := 2.43$$

Hållfasthetsklass C40/50

$$t_0 := 28$$

Antal dagar innan pålastning

$$\beta_{t0} := \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} = 0.488$$

Beaktar betongens ålder vid pålastning

$$\varphi := \varphi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{t0} = 1.357$$

Slutgiltigt kryptal

$$\alpha_{ef} := \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot (1 + \varphi) = 13.467$$

Effektiv elasticitetsmodul

B.3.10.1 - Kontroll spänningar, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 7**Stöd A**

$$c := 0.068 \text{ m}$$

Minsta kantavstånd armering

$$d_A := t_{fl} - c = 0.332 \text{ m}$$

Avstånd underkant till dragarmering

$$n_{A,drag} := 4$$

Armering överkant

$$M_{ED,dim,A} := -154.042 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lasteffekt stöd A

$$A_{A,s} := A_{si} \cdot n_{A,drag} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea

Kontroll om betong spricker

$$M_{A,cr} := \frac{f_{ct,fl} \cdot I_c}{z} = 112 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} < |M_{ED,dim,A}| = 154.042 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Tvärsnitt spricker. Antar stadium II.

Beräkning av krympkraft

$$F_{A,cs} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{A,s} = 79.598 \cdot \text{kN}$$

För dragarmering

Beräkning av tvärsnittskonstanter

Ren böjning antas. Neutrala lagret sammanfaller därmed med det ekvivalenta betongtvärsnittets tyngdpunkt dvs $x = x_{tp}$

$$b \cdot \frac{x^2}{2} := \alpha_{ef} \cdot A_s (d - x) \quad \text{Tyngdpunktsekvation}$$

$$x := 0.15 \text{ m} \quad \text{Gissar } x$$

$$x := \text{root} \left[b \cdot \frac{x^2}{2} - \alpha_{ef} \cdot A_{A.s} (d_A - x), x \right]$$

$$x = 0.09 \text{ m}$$

$$x_{TP} := x$$

$$A_{A.II.ef} := b \cdot x + \alpha_{ef} \cdot A_{A.s} = 0.107 \text{ m}^2 \quad \text{Effektiv area i stadium II}$$

$$I_{A.II.ef} := \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha_{ef} \cdot A_{A.s} (d_A - x)^2 = 1.234 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \quad \text{Effektiv tröghetsmoment i stadium II}$$

$$e_{A.s} := -(d_A - x) = -0.242 \text{ m} \quad \text{Avstånd från neutrala lagret till dragarmering}$$

$$z_{A.1} := e_{A.s} = -0.242 \text{ m}$$

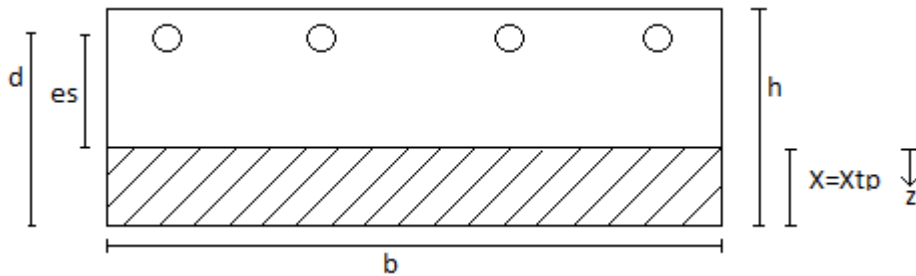
$$z_{A.2} := x = 0.09 \text{ m}$$

Böjspruckat tvärsnitt med hänsyn till krympning och krypning

$$\sigma_{A.c1} := \frac{F_{A.cs}}{A_{A.II.ef}} + \frac{F_{A.cs} \cdot e_{A.s} - M_{\text{max.stöd.bruk}}}{I_{A.II.ef}} \cdot z_{A.1} = 9.681 \cdot \text{MPa} \quad \text{Betongspänning. Avstånd till dragarmering}$$

$$\sigma_{A.c2} := \frac{F_{A.cs}}{A_{A.II.ef}} + \frac{F_{A.cs} \cdot e_{A.s} - M_{\text{max.stöd.bruk}}}{I_{A.II.ef}} \cdot z_{A.2} = -2.605 \cdot \text{MPa} \quad \text{Betongspänning. Avstånd till underkant tvärsnitt}$$

$$\sigma_{A.s1} := \frac{-F_{A.cs}}{A_{A.s}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{A.c1} = 67.039 \cdot \text{MPa} \quad \text{Stålspänning i dragarmering}$$



Kontroll av spänningar i bruksstadiet

$$|\sigma_{A.c2}| \leq 0.6 \cdot f_{ck} \quad \text{Begränsningar av betongtryckspänning}$$

$$|\sigma_{A.c2}| = 2.605 \cdot \text{MPa} \quad 0.6 \cdot f_{ck} = 24 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK!}$$

Betongspänningen klarar kontrollen

$$|\sigma_{A.s1}| \leq 0.8 f_{yk} \quad \text{Begränsningar av stålspänning}$$

$$|\sigma_{A.s1}| = 67.039 \cdot \text{MPa} \quad 0.8 \cdot f_{yk} = 400 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK!}$$

Stålspänningen i tryckarmeringen klarar kontrollen

Stöd B

$$c = 0.068 \text{ m}$$

Minsta kantavstånd armering

$$d_B := t_{f1} - c = 0.332 \text{ m}$$

Avstånd underkant till dragarmering

$$n_{B.drag} := 8$$

Armering överkant

$$M_{ED, \text{dim B}} := -185.875 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lasteffekt stöd A

$$A_{B.s.i.drag} := \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{B.s} := A_{B.s.i.drag} \cdot n_{B.drag} = 2.513 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea

Kontroll om betong spricker

$$M_{B.cr} := \frac{f_{ct.fl} \cdot I_c}{z} = 112 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \left| M_{ED.dim.B} \right| = 185.875 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{B.cr} < M_{ED.dim.B}$$

Tvärsnitt spricker. Antar stadium II.

Beräkning av krympkraft

$$F_{B.cs} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{B.s} = 159.197 \cdot \text{kN} \quad \text{För dragarmering}$$

Beräkning av tvärsnittskonstanter

Ren böjning antas. Neutrala lagret sammanfaller därmed med det ekvivalenta betongtvärsnittets tyngdpunkt dvs $x = x_{tp}$

$$b \cdot \frac{x^2}{2} := \alpha_{ef} \cdot A_{B.s} (d_B - x) \quad \text{Tyngdpunktsekvation}$$

Gissar x

$$x := 0.15 \text{ m}$$

$$x := \text{root} \left[b \cdot \frac{x^2}{2} - \alpha_{ef} \cdot A_{B.s} (d_B - x), x \right]$$

$$x = 0.12 \text{ m}$$

$$x_{TP} := x$$

$$A_{B.II.ef} := b \cdot x + \alpha_{ef} \cdot A_{B.s} = 0.154 \text{ m}^2 \quad \text{Effektiv area i stadium II}$$

$$I_{B.II.ef} := \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha_{ef} \cdot A_{B.s} (d_B - x)^2 = 2.097 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \quad \text{Effektiv tröghetsmoment i stadium II}$$

$$e_{B.s} := -(d_B - x) = -0.212 \text{ m} \quad \text{Avstånd från neutrala lagret till dragarmering}$$

$$z_{B.1} := e_{B.s} = -0.212 \text{ m}$$

$$z_{B.2} := x = 0.12 \text{ m}$$

Böjsprucket tvärsnitt med hänsyn till krympning och krypning

Bilaga B.3 - Tvärled

$$\sigma_{B.c1} := \frac{F_{B.cs}}{A_{B.II.ef}} + \frac{F_{B.cs} \cdot e_{B.s} - M_{\max.stöd.bruk}}{I_{B.II.ef}} \cdot z_{B.1} = 7.127 \cdot \text{MPa}$$

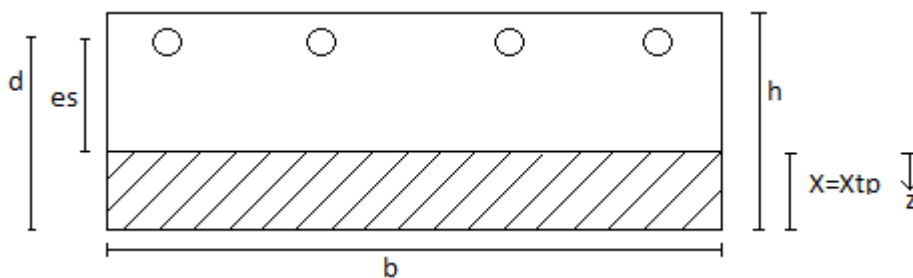
Betongspänning. Avstånd till dragarmering

$$\sigma_{B.c2} := \frac{F_{B.cs}}{A_{B.II.ef}} + \frac{F_{B.cs} \cdot e_{B.s} - M_{\max.stöd.bruk}}{I_{B.II.ef}} \cdot z_{B.2} = -2.405 \cdot \text{MPa}$$

Betongspänning. Avstånd till underkant tvärsnitt

$$\sigma_{B.s1} := \frac{-F_{B.cs}}{A_{B.s}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{B.c1} = 32.643 \cdot \text{MPa}$$

Stålspänning i dragarmering



Kontroll av spänningar i bruksstadiet

$$|\sigma_{B.c2}| \leq 0.6 \cdot f_{ck} \quad \text{Begränsningar av betongtryckspänning}$$

$$|\sigma_{B.c2}| = 2.405 \cdot \text{MPa} \quad 0.6 \cdot f_{ck} = 24 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK!}$$

Betongspänningen klarar kontrollen

$$|\sigma_{B.s1}| \leq 0.8 f_{yk} \quad \text{Begränsningar av stålspänning}$$

$$|\sigma_{B.s1}| = 32.643 \cdot \text{MPa} \quad 0.8 \cdot f_{yk} = 400 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK!}$$

Stålspänningen i tryckarmeringen klarar kontrollen

Fält 1

$$c = 0.068 \text{ m}$$

Armeringens kantavstånd

Bilaga B.3 - Tvärled

$$d_1 := t_{f1} - c = 0.332 \text{ m} \quad \text{Avstånd underkant till dragarmering}$$

$$n_{1,\text{drag}} := 12 \quad \text{Antal armeringsjärn}$$

$$A_{s,i.1,\text{drag}} := \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{Area/armeringsjärn}$$

$$A_{1,s} := A_{s,i.1,\text{drag}} \cdot n_{1,\text{drag}} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{Total armeringsarea}$$

$$M_{\text{Ed,dim.1}} := 412.385 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Lasteffekt}$$

Kontroll om betongen spricker

$$M_{1,\text{cr}} := \frac{f_{ct,fl} \cdot I_c}{z} = 112 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} < |M_{\text{Ed,dim.1}}| = 412.385 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Tvärsnitt spricker. Antar stadium II.

Beräkning av krympkraft

$$F_{1,\text{cs}} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{1,s} = 238.795 \cdot \text{kN} \quad \text{För dragarmering}$$

Beräkning av tvärsnittskonstanter

Ren böjning antas. Neutrala lagret sammanfaller därmed med det ekvivalenta betongtvärsnittets tyngdpunkt dvs $x = x_{tp}$

$$b \cdot \frac{x^2}{2} := \alpha_{ef} \cdot A_s (d - x) \quad \text{Tyngdpunktsekvation}$$

Gissar x

$$x := 0.15 \text{ m}$$

$$x_{\text{eff}} := \text{root} \left[b \cdot \frac{x^2}{2} - \alpha_{ef} \cdot A_{1,s} (d_1 - x), x \right]$$

$$x = 0.14 \text{ m}$$

$$A_{1,II,\text{ef}} := b \cdot x + \alpha_{ef} \cdot A_{1,s} = 0.19 \text{ m}^2 \quad \text{Effektiv area i stadium II}$$

$$I_{1,II,\text{ef}} := \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha_{ef} \cdot A_{1,s} (d_1 - x)^2 = 2.786 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \quad \text{Effektiv tröghetsmoment i stadium II}$$

$$e_{1,s} := (d_1 - x) = 0.192 \text{ m} \quad \text{Avstånd från neutrala lagret till dragarmering}$$

$$z_{1,1} := e_{1,s} = 0.192 \text{ m}$$

$$z_{1,2} := -x = -0.14 \text{ m}$$

Böjspruckat tvärsnitt med hänsyn till krympning och krypning

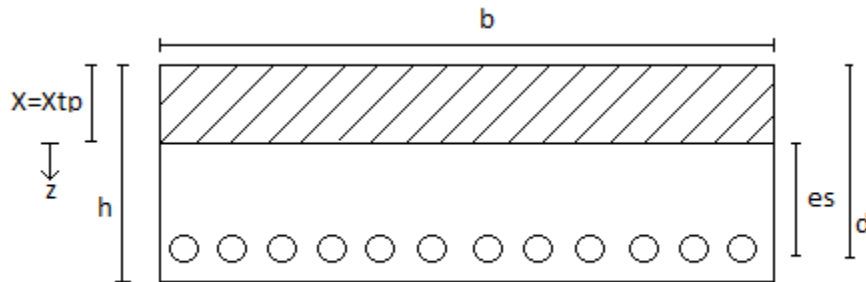
$$\sigma_{1,c1} := \frac{F_{1,cs}}{A_{1,II,ef}} \dots = 5.457 \cdot \text{MPa}$$

$$+ \frac{F_{1,cs} \cdot e_{1,s} + |M_{\text{max.fält.bruk}}|}{I_{1,II,ef}} \cdot z_{1,1} \quad \text{Betongspänning. Avstånd till dragarmering}$$

$$\sigma_{1,c2} := \frac{F_{1,cs}}{A_{1,II,ef}} \dots = -1.801 \cdot \text{MPa}$$

$$+ \frac{F_{1,cs} \cdot e_{1,s} + |M_{\text{max.fält.bruk}}|}{I_{1,II,ef}} \cdot z_{1,2} \quad \text{Betongspänning. Avstånd till överkant tvärsnitt}$$

$$\sigma_{1,s1} := \frac{-F_{1,cs}}{A_{1,s}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{1,c1} = 10.142 \cdot \text{MPa} \quad \text{Stålspänning i dragarmering}$$



Kontroll av spänningar i bruksstadiet

$$|\sigma_{1,c2}| \leq 0.6 \cdot f_{ck} \quad \text{Begränsningar av betongtryckspänning}$$

$$|\sigma_{1,c2}| = 1.801 \cdot \text{MPa} \quad 0.6 \cdot f_{ck} = 24 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK.} \quad \text{Betongspänningen klarar kontrollen}$$

$$|\sigma_{1,s1}| \leq 0.8 f_{yk} \quad \text{Begränsningar av stålspänning}$$

$$|\sigma_{1,s1}| = 10.142 \cdot \text{MPa} \quad 0.8 \cdot f_{yk} = 400 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK.}$$

Stålspänningen i dragarmeringen klarar kontrollen

Fält 2

$$c = 0.068 \text{ m}$$

Armeringens kantavstånd

$$d_2 := t_{f1} - c = 0.332 \text{ m}$$

Avstånd underkant till dragarmering

$$n_{2,\text{drag}} := 10$$

Antal armeringsjärn

$$A_{s,i.2,\text{drag}} := \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Area/armeringsjärn

$$A_{2,s} := A_{s,i.2,\text{drag}} \cdot n_{2,\text{drag}} = 3.142 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea

$$M_{\text{Ed},\text{dim.2}} := 364.522 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lasteffekt

Kontroll om betongen spricker

$$M_{2,\text{cr}} := \frac{f_{\text{ct,fl}} \cdot I_c}{z} = 112 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$|M_{\text{Ed},\text{dim.2}}| = 364.522 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{2,\text{cr}} < M_{\text{Ed},\text{dim.2}}$$

Tvärsnitt spricker. Antar stadium II.

Beräkning av krympkraft

$$F_{2,\text{cs}} := E_s \cdot \epsilon_{\text{cs}} \cdot A_{2,s} = 198.996 \cdot \text{kN}$$

För dragarmering

Beräkning av tvärsnittskonstanter

Ren böjning antas. Neutrala lagret sammanfaller därmed med det ekvivalenta betongtvärsnittets tyngdpunkt dvs $x = x_{\text{tp}}$

$$b \cdot \frac{x^2}{2} := \alpha_{\text{ef}} \cdot A_s (d - x)$$

Tyngdpunktsekvation

Gissar x

$$x := 0.15 \text{ m}$$

$$x_{\text{tp}} := \text{root} \left[b \cdot \frac{x^2}{2} - \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{2,s} (d_2 - x), x \right]$$

$$x = 0.131 \text{ m}$$

$$A_{2,II,ef} := b \cdot x + \alpha_{ef} \cdot A_{2,s} = 0.173 \text{ m}^2 \quad \text{Effektiv area i stadium II}$$

$$I_{2,II,ef} := \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha_{ef} \cdot A_{2,s} (d_2 - x)^2 = 2.459 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \quad \text{Effektiv tröghetsmoment i stadium II}$$

$$e_{2,s} := (d_2 - x) = 0.201 \text{ m} \quad \text{Avstånd från neutrala lagret till dragarmering}$$

$$z_{2,1} := e_{2,s} = 0.201 \text{ m}$$

$$z_{2,2} := -x = -0.131 \text{ m}$$

Böjspruckat tvärsnitt med hänsyn till krympning och krypning

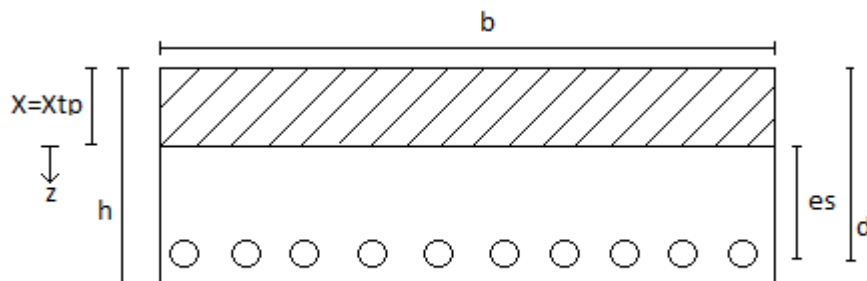
$$\sigma_{2,c1} := \frac{F_{2,cs}}{A_{2,II,ef}} \dots = 5.664 \text{ MPa}$$

$$+ \frac{F_{2,cs} \cdot e_{2,s} + |M_{\max, \text{fält, bruk}}|}{I_{2,II,ef}} \cdot z_{2,1} \quad \text{Betongspänning. Avstånd till dragarmering}$$

$$\sigma_{2,c2} := \frac{F_{2,cs}}{A_{2,II,ef}} \dots = -1.774 \text{ MPa}$$

$$+ \frac{F_{2,cs} \cdot e_{2,s} + |M_{\max, \text{fält, bruk}}|}{I_{2,II,ef}} \cdot z_{2,2} \quad \text{Betongspänning. Avstånd till överkant tvärsnitt}$$

$$\sigma_{2,s1} := \frac{-F_{2,cs}}{A_{2,s}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{2,c1} = 12.934 \text{ MPa} \quad \text{Stålsänning i dragarmering}$$



Kontroll av spänningar i bruksstadiet

$$|\sigma_{2.c2}| \leq 0.6 \cdot f_{ck} \quad \text{Begränsningar av betongtryckspänning}$$

$$|\sigma_{2.c2}| = 1.774 \cdot \text{MPa} \quad 0.6 \cdot f_{ck} = 24 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK.}$$

Betongspänningen klarar kontrollen

$$|\sigma_{2.s1}| \leq 0.8 f_{yk} \quad \text{Begränsningar av stålspänning}$$

$$|\sigma_{2.s1}| = 12.934 \cdot \text{MPa} \quad 0.8 \cdot f_{yk} = 400 \cdot \text{MPa} \quad \text{OK.}$$

Stålspänningen i dragarmeringen klarar kontrollen

B.3.10.2 - Sprickkontroll, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 7

Stöd A

Kontroll sprickavstånd enligt EC 2

$$k_1 := 0.8 \quad \text{För kamstänger}$$

$$k_2 := 0.5 \quad \text{Vid ren böjning}$$

$$k_3 := 3.4 \quad \text{Nationell parameter}$$

$$k_4 := 0.425 \quad \text{Nationell parameter}$$

$$c := 0.068 \text{ m} \quad \text{Minsta kantavstånd armering}$$

$$x := z_{A.2} = 0.09 \text{ m}$$

$$h_{A.c.ef} := \min \left[2.5(t_{f1} - d_A), \frac{t_{f1} - x}{3}, \frac{t_{f1}}{2} \right] = 0.103 \text{ m}$$

$$\rho_{A.p.ef} := \frac{n_{A.drag} \cdot A_{A.s}}{h_{A.c.ef} \cdot b} = 0.049$$

$$S_{A.r.max} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{A.p.ef}} = 0.301 \text{ m} \quad \text{Karakteristiska sprickavståndet}$$

Beräkning av sprickbredd

$$k_t := 0.4 \quad \text{För långtidslast}$$

$$\text{Skillnad i stålets och betongens medeltöjning, } \Delta \epsilon_m = \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$$

$$\Delta \varepsilon_{A.m} := \max \left[\frac{\sigma_{A.s1} - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{A.p.ef}} \cdot (1 + \alpha_{ef} \cdot \rho_{A.p.ef})}{E_s}, \frac{\sigma_{A.s1}}{E_s} \cdot 0.6 \right] = 2.011 \times 10^{-4} \quad \text{ekv[7.9] i EC 2}$$

$$W_{A.k} := S_{A.r.max} \cdot \Delta \varepsilon_{A.m} = 0.061 \cdot \text{mm} \quad \text{Karakteristisk sprickbredd}$$

$$W_{A.k} = 0.061 \cdot \text{mm} \quad W_{k.till} := 0.2 \text{mm} \quad \text{Hämtat från tabell 6}$$

$$W_{A.k} < W_{k.till} \quad \text{Okej}$$

Stöd B

Kontroll sprickavstånd enligt EC 2

$k_1 = 0.8$	För kamstänger
$k_2 = 0.5$	Vid ren böjning
$k_3 = 3.4$	Nationell parameter
$k_4 = 0.425$	Nationell parameter
$c = 0.068 \text{ m}$	Minsta kantavstånd armering

$$\bar{x} := z_{B.2} = 0.12 \text{ m}$$

$$h_{B.c.ef} := \min \left[2.5(t_{f1} - d_B), \frac{t_{f1} - x}{3}, \frac{t_{f1}}{2} \right] = 0.093 \text{ m}$$

$$\rho_{B.p.ef} := \frac{n_{B.drag} \cdot A_{B.s}}{h_{B.c.ef} \cdot b} = 0.215$$

$$S_{B.r.max} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{B.p.ef}} = 0.247 \text{ m} \quad \text{Karakteristiska sprickavståndet} \quad \text{ekv. [7.11] i EC 2}$$

Beräkning av sprickbredd

$$k_t = 0.4 \quad \text{För långtidslast}$$

skillnad i stålets och betongens medeltöjning, $\Delta \varepsilon_m = \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$

$$\Delta \varepsilon_{B.m} := \max \left[\frac{\sigma_{B.s1} - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{B.p.ef}} \cdot (1 + \alpha_{ef} \cdot \rho_{B.p.ef})}{E_s}, \frac{\sigma_{B.s1}}{E_s} \cdot 0.6 \right] = 9.793 \times 10^{-5} \quad \text{ekv[7.9] i EC 2}$$

$$W_{B,k} := S_{B,r,max} \cdot \Delta \varepsilon_{B,m} = 0.024 \cdot \text{mm} \quad \text{Karakteristisk sprickbredd}$$

$$W_{B,k} = 0.024 \cdot \text{mm} \quad W_{k,till} := 0.2 \text{mm} \quad \text{Hämtat från tabell 6}$$

$$W_{B,k} < W_{k,till} \quad \text{Okej}$$

Fält 1

Kontroll sprickavstånd enligt EC 2

$$\begin{aligned} k_1 &= 0.8 && \text{För kamstänger} \\ k_2 &= 0.5 && \text{Vid ren böjning} \\ k_3 &= 3.4 && \text{Nationell parameter} \\ k_4 &= 0.425 && \text{Nationell parameter} \\ c &= 0.068 \text{m} && \text{Diameter armering} \end{aligned}$$

$$x := -z_{1,2} = 0.14 \text{m}$$

$$h_{1,c,ef} := \min \left[2.5(t_{f1} - d_1), \frac{t_{f1} - x}{3}, \frac{t_{f1}}{2} \right] = 0.087 \text{m}$$

$$\rho_{1,p,ef} := \frac{n_{1,drag} \cdot A_{1,s}}{h_{1,c,ef} \cdot b} = 0.521$$

$$S_{r,1,max} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{1,p,ef}} = 0.238 \text{m} \quad \text{Karakteristiska sprickavståndet} \quad \text{ekv. [7.11] i EC 2}$$

Beräkning av sprickbredd

$$k_s := 0.4 \quad \text{För långtidslast}$$

skillnad i stålets och betongens medeltöjning, $\Delta \varepsilon_m = \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$

$$\Delta \varepsilon_{1,m} := \max \left[\frac{\sigma_{1,s1} - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{1,p,ef}} \cdot (1 + \alpha_{ef} \cdot \rho_{1,p,ef})}{E_s}, \frac{\sigma_{1,s1}}{E_s} \cdot 0.6 \right] = 3.043 \times 10^{-5} \quad \text{ekv[7.9] i EC 2}$$

$$W_{1,k} := S_{r,1,max} \cdot \Delta \varepsilon_{1,m} = 7.233 \times 10^{-3} \cdot \text{mm} \quad \text{Karakteristisk sprickbredd}$$

$$W_{1,k} = 7.233 \times 10^{-3} \cdot \text{mm} \quad \text{Hämtat från tabell 6}$$

$$W_{k,till} := 0.2 \text{ mm}$$

$$W_{1,k} < W_{k,till} \quad \text{Okej}$$

Fält 2

Kontroll sprickavstånd enligt EC 2

$k_1 = 0.8$	För kamstänger
$k_2 = 0.5$	Vid ren böjning
$k_3 = 3.4$	Nationell parameter
$k_4 = 0.425$	Nationell parameter
$c = 0.068 \text{ m}$	Diameter armering

$$x := -z_{2,2} = 0.131 \text{ m}$$

$$h_{2,c,ef} := \min \left[2.5(t_{f1} - d_2), \frac{t_{f1} - x}{3}, \frac{t_{f1}}{2} \right] = 0.09 \text{ m}$$

$$\rho_{2,p,ef} := \frac{n_{1,drag} \cdot A_{2,s}}{h_{2,c,ef} \cdot b} = 0.42$$

$$S_{r,2,max} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{2,p,ef}} = 0.239 \text{ m} \quad \text{Karakteristiska sprickavståndet} \quad \text{ekv. [7.11] i EC 2}$$

Beräkning av sprickbredd

$$k_t = 0.4 \quad \text{För långtidslast}$$

$$\text{skillnad i stålets och betongens medeltöjning, } \Delta \epsilon_m = \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$$

$$\Delta \epsilon_{2,m} := \max \left[\frac{\sigma_{2,s1} - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{2,p,ef}} \cdot (1 + \alpha_{ef} \cdot \rho_{2,p,ef})}{E_s}, \frac{\sigma_{2,s1}}{E_s} \cdot 0.6 \right] = 3.88 \times 10^{-5} \quad \text{ekv[7.9] i EC 2}$$

$$W_{2,k} := S_{r,2,max} \cdot \Delta \epsilon_{2,m} = 9.285 \times 10^{-3} \cdot \text{mm} \quad \text{Karakteristisk sprickbredd}$$

$$W_{2,k} = 9.285 \times 10^{-3} \cdot \text{mm} \quad \text{Hämtat från tabell 6}$$

$$W_{k,till} = 0.2 \cdot \text{mm}$$

$$W_{2,k} < W_{k,till} \quad \text{Ok!}$$

B.3.10.3 - Sammanställning

Samtliga värden har klarat kontroll för betongtryckspänning, stålsänning och sprickbredd.

Stöd A

Långtidsmoment: $M_{\max.\text{stöd.bruk}} = 26.44 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Betongtryckspänning: $\sigma_{A.c2} = -2.605 \cdot \text{MPa}$

Stålsänning: $\sigma_{A.s1} = 67.039 \cdot \text{MPa}$

Sprickbredd: $W_{A.k} = 0.061 \cdot \text{mm}$

Stöd B

Långtidsmoment: $M_{\max.\text{stöd.bruk}} = 26.44 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Betongtryckspänning: $\sigma_{B.c2} = -2.405 \cdot \text{MPa}$

Stålsänning: $\sigma_{B.s1} = 32.643 \cdot \text{MPa}$

Sprickbredd: $W_{B.k} = 0.024 \cdot \text{mm}$

Fält 1

Långtidsmoment: $M_{\max.\text{fält.bruk}} = -14.992 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Betongtryckspänning: $\sigma_{1.c2} = -1.801 \cdot \text{MPa}$

Stålsänning: $\sigma_{1.s1} = 10.142 \cdot \text{MPa}$

Sprickbredd: $W_{1.k} = 7.233 \times 10^{-3} \cdot \text{mm}$

Fält 2

Långtidsmoment: $M_{\max.\text{fält.bruk}} = -14.992 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Betongtryckspänning: $\sigma_{2.c2} = -1.774 \cdot \text{MPa}$

Stålsänning: $\sigma_{2.s1} = 12.934 \cdot \text{MPa}$

Sprickbredd: $W_{2.k} = 9.285 \times 10^{-3} \cdot \text{mm}$

B.3.10.4 - Nedböjning

```

clear all
close all
clc
echo off

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      Beräkning av nedböjning av broplatta i tvärled
%      Endast egentyngd
%
%-----

%Indata
g=253.255*10^3;      %Egentyngd [N/m]
E=35*10^9/1.2;      %[Pa] Endast betongen
A=0.4;              % area[m^2]
I=2.459*10^-3;      %Yttröghetsmoment uppsprucket tvärsnitt. hämtat från
                    %lastfall 2 i mathcadfil "brukgränstillstånd tvärled"
                    %[m^4]
L1=2;               %Längd platta utanför yttre stöd [m]
L2=5;               %Längd fält [m]
Ltot=3*L2+L1*2;     %Total effektiv längd [m]
G=g/Ltot;           %Egentyngd [N/m^2]

%Nollmatris
K=zeros(18);
f=zeros(18,1);

%Topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
      2 4 5 6 7 8 9;
      3 7 8 9 10 11 12;
      4 10 11 12 13 14 15;
      5 13 14 15 16 17 18];

%Angivet elementens x och y koordinater
ex=zeros(5,2);
ey=zeros(5,2);
ex(1,:)= [0 L1];
ex(2,:)= [L1 L1+L2];
ex(3,:)= [L1+L2 L1+L2*2];
ex(4,:)= [L1+L2*2 L1+L2*3];
ex(5,:)= [L1+L2*3 2*L1+L2*3];

%Yttre utbredd last
ep=[E A I];
eq=[0 -G];

%Assemblering
for i=1:5
    [Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq);
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

%Upplagsvillkor

```

```
bc=[4 0; 5 0;7 0;8 0;10 0;11 0;13 0;14 0];

%Lösning av ekvationssystem
[a,r]=solveq(K,f,bc);
fprintf('Reaktionskraft i stöd A är: %2.2f kN\n',r(5)*1e-3);
fprintf('Reaktionskraft i stöd B är: %2.2f kN\n',r(8)*1e-3);
fprintf('Reaktionskraft i stöd C är: %2.2f kN\n',r(11)*1e-3);
fprintf('Reaktionskraft i stöd D är: %2.2f kN\n',r(14)*1e-3);

%Beräkning av nedböjning i global matris
Ed=extract(Edof,a);

es1=beam2s(ex(1,:),ey(1,:),ep, Ed(1,:),eq,21);
es2=beam2s(ex(2,:),ey(2,:),ep, Ed(2,:),eq,21);
es3=beam2s(ex(3,:),ey(3,:),ep, Ed(3,:),eq,21);
es4=beam2s(ex(4,:),ey(4,:),ep, Ed(4,:),eq,21);
es5=beam2s(ex(5,:),ey(5,:),ep, Ed(5,:),eq,21);

%Plottar deformationsfigur
for i=1:5
figure(1)
    eldraw2(ex(i,:),ey(i,:),[2 1 0]);
    sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),Ed(1,:),0.5);
    eldisp2(ex(i,:),ey(i,:),Ed(i,:),[1 2 1],sfac);
end
title('Deformationsfigur')
Freqtext1=num2str(a(2)*1e3);
text(0,1,Freqtext1);
Freqtext2=num2str(a(11)*1e3);
text(6.5,1,Freqtext2);
Freqtext3=num2str(a(17)*1e3);
text(13,1,Freqtext3);
ylabel('Förskjutning [mm]');
xlabel('[m]')

%Tar ut maximalt nedböjning i fält
wmax=max(max([Ed(1,:) Ed(2,:) Ed(3,:) Ed(4,:) Ed(5,:)]))*1e3;

%Maximal tillåten nedböjning
wmaxtill=(L1/400)*1e3;

fprintf('Maximal nedböjning: %1.3f mm\n', wmax)
fprintf('Maximal tillåten nedböjning: %1.3f mm\n', wmaxtill)
```



```

clear all
close all
clc
echo off
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      Beräkning av nedböjning av broplatta i tvärled
%      Lastfall 1 - maximal last i yttre konsol
%
%-----

%Indata
P1=405*10^3;           %Punktlast P1 (lasfall 6.10b)  [N]
P2=270*10^3;           %punktlast P2 (lasfall 6.10b)  [N]
p1=9.45*10^3;          %utbredd last (lasfall 6.10b) p1 [N/m]
p2=3.75*10^3;          %utbredd last (lasfall 6.10b) p2 [N/m]
g=253.255*10^3;        %Egentyngd [N/m]
E=35*10^9/1.2;         %[Pa] Endast betongen
A=0.107;               %Ekvivalent area [m^2]
I=1.234*10^-3;         %Ekvivalent yttröghetsmoment uppsprucket tvärsnitt.
                        %hämtat från stöd A i mathcadfil "brukgränstillstånd
                        %tvärled" [m^4]

L1=2;                  %[m]
L2=5;                  %[m]
L3=1.5;                %[m]
L4=3;                  %[m]
Ltot=3*L2+L1*2;        %[m]
G=g/Ltot;              %[m]

%Nollvektor
K=zeros(27);
f=zeros(27,1);

% Utplacering av punktlaster
f(5)=-P1;
f(14)=-P2;

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

%Angivet elementens x och y koordinater
ex=zeros(9,2);
ey=zeros(9,2);
ex(1,:)= [0 L3];
ex(2,:)= [L3 L1];
ex(3,:)= [L1 L4];
ex(4,:)= [L4 L4+L3];
ex(5,:)= [L4+L3 L1+L2];

```

```
ex(6,:)=[L1+L2 L1+2*L2];
ex(7,:)=[L1+2*L2 L1+3*L2];
ex(8,:)=[L1+3*L2 2*L1+3*L2];

%Yttre utbredd last
ep=[E A I];
eq=zeros(8,2);
eq(1,:)=[0 -(p1+G)];
eq(2,:)=[0 -(p1+G)];
eq(3,:)=[0 -(p1+G)];
eq(4,:)=[0 -(p2+G)];
eq(5,:)=[0 -(p2+G)];
eq(6,:)=[0 -G];
eq(7,:)=[0 -(p2+G)];
eq(8,:)=[0 -G];

%Assemblering
for i=1:8
    [Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq(i,:));
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

%Upplagsvillkor
bc=[7 0;8 0;16 0;17 0;19 0;20 0;22 0;23 0];

%Lösning av ekvationssystem
[a,r]=solveq(K,f,bc);
fprintf('Reaktionskraft i stöd A är: %2.2f kN\n',r(8)*1e-3)
fprintf('Reaktionskraft i stöd B är: %2.2f kN\n',r(17)*1e-3)
fprintf('Reaktionskraft i stöd C är: %2.2f kN\n',r(20)*1e-3)
fprintf('Reaktionskraft i stöd D är: %2.2f kN\n',r(23)*1e-3)

% Beräkning av deformationer i globalt system
Ed=extract(Edof,a);
es1=beam2s(ex(1,:),ey(1,:),ep, Ed(1,:),eq(1,:),21);
es2=beam2s(ex(2,:),ey(2,:),ep, Ed(2,:),eq(2,:),21);
es3=beam2s(ex(3,:),ey(3,:),ep, Ed(3,:),eq(3,:),21);
es4=beam2s(ex(4,:),ey(4,:),ep, Ed(4,:),eq(4,:),21);
es5=beam2s(ex(5,:),ey(5,:),ep, Ed(5,:),eq(5,:),21);
es6=beam2s(ex(6,:),ey(6,:),ep, Ed(6,:),eq(6,:),21);
es7=beam2s(ex(7,:),ey(7,:),ep, Ed(7,:),eq(7,:),21);
es8=beam2s(ex(8,:),ey(8,:),ep, Ed(8,:),eq(8,:),21);

%Plottar deformationsfigur
for i=1:8
    figure(2)
    eldraw2(ex(i,:),ey(i,:),[2 1 0]);
    sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),Ed(1,:),0.6);
    eldisp2(ex(i,:),ey(i,:),Ed(i,:),[1 2 1],sfac);
end
title('Deformationsfigur2')
Freqtext1=num2str(a(2)*1e3);
text(0.5,-1.5,Freqtext1);
Freqtext2=num2str(a(14)*1e3);
text(3.5,-3,Freqtext2);
```

```
ylabel('Förskjutning [mm]');
xlabel('[m]')

%Maximalt nedböjning över konsol
wmax=max(max(abs([Ed(1,:) ])))*1e3;

%Maximalt nedböjning över fält
wmax2=max(max(abs([Ed(2,:) Ed(3,:) Ed(4,:) Ed(5,:) Ed(6,:) ...
    Ed(7,:) Ed(8,:) ])))*1e3;

%Maximal tillåten nedböjning över konsol är enligt TK bro eller 5mm över
%kantända
wmaxtill=(L1/400)*1e3;

%Maximal tillåten nedböjning över fält enligt TK bro
wmaxtill2=(L2/400)*1e3;
fprintf('Maximal nedböjning konsol: %2.1f mm\n', wmax)
fprintf('Tillåten nedböjning konsol: %2.1f mm\n', wmaxtill)
fprintf('Maximal nedböjning fält: %2.1f mm\n', wmax2)
fprintf('Tillåten nedböjning fält: %2.1f mm\n', wmaxtill2)
```

```

clear all
close all
clc
echo off
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      Beräkning av nedböjning av broplatta i tvärled
%      Lastfall 3 - maximal last i yttre fält (fack AB resp CD)
%
%-----

%Indata
P1=405*10^3;           %Punktlast P1 (lasfall 6.10b)  [N]
P2=270*10^3;           %punktlast P2 (lasfall 6.10b)  [N]
p1=9.45*10^3;          %utbredd last (lasfall 6.10b) p1 [N/m]
p2=3.75*10^3;          %utbredd last (lasfall 6.10b) p2 [N/m]
g=253.255*10^3;        %Egentyngd [N/m]
E=35*10^9;             %Endast betongen. Elasticitetsmodulens
                        %medelvärde Ecm. hållfasthet C40/50 [Pa]
A=0.19;               %Ekvivalent area [m^2]
I=2.786*10^-3;        %Ekvivalent yttröghetsmoment uppsprucket tvärsnitt.
                        %hämtat från fält 1 i mathcadfil "brukgränstillstånd
                        %tvärled" [m^4]

L1=2;                 %[m]
L2=5;                 %[m]
L3=1;                 %[m]
L4=3;                 %[m]
Ltot=3*L2+L1*2;       %[m]
G=g/Ltot;             %[N/m^2]

%Nollvektor
K=zeros(30);
f=zeros(30,1);
% Utplacering av punktlaster
f(11)=-P1;
f(17)=-P2;

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

%Angivet elementens x och y koordinater
ex=zeros(9,2);
ey=zeros(9,2);
ex(1,:)= [0 L1];
ex(2,:)= [L1 L1+L3];
ex(3,:)= [L1+L3 L1+L3+L4/2];
ex(4,:)= [L1+L3+L4/2 L1+L3+L4];
ex(5,:)= [L1+L3+L4 L1+L3+L4+L3/2];

```

```
ex(6,:)=[L1+L3+L4+L3/2 L1+L3+L4+L3];
ex(7,:)=[L1+L3+L4+L3 L1+L3+L4+L3+L2];
ex(8,:)=[L1+L3+L4+L3+L2 L1+L3+L4+L3+L2*2];
ex(9,:)=[L1+L3+L4+L3+L2*2 L1+L3+L4+L3+L2*2+L1];

%Yttre utbredd last
ep=[E A I];
eq=zeros(9,2);
eq(1,:)=[0 -G];
eq(2,:)=[0 -(p2+G)];
eq(3,:)=[0 -(p1+G)];
eq(4,:)=[0 -(p1+G)];
eq(5,:)=[0 -(p2+G)];
eq(6,:)=[0 -(p2+G)];
eq(7,:)=[0 -G];
eq(8,:)=[0 -(p2+G)];
eq(9,:)=[0 -G];

%Assemblering
for i=1:9
    [Ke, fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq(i,:));
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

%Upplagsvillkor
bc=[4 0;5 0;19 0;20 0;22 0;23 0;25 0;26 0];

%Lösning av ekvationssystem
[a,r]=solveq(K,f,bc);

fprintf('Reaktionskraft i stöd A är: %2.2f kN\n',r(5)*1e-3)
fprintf('Reaktionskraft i stöd B är: %2.2f kN\n',r(20)*1e-3)
fprintf('Reaktionskraft i stöd C är: %2.2f kN\n',r(23)*1e-3)
fprintf('Reaktionskraft i stöd D är: %2.2f kN\n',r(26)*1e-3)

% Beräkning av deformationer i globalt system
Ed=extract(Edof,a);

for i=1:9
    es=beam2s(ex(i,:),ey(i,:),ep, Ed(i,:),eq(i,:),21);
end

%Plottar deformationsfigur
for i=1:9
    figure(2)
    eldraw2(ex(i,:),ey(i,:),[2 1 0]);
    sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),Ed(1,:),0.6);
    eldisp2(ex(i,:),ey(i,:),Ed(i,:),[1 2 1],sfac);
end
title('Deformationsfigur')
Freqtext1=num2str(a(2)*1e3);
text(0.5,1.5,Freqtext1);
Freqtext2=num2str(a(11)*1e3);
text(3.5,-2,Freqtext2);
ylabel('Förskjutning [cm]');
```

```
xlabel(' [m]')
```

```
%Maximalt nedböjning över fält
```

```
wmax=max(max(abs([Ed(2,:) Ed(3,:) Ed(4,:) Ed(5,:) Ed(6,:) ...  
    Ed(7,:) Ed(8,:) Ed(9,:)])))*1e3;
```

```
%Maximalt nedböjning över konsol
```

```
wmax2=max(max([Ed(1,:)]))*1e3;
```

```
%Maximal tillåten nedböjning över fält enligt TK bro
```

```
wmaxtill=(L2/400)*1e3;
```

```
%Maximal tillåten nedböjning över konsol enligt TK bro
```

```
wmaxtill2=(L1/400)*1e3;
```

```
fprintf('Maximal nedböjning fält: %2.1f mm\n', wmax)
```

```
fprintf('Maximal nedböjning konsol: %2.1f mm\n', wmax2)
```

```
fprintf('Tillåten nedböjning fält: %2.1f mm\n', wmaxtill)
```

```
fprintf('Tillåten nedböjning konsol: %2.1f mm\n', wmaxtill2)
```

```

clear all
close all
clc
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      Beräkning av nedböjning av broplatta i tvärled
%      Lastfall 4 - maximal last i mittfält (fack BC)
%
%-----

%Indata
P1=405*10^3;           %Punktlast P1  [N]
P2=270*10^3;           %punktlast P2  [N]
p1=(9.45*10^3);        %utbredd last p1 [N/m]
p2=(3.75*10^3);        %utbredd last p2 [N/m]
g=(253.255*10^3);      %Egentyngd [N/m]
E=35*10^9;             %[Pa] Endast betongen. Elasticitetsmodulens
                        %medelvärde Ecm. hållfasthet C40/50
A=0.173;               %Ekvivalent area [m^2]
I=2.459*10^-3;         %Ekvivlenet Yttröghetsmoment uppsprucket tvärsnitt.
                        %hämtat från fält 2 i mathcadfil "brukgränstillstånd
                        %tvärled" [m^4]

L1=2;                  %[m]
L2=5;                  %[m]
L3=1;                  %[m]
L4=3;                  %[m]
Itot=3*L2+L1*2;        %[m]
G=g/Itot;              %Egentyngd [N/m^2]

%Nollmatris
K=zeros(30);
f=zeros(30,1);

%Utplacering av punktlaster
f(14)=-P1;
f(20)=-P2;

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

%Placering av elementens placering i system
ex=zeros(9,2);
ey=zeros(9,2);
ex(1,:)= [0 L1];
ex(2,:)= [L1 L1+L2];
ex(3,:)= [L1+L2 L1+L2+L3];
ex(4,:)= [L1+L2+L3 L1+L2+L3+L4/2];
ex(5,:)= [L1+L2+L3+L4/2 L1+L2+L3+L4];

```

```
ex(6,:)=[L1+L2+L3+L4 L1+L2+L3+L4+L3/2];
ex(7,:)=[L1+L2+L3+L4+L3/2 L1+L2+L3+L4+L3];
ex(8,:)=[L1+L2+L3+L4+L3 L1+L2+L3+L4+L3+L2];
ex(9,:)=[L1+L2+L3+L4+L3+L2 L1+L2+L3+L4+L3+L2+L1];

%Placering av utbredda laster
ep=[E A I];
eq=zeros(9,2);
eq(1,:)=[0 -(p2+G)];
eq(2,:)=[0 -G];
eq(3,:)=[0 -(p2+G)];
eq(4,:)=[0 -(p1+G)];
eq(5,:)=[0 -(p1+G)];
eq(6,:)=[0 -(p2+G)];
eq(7,:)=[0 -(p2+G)];
eq(8,:)=[0 -G];
eq(9,:)=[0 -(p2+G)];

%Assemblering
for i=1:9
    [Ke, fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq(i,:));
    [K, f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

%Upplagsvillkor. Antar låst i horisontelll och vertikal i led i samtilga
%stöd
bc=[4 0;5 0;7 0;8 0;22 0;23 0;25 0;26 0];

%Lösning av ekvationssystem
[a,r]=solveq(K,f,bc);

%Läser av reaktionskrafterna
fprintf('Reaktionskraft i stöd A är: %2.2f kN\n',r(5)*1e-3)
fprintf('Reaktionskraft i stöd B är: %2.2f kN\n',r(8)*1e-3)
fprintf('Reaktionskraft i stöd C är: %2.2f kN\n',r(23)*1e-3)
fprintf('Reaktionskraft i stöd D är: %2.2f kN\n',r(26)*1e-3)

% Beskriver deformationen i det globala systemet
Ed=extract(Edof,a);
es1=beam2s(ex(1,:),ey(1,:),ep, Ed(1,:),eq(1,:),21);
es2=beam2s(ex(2,:),ey(2,:),ep, Ed(2,:),eq(2,:),21);
es3=beam2s(ex(3,:),ey(3,:),ep, Ed(3,:),eq(3,:),21);
es4=beam2s(ex(4,:),ey(4,:),ep, Ed(4,:),eq(4,:),21);
es5=beam2s(ex(5,:),ey(5,:),ep, Ed(5,:),eq(5,:),21);
es6=beam2s(ex(6,:),ey(6,:),ep, Ed(6,:),eq(6,:),21);
es7=beam2s(ex(7,:),ey(7,:),ep, Ed(7,:),eq(7,:),21);
es8=beam2s(ex(8,:),ey(8,:),ep, Ed(8,:),eq(8,:),21);
es9=beam2s(ex(9,:),ey(9,:),ep, Ed(9,:),eq(9,:),21);

%Plottar deformationsfigur
for i=1:9
figure(2)
    eldraw2(ex(i,:),ey(i,:),[2 1 0]);
    sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),Ed(1,:),0.6);
    eldisp2(ex(i,:),ey(i,:),Ed(i,:),[1 2 1],sfac);
```



```
end
title('Deformationsfigur')
max(abs(a));
Freqtext1=num2str(a(2)*1e3);
text(0.5,-1.5,Freqtext1);
Freqtext2=num2str(a(14)*1e3);
text(9,-3.5,Freqtext2);
ylabel('Förskjutning [cm]');
xlabel('[m]')

%Maximalt nedböjning över fält
wmax=max(max(abs([Ed(1,:) Ed(2,:) Ed(3,:) Ed(4,:) Ed(5,:) Ed(6,:) ...
    Ed(7,:) Ed(8,:) Ed(9,:)])))*1e3;

%Maximalt nedböjning över konsol
wmax2=max(max([Ed(1,:) ]))*1e3;

%Tillåten nedböjning över fält enligt TK bro
wmaxtill1=(L2/400)*1e3;

%Tillåten nedböjning över konsol enligt TK bro
wmaxtill2=(L1/400)*1e3;

%Läser av maximal nedböjning
fprintf('Maximal nedböjning fält: %2.1f mm\n', wmax)
fprintf('Maximal nedböjning konsol: %2.1f mm\n', wmax2)

%Läser av maximal tillåten nedböjning
fprintf('Tillåten nedböjning fält: %2.1f mm\n', wmaxtill1)
fprintf('Tillåten nedböjning konsol: %2.1f mm\n', wmaxtill2)
```

B.4 - Längsled

B.4.1 - Beräkningsmodell



B.4.2 - Ingående materialparametrar

$$b_{\text{kantb}} := 0.5\text{m}$$

$$b_{\text{körfält}} := 3.5\text{m}$$

$$b_{\text{vry}} := 2\text{m}$$

$$b_{\text{vri}} := 0.5\text{m}$$

$$b_{\text{tot}} := (b_{\text{kantb}} + b_{\text{vry}} + 2 \cdot b_{\text{körfält}} + b_{\text{vri}}) \cdot 2 = 20\text{m}$$

$$b_{\text{fri}} := b_{\text{tot}} - 2 \cdot b_{\text{kantb}} = 19\text{m}$$

$$c := \frac{b_{\text{fri}}}{3.8} = 5\text{m}$$

$$h_{\text{kantb}} := 0.5\text{m}$$

$$t_{f1} := 0.4\text{m}$$

$$t_{f2} := 0.5\text{m}$$

$$t_w := 0.9\text{m}$$

$$h_{\text{låda}} := 2.5\text{m}$$

$$b_{\text{låda}} := c + t_w = 5.9\text{m}$$

$$b_{f2} := b_{\text{låda}} - 2 \cdot t_w = 4.1\text{m}$$

Areor

$$A_c := b_{\text{kantb}} \cdot h_{\text{kantb}} \cdot 2 + b_{\text{fri}} \cdot t_{f1} + h_{\text{låda}} \cdot t_w \cdot 4 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot 2 = 21.2\text{m}^2$$

$$A_f := t_{f2} \cdot b_{f2} = 2.05\text{m}^2$$

Givet från tekniska rapporten

Bredd på ett körfält

Yttre vägren

Inre vägren

Total brobredd

Fri brobredd (exklusive kantbalkar)

CC-mått för lådornas balkar

Höjd kantbalk

Tjocklek broplatta

Tjocklek nedre lådfläns

Tjocklek lådliv

Höjd låda (Minimikrav 1.9 m inuti, Spännvidd/20)

Lådornas bredd

Total tvärsnittsarea

Tvärsnittsarea undre fläns

Bilaga B.4 - Längsled

$$A_w := t_w \cdot h_{l\ddot{a}da} = 2.25 \text{ m}^2$$

Tvärnsittsarea liv

$$A_p := b_{fri} \cdot t_{f1} = 7.6 \text{ m}^2$$

Tvärnsnittsarea platta

$$A_{kantb} := h_{kantb} \cdot b_{kantb} = 0.25 \text{ m}^2$$

Tvärnsnittsarea kantbalk

Avstånd

$$l_{f2} := \frac{t_{f2}}{2} = 0.25 \text{ m}$$

Längd till centrum undre fläns

$$l_w := \frac{h_{l\ddot{a}da}}{2} = 1.25 \text{ m}$$

Längd till centrum liv

$$l_{f1} := l_w + \frac{t_{f1}}{2} = 1.45 \text{ m}$$

Längd till centrum platta

$$l_{kantb} := l_w + \frac{h_{kantb}}{2} = 1.5 \text{ m}$$

Längd till centrum kantbalk

Tyngdpunkt

$$T_p := \frac{A_f \cdot l_{f2} \cdot 2 + A_w \cdot l_w \cdot 4 + A_p \cdot l_{f1} + A_{kantb} \cdot l_{kantb} \cdot 2}{A_c} = 1.134 \text{ m}$$

Tyngdpunktsekvation

Yttröghetsmoment

$$I_c := \left[\frac{b_{f2} \cdot t_{f2}^3}{12} + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot (T_p - l_{f2})^2 \right] \cdot 2 \dots = 9.036 \text{ m}^4$$

$$+ \left[\frac{t_w \cdot h_{l\ddot{a}da}^3}{12} + t_w \cdot h_{l\ddot{a}da} \cdot (l_w - T_p)^2 \right] \cdot 4 \dots$$

$$+ \left[\frac{b_{fri} \cdot t_{f1}^3}{12} + t_{f1} \cdot b_{fri} \cdot (l_{f1} - T_p)^2 \right] \dots$$

$$+ \left[\frac{b_{kantb} \cdot h_{kantb}^3}{12} + b_{kantb} \cdot h_{kantb} \cdot (l_{kantb} - T_p)^2 \right] \cdot 2$$

Betong

$$f_{ctk0.05} := 2.5 \text{ MPa}$$

Betongens draghållfasthet

$$k := 1$$

Minimikrav på 1

$$f_{ctfl} := k \cdot f_{ctk0.05} = 2.5 \cdot \text{MPa}$$

Betongens dimensionerande draghållfasthet

$$f_{ck} := 40 \text{ MPa}$$

Karakteristisk tryckhållfasthet

$$\sigma_c := 0.6 \cdot f_{ck} = 24 \cdot \text{MPa}$$

Krav på högsta betongspänning

Bilaga B.4 - Längsled

$$c_{\min, \text{dur}} := 40 \text{ mm}$$

Betongens täcksikt map beständighet

$$c_{\text{dev}} := 10 \text{ mm}$$

Säkerhetsmarginal

$$d_g := 24 \text{ mm}$$

Största diameter på ballast

$$f_{\text{ctm}} := 3.5 \text{ MPa}$$

Medeldraghållfasthet betong

$$\gamma_c := 1.5$$

Partialkoefficient betong

$$f_{\text{ctd}} := \frac{f_{\text{ctk}0.05}}{\gamma_c} = 1.667 \cdot \text{MPa}$$

Dimensionerande draghållfasthet, betong

$$f_{\text{cd}} := \frac{f_{\text{ck}}}{\gamma_c} = 26.667 \cdot \text{MPa}$$

Dimensionerande tryckhållfasthet betong

Armering

$$f_{\text{yk}} := 500 \text{ MPa}$$

Flytspänning, karakteristisk

$$\gamma_s := 1.15$$

Partialkoefficient armering

$$f_{\text{yd}} := \frac{f_{\text{yk}}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa}$$

Dimensionerande flytspänning

$$\phi := 20 \text{ mm}$$

Diameter armering

$$A_s := \phi^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Tvärsnittsarea armering

$$\phi_{\text{bygel}} := 24 \text{ mm}$$

Diameter byglar

$$A_{\text{sw}} := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi_{\text{bygel}}^2}{4} = 9.048 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Tvärsnittsarea byglar

$$f_{\text{ywd}} := f_{\text{yd}} = 434.783 \cdot \text{MPa}$$

Dimensionerande hållfasthet byglar

Spännarmering

Givna konstanter från dokument, AnC15 13C15

$$\phi_{\text{rör}} := 85 \text{ mm}$$

Diameter kabelrör

$$x_{\text{prim}} := 142 \text{ mm}$$

Kantavstånd spännrör

$$\underline{\underline{A}} := 250 \text{ mm}$$

Höjd förankringsplatta

$$B := 210 \text{ mm}$$

Bredd förankringsplatta

$$a := 310 \text{ mm}$$

Givet från dokument

Bilaga B.4 - Längsled

$$b := a = 310 \cdot \text{mm}$$

$$\gamma_{sv} := 1.15$$

$$\eta := 0.8$$

$$\phi_{\text{vajer}} := 15.7 \text{ mm}$$

$$A_{\text{vajer}} := \pi \cdot \frac{\phi_{\text{vajer}}^2}{4} = 1.936 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$f_{\text{puk}} := 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{p0.1k}} := 1640 \text{ MPa}$$

Partialkoefficient

Reduktionsfaktor

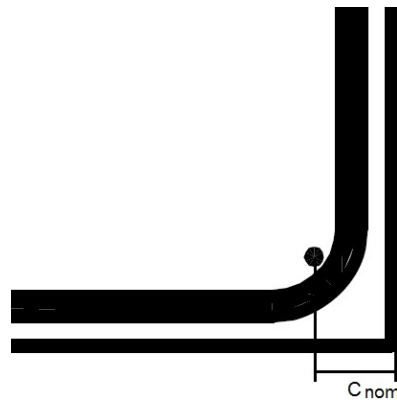
Diameter vajer

Tvärsnittsarea vajer

Högsta stålspänning

Stålspänning

B.4.3 - Täckande betongskikt, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 4



Spännkablar

$$c_{\text{min.b}} := \phi_{\text{rör}} = 0.085 \text{ m}$$

$$c_{\text{min.rör}} := \max(c_{\text{min.dur}}, c_{\text{min.b}}, 10 \text{ mm}) = 0.085 \text{ m}$$

$$c_{\text{nom.rör}} := c_{\text{min.rör}} + c_{\text{dev}} = 0.095 \text{ m}$$

Slutgiltigt täckande betongskikt

Minsta täckande betongskikt för rör
ekv [4.2] i EC
2
ekv [4.1] i EC
2

Armering

$$c_{\text{min.b}} := \phi = 0.02 \text{ m}$$

$$c_{\text{min}} := \max(c_{\text{min.dur}}, c_{\text{min.b}}, 10 \text{ mm}) = 40 \cdot \text{mm}$$

Minsta kantavstånd

$$c_{\text{nom}} := c_{\text{min}} + c_{\text{dev}} = 0.05 \text{ m}$$

Slutgiltigt minsta kantavstånd

ekv [4.2] i EC
2
ekv [4.1] i EC
2

B.4.4 - Avstånd mellan stänger/spännarmering

Spännkablar SS-EN 1992-1-1:2005, kap 8.10.1.3

Bilaga B.4 - Längsled

$$c_{\text{kant}} := c_{\text{nom.rör}} + \frac{\phi_{\text{rör}}}{2} = 0.138 \text{ m} \quad \text{CC-avstånd rör-kant}$$

$$c_{\text{avströr}} := \max(dg, \phi_{\text{rör}}, 50\text{mm}) = 0.085 \text{ m} \quad \text{Minsta avstånd mellan rör}$$

$$c_{\text{avströr}} := c_{\text{avströr}} + \phi_{\text{rör}} = 0.17 \text{ m} \quad \text{CC-avstånd rör}$$

Antal spänningsrör i tvärled

$$n_{\text{bredd}} := \text{ceil}\left[\frac{(t_w - 2 \cdot c_{\text{kant}})}{c_{\text{avströr}}}\right] = 4 \quad \text{Maximalt antal spänningsrör i tvärled per lådliv}$$

$$y := 0.85 \cdot b = 0.264 \text{ m} \quad \text{Avstånd mellan rör i sidled mht förankringsplatta}$$

$$y_{\text{prim}} := 0.5 \cdot y + 10\text{mm} = 0.142 \text{ m} \quad \text{Avstånd mellan rör och kant i sidled mht förankringsplatta}$$

$$n_{\text{kontroll}} := \text{ceil}\left[\frac{(t_w - 2 \cdot y_{\text{prim}})}{y}\right] = 3 \quad \text{Kontroll med förankringsplattors bredd}$$

n.bredd EJ OK!

$$n_{\text{bredd}} := n_{\text{kontroll}} = 3 \quad \begin{array}{l} \text{Maximalt antal spänningsrör i tvärled per lådliv} \\ \text{(Se bilaga B.4.9.5 för ritning av inläggning)} \end{array}$$

Armering SS-EN 1992-1-1:2005, kap 8.2

$$c_{\text{minkant}} := c_{\text{nom}} + \frac{\phi}{2} = 0.06 \text{ m} \quad \text{Minsta kantavstånd till centrum armering}$$

$$c_{\text{maxuk}} := x_{\text{prim}} - \frac{\phi_{\text{rör}}}{2} - \frac{\phi}{2} = 0.09 \text{ m} \quad \text{Beror på spännarmeringens placering}$$

$$c_{\text{minök}} := 90\text{mm} \quad \text{Beror på dragkraftsarmering tvärleds placering}$$

Väljer:

$$c_{\text{uk}} := 0.07\text{m}$$

$$c_{\text{ök}} := 110\text{mm}$$

$$c_{\text{avst}} := \max(dg, \phi, 50\text{mm}) = 0.05 \text{ m} \quad \text{Minsta avstånd armering}$$

$$c_{\text{min}} := c_{\text{avst}} + \phi = 0.07 \text{ m} \quad \text{Minsta cc-avstånd armering}$$

B.4.5 - Minimiarmring, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 9.2.1.1

Lådliv

$$b_{\text{tliv}} := t_w = 0.9 \text{ m} \quad \text{Dragen bredd}$$

$$n_{\text{radliv}} := 10 \quad \text{Antal stänger per sida, liv}$$

Bilaga B.4 - Längsled

$$x_{\text{tpliv}} := \frac{2.5}{n_{\text{radliv}} + 1} \text{ m} = 0.227 \text{ m}$$

(Se bilaga B.4.9.5 för ritning av inläggning)

$$d_{\text{liv}} := h_{\text{låda}} + t_{f1} - x_{\text{tpliv}} = 2.673 \text{ m}$$

Armeringens d-avstånd

$$A_{\text{sminliv}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_{\text{tliv}} \cdot d_{\text{liv}} = 4.378 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Minsta mängd armering **ekv [9.1N] i EC 2**

Lådbotten

$$b_{\text{tbotten}} := b_{\text{låda}} - 2 \cdot t_w = 4.1 \text{ m}$$

Dragen bredd

$$n_{\text{radbotten}} := 40$$

Antal stänger i bredd, botten
(Se bilaga B.4.9.5 för ritning av inläggning)

$$d_{\text{botten}} := h_{\text{låda}} + t_{f1} - \frac{t_{f2}}{2} = 2.65 \text{ m}$$

Armeringens d-avstånd

$$A_{\text{sminbotten}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_{\text{tbotten}} \cdot d_{\text{botten}} = 0.02 \text{ m}^2$$

Minsta mängd armering **ekv [9.1N] i EC 2**

Broplatta

$$b_{\text{tplatta}} := b_{\text{fri}} = 19 \text{ m}$$

Dragen bredd

$$n_{\text{radplatta}} := 150$$

Antal stänger i bredd, botten
(Se bilaga B.4.9.5 för ritning av inläggning)

$$d_{\text{platta}} := h_{\text{låda}} + \frac{t_{f1}}{2} = 2.7 \text{ m}$$

Armeringens d-avstånd

$$A_{\text{sminplatta}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_{\text{tplatta}} \cdot d_{\text{platta}} = 0.093 \text{ m}^2$$

Minsta mängd armering **ekv [9.1N] i EC 2**

Kantbalk

$$b_{\text{tkantb}} := b_{\text{kantb}} = 0.5 \text{ m}$$

Dragen bredd

$$n_{\text{radkantb}} := 1$$

Antal stänger i bredd, botten

$$d_{\text{kantb}} := \frac{h_{\text{kantb}}}{2} = 0.25 \text{ m}$$

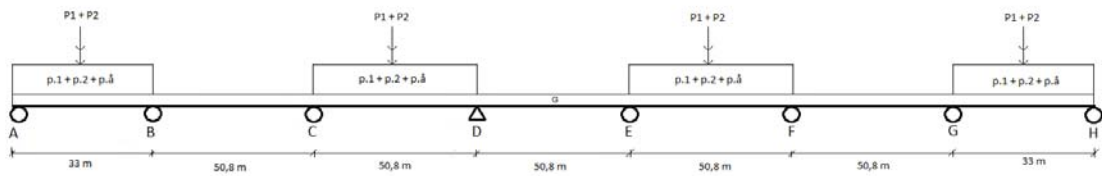
Armeringens d-avstånd

$$A_{\text{smin}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_{\text{tkantb}} \cdot d_{\text{kantb}} = 2.275 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

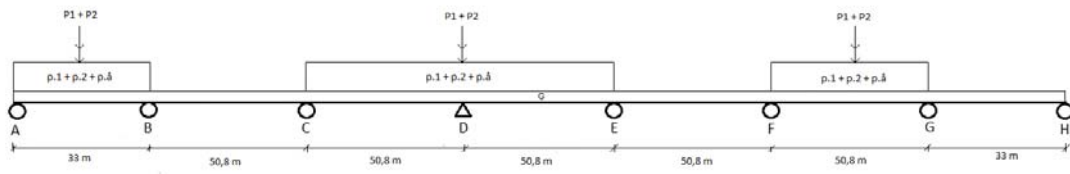
Minsta mängd armering **ekv [9.1N] i EC 2**

B.4.6 - Laster och lastkombination, SS-EN 1991-2, kap 4

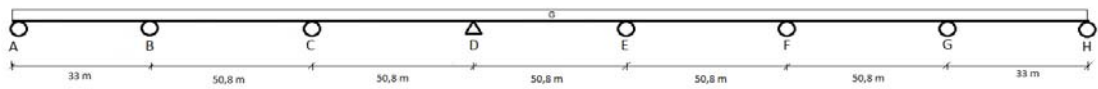
Bilaga B.4 - Längsled



Lastfall 1



Lastfall 2



Lastfall bruk

B.4.7 - Moment och tvärkraft


```
clear all
close all
clc
echo off
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      Beräkning av moment och tvärkraft för broplatta i längsled
%      Endast egentygnd
%
%-----

%Indata
g=603.225*10^3; %Egentygnd [N/m]
E=35*10^9/1.2; %[Pa] Endast betongen
A=22.1; %[m^2]
I=13.108; %[m^4] Tvärsnittet
L1=33; %[m]
L2=50.8; %[m]
%Skapar elementmatriser
K=zeros(24);
f=zeros(24,1);

%Skapar koordinatvektorer, tvärsnittsvektor, lastvektor och topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
      2 4 5 6 7 8 9;
      3 7 8 9 10 11 12;
      4 10 11 12 13 14 15;
      5 13 14 15 16 17 18;
      6 16 17 18 19 20 21;
      7 19 20 21 22 23 24];
ex=zeros(7,2);
ey=zeros(7,2);
ex(1,:)= [0 L1];
ex(2,:)= [L1 L1+L2];
ex(3,:)= [L1+L2 L1+L2*2];
ex(4,:)= [L1+L2*2 L1+L2*3];
ex(5,:)= [L1+L2*3 L1+L2*4];
ex(6,:)= [L1+L2*4 L1+L2*5];
ex(7,:)= [L1+L2*5 L1*2+L2*5];
ep=[E A I];
eq=[0 -g];

%Skapar styvhetsmatriser och assemblerar i global matrix
for i=1:7
    [Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq);
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

%Upplagsvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 11 0; 14 0; 17 0; 20 0; 23 0];

%Löser ekvationssystemet
[a,r]=solveq(K,f,bc);

%Tar ut reaktionskrafter vid stöd
fprintf('Reaktionskraft i stöd A är: %1.1f \n',r(2))
```

```
fprintf('Reaktionskraft i stöd B är: %1.1f \n',r(5))
fprintf('Reaktionskraft i stöd C är: %1.1f \n',r(8))
fprintf('Reaktionskraft i stöd D är: %1.1f \n',r(11))
fprintf('Reaktionskraft i stöd E är: %1.1f \n',r(14))
fprintf('Reaktionskraft i stöd F är: %1.1f \n',r(17))
fprintf('Reaktionskraft i stöd G är: %1.1f \n',r(20))
fprintf('Reaktionskraft i stöd H är: %1.1f \n',r(23))
```

```
Ed=extract(Edof,a);
es1=beam2s(ex(1,:),ey(1,:),ep, Ed(1,:),eq,1000);
es2=beam2s(ex(2,:),ey(2,:),ep, Ed(2,:),eq,1000);
es3=beam2s(ex(3,:),ey(3,:),ep, Ed(3,:),eq,1000);
es4=beam2s(ex(4,:),ey(4,:),ep, Ed(4,:),eq,1000);
es5=beam2s(ex(5,:),ey(5,:),ep, Ed(5,:),eq,1000);
es6=beam2s(ex(6,:),ey(6,:),ep, Ed(6,:),eq,1000);
es7=beam2s(ex(7,:),ey(7,:),ep, Ed(7,:),eq,1000);
```

```
%Plot av tvärkraftsdiagram
```

```
figure(1)
plotpar=[2,1];
sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,2),0.9);
eldia2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(2,:),ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(3,:),ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(4,:),ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(5,:),ey(5,:),es5(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(6,:),ey(6,:),es6(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(7,:),ey(7,:),es7(:,2),plotpar,sfac);
pltscalb2(sfac,[2e7 30 -50]);
title('Tvärkraft')
```

```
%Plot av momentdiagram
```

```
figure(2)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,3),0.9);
eldia2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(2,:),ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(3,:),ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(4,:),ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(5,:),ey(5,:),es5(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(6,:),ey(6,:),es6(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(7,:),ey(7,:),es7(:,3),plotpar,sfac);
pltscalb2(sfac,[10e7 30 -50]);
title('Moment')
```

```
%Tar ut maximalt moment över fält
```

```
Mmaxfalt=max(max([es1(:,3) es2(:,3) es3(:,3) es4(:,3) es5(:,3) es6(:,3) es7(:,3)])));
```

```
%Tar ut maximalt moment över stöd
```

```
Mmaxstod=min(min([es1(:,3) es2(:,3) es3(:,3) es4(:,3) es5(:,3) es6(:,3) es7(:,3)])));
```

```
%Tar ut maximal tvärkraft
```

```
Tmax=max(max(abs([es1(:,2) es2(:,2) es3(:,2) es4(:,2) es5(:,2) es6(:,2) es7(:,2)])));
fprintf('Maximalt fältmoment: %f Nm\n', Mmaxfalt)
fprintf('Maximalt stödmoment: %f Nm\n', Mmaxstod)
```

```
fprintf('Maximal tvärkraft: %f Nm\n', Tmax)

% Tar ut tvärkrafter invid stöd, 2.421 m från stöd
es1(73,2);
es1(1000-73,2);
es2(48,2);
es2(1000-48,2);
es3(48,2);
es3(1000-48,2);
es4(48,2);
es4(1000-48,2);
es5(48,2);
es5(1000-48,2);
es6(48,2);
es6(1000-48,2);
es7(73,2);
es7(1000-73,2);

% Beräknar avstånd från respektive stöd till där tvärkraften är mindre än
% tvärkraftsarmeringens minsta bärförmåga
VRdmin=4*1.502*10^6;
[V1 x1]=min(abs(-es1(:,2)-VRdmin));
[V2 x2]=min(abs(es1(:,2)-VRdmin));
[V3 x3]=min(abs(-es2(:,2)-VRdmin));
[V4 x4]=min(abs(es2(:,2)-VRdmin));
[V5 x5]=min(abs(-es3(:,2)-VRdmin));
[V6 x6]=min(abs(es3(:,2)-VRdmin));
[V7 x7]=min(abs(-es4(:,2)-VRdmin));
[V8 x8]=min(abs(es4(:,2)-VRdmin));
[V9 x9]=min(abs(-es5(:,2)-VRdmin));
[V10 x10]=min(abs(es5(:,2)-VRdmin));
[V11 x11]=min(abs(-es6(:,2)-VRdmin));
[V12 x12]=min(abs(es6(:,2)-VRdmin));
[V13 x13]=min(abs(-es7(:,2)-VRdmin));
[V14 x14]=min(abs(es7(:,2)-VRdmin));

%Skriver ut placeringen
x1
x2
x3
x4
x5
x6
x7
x8
x9
x10
x11
x12
x13
x14
```

```
clear all
close all
clc
echo off
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%       Beräkning av moment och tvärkraft för broplatta i längsled
%       Lastfall 1
%
%-----

%Indata
P=(810+540)*10^3; %punktlaster P1+P2 [N]
p=(9.45*3+3.75*16)*10^3; %utbredd last p1+p2+på [N/m]
g=603.225*10^3; %Egentyngd [N/m]
E=35*10^9/1.2; %[Pa]
A=22.1; %[m^2]
I=13.108; %[m^4]
L1=33; %[m]
L2=50.8; %[m]

%Skapar elementmatriser
K=zeros(36);
f=zeros(36,1);

%Sätter in punktlaster
f(5)=-P;
f(14)=-P;
f(23)=-P;
f(32)=-P;

%Skapar koordinatvektorer, tvärsnittsvektor, lastvektor och topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
      2 4 5 6 7 8 9;
      3 7 8 9 10 11 12;
      4 10 11 12 13 14 15;
      5 13 14 15 16 17 18;
      6 16 17 18 19 20 21;
      7 19 20 21 22 23 24;
      8 22 23 24 25 26 27;
      9 25 26 27 28 29 30;
      10 28 29 30 31 32 33;
      11 31 32 33 34 35 36];
ex=zeros(11,2);
ey=zeros(11,2);
ex(1,:)= [0 L1/2];
ex(2,:)= [L1/2 L1];
ex(3,:)= [L1 L1+L2];
ex(4,:)= [L1+L2 L1+L2*3/2];
ex(5,:)= [L1+L2*3/2 L1+L2*2];
ex(6,:)= [L1+L2*2 L1+L2*3];
ex(7,:)= [L1+L2*3 L1+L2*7/2];
ex(8,:)= [L1+L2*7/2 L1+L2*4];
ex(9,:)= [L1+L2*4 L1+L2*5];
ex(10,:)= [L1+L2*5 L1*3/2+L2*5];
ex(11,:)= [L1*3/2+L2*5 L1*2+L2*5];
```

```
ep=[E A I];

eq=zeros(11,2);
eq(1,:)= [0 -(p+g)];
eq(2,:)= [0 -(p+g)];
eq(3,:)= [0 -g];
eq(4,:)= [0 -(p+g)];
eq(5,:)= [0 -(p+g)];
eq(6,:)= [0 -g];
eq(7,:)= [0 -(p+g)];
eq(8,:)= [0 -(p+g)];
eq(9,:)= [0 -g];
eq(10,:)= [0 -(g+p)];
eq(11,:)= [0 -(g+p)];

%Skapar styvhetsmatriser och assemblerar i global matris
for i=1:11
    [Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq(i,:));
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

%Upplagsvillkor
bc=[1 0; 2 0; 8 0; 11 0; 17 0; 20 0; 26 0; 29 0; 35 0];

%Löser ekvationssystemet
[a,r]=solveq(K,f,bc);

%Tar ut reaktionskrafter vid stöd
fprintf('Reaktionskraft i stöd A är: %1.1f \n',r(2))
fprintf('Reaktionskraft i stöd B är: %1.1f \n',r(8))
fprintf('Reaktionskraft i stöd C är: %1.1f \n',r(11))
fprintf('Reaktionskraft i stöd D är: %1.1f \n',r(17))
fprintf('Reaktionskraft i stöd E är: %1.1f \n',r(20))
fprintf('Reaktionskraft i stöd F är: %1.1f \n',r(26))
fprintf('Reaktionskraft i stöd G är: %1.1f \n',r(29))
fprintf('Reaktionskraft i stöd H är: %1.1f \n',r(35))

Ed=extract(Edof,a);

es1=beam2s(ex(1,:),ey(1,:),ep, Ed(1,:),eq(1,:),1000);
es2=beam2s(ex(2,:),ey(2,:),ep, Ed(2,:),eq(2,:),1000);
es3=beam2s(ex(3,:),ey(3,:),ep, Ed(3,:),eq(3,:),1000);
es4=beam2s(ex(4,:),ey(4,:),ep, Ed(4,:),eq(4,:),1000);
es5=beam2s(ex(5,:),ey(5,:),ep, Ed(5,:),eq(5,:),1000);
es6=beam2s(ex(6,:),ey(6,:),ep, Ed(6,:),eq(6,:),1000);
es7=beam2s(ex(7,:),ey(7,:),ep, Ed(7,:),eq(7,:),1000);
es8=beam2s(ex(8,:),ey(8,:),ep, Ed(8,:),eq(8,:),1000);
es9=beam2s(ex(9,:),ey(9,:),ep, Ed(9,:),eq(9,:),1000);
es10=beam2s(ex(10,:),ey(10,:),ep, Ed(10,:),eq(10,:),1000);
es11=beam2s(ex(11,:),ey(11,:),ep, Ed(11,:),eq(11,:),1000);

%Plot av tvärkraftsdiagram
figure(1)
plotpar=[2,1];
```

```

sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,2),0.9);
eldia2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(2,:),ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(3,:),ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(4,:),ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(5,:),ey(5,:),es5(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(6,:),ey(6,:),es6(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(7,:),ey(7,:),es7(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(8,:),ey(8,:),es8(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(9,:),ey(9,:),es9(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(10,:),ey(10,:),es10(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(11,:),ey(11,:),es11(:,2),plotpar,sfac);
pltscalb2(sfac,[2e7 30 -50]);
title('Tvärkraft')

```

```
%Plot av momentdiagram
```

```

figure(2)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,3),0.9);
eldia2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(2,:),ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(3,:),ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(4,:),ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(5,:),ey(5,:),es5(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(6,:),ey(6,:),es6(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(7,:),ey(7,:),es7(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(8,:),ey(8,:),es8(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(9,:),ey(9,:),es9(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(10,:),ey(10,:),es10(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(11,:),ey(11,:),es11(:,3),plotpar,sfac);
pltscalb2(sfac,[10e7 30 -50]);
title('Moment')

```

```
%Tar ut maximalt moment över fält
```

```

Mmaxfalt=max(max([es1(:,3) es2(:,3) es3(:,3) es4(:,3) es5(:,3) es6(:,3) es7(:,3) es8(:,3)
3) es9(:,3) es10(:,3) es11(:,3)]));

```

```
%Tar ut maximalt moment över stöd
```

```

Mmaxstod=min(min([es1(:,3) es2(:,3) es3(:,3) es4(:,3) es5(:,3) es6(:,3) es7(:,3) es8(:,3)
3) es9(:,3) es10(:,3) es11(:,3)]));

```

```
%Tar ut maximal tvärkraft
```

```

Tmax=max(max(abs([es1(:,2) es2(:,2) es3(:,2) es4(:,2) es5(:,2) es6(:,2) es7(:,2) es8(:,2)
2) es9(:,2) es10(:,2) es11(:,2)])));
fprintf('Maximalt fältmoment: %f Nm\n', Mmaxfalt)
fprintf('Maximalt stödmoment: %f Nm\n', Mmaxstod)
fprintf('Maximal nedböjning: %f m\n', wmax)
fprintf('Maximal tvärkraft: %f Nm\n', Tmax)

```

```
% Tar ut tvärkrafter invid stöd, 2.421 m från stöd
```

```

es1(147,2);
es2(1000-147,2);
es3(48,2);
es3(1000-48,2);
es4(95,2);

```

```
es5(1000-95,2);  
es6(48,2);  
es6(1000-48,2);  
es7(95,2);  
es8(1000-95,2);  
es9(48,2);  
es9(1000-48,2);  
es10(147,2);  
es11(1000-147,2);
```

```
% Beräknar avstånd från respektive stöd till där tvärkraften är mindre än  
% tvärkraftsarmeringens minsta bärförmåga
```

```
VRdmin=4*1.502*10^6;  
[V1 x1]=min(abs(-es1(:,2)-VRdmin));  
[V2 x2]=min(abs(es2(:,2)-VRdmin));  
[V3 x3]=min(abs(-es3(:,2)-VRdmin));  
[V4 x4]=min(abs(es3(:,2)-VRdmin));  
[V5 x5]=min(abs(-es4(:,2)-VRdmin));  
[V6 x6]=min(abs(es5(:,2)-VRdmin));  
[V7 x7]=min(abs(-es6(:,2)-VRdmin));  
[V8 x8]=min(abs(es6(:,2)-VRdmin));  
[V9 x9]=min(abs(-es7(:,2)-VRdmin));  
[V10 x10]=min(abs(es8(:,2)-VRdmin));  
[V11 x11]=min(abs(-es9(:,2)-VRdmin));  
[V12 x12]=min(abs(es9(:,2)-VRdmin));  
[V13 x13]=min(abs(-es10(:,2)-VRdmin));  
[V14 x14]=min(abs(es11(:,2)-VRdmin));
```

```
%Skriver ut placeringen
```

```
x1  
x2  
x3  
x4  
x5  
x6  
x7  
x8  
x9  
x10  
x11  
x12  
x13  
x14
```

```
clear all
close all
clc
echo off
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      Beräkning av moment och tvärkraft för broplatta i längsled
%      Endast egentygnd
%
%-----

%Indata
g=603.225*10^3; %Egentygnd [N/m]
E=35*10^9/1.2; %[Pa] Endast betongen
A=22.1; %[m^2]
I=13.108; %[m^4] Tvärsnittet
L1=33; %[m]
L2=50.8; %[m]
%Skapar elementmatriser
K=zeros(24);
f=zeros(24,1);

%Skapar koordinatvektorer, tvärsnittsvektor, lastvektor och topologimatrix
Edof=[1 1 2 3 4 5 6;
      2 4 5 6 7 8 9;
      3 7 8 9 10 11 12;
      4 10 11 12 13 14 15;
      5 13 14 15 16 17 18;
      6 16 17 18 19 20 21;
      7 19 20 21 22 23 24];
ex=zeros(7,2);
ey=zeros(7,2);
ex(1,:)= [0 L1];
ex(2,:)= [L1 L1+L2];
ex(3,:)= [L1+L2 L1+L2*2];
ex(4,:)= [L1+L2*2 L1+L2*3];
ex(5,:)= [L1+L2*3 L1+L2*4];
ex(6,:)= [L1+L2*4 L1+L2*5];
ex(7,:)= [L1+L2*5 L1*2+L2*5];
ep=[E A I];
eq=[0 -g];

%Skapar styvhetsmatriser och assemblerar i global matrix
for i=1:7
    [Ke,fe]=beam2e(ex(i,:),ey(i,:),ep,eq);
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);
end

%Upplagsvillkor
bc=[1 0; 2 0; 5 0; 8 0; 11 0; 14 0; 17 0; 20 0; 23 0];

%Löser ekvationssystemet
[a,r]=solveq(K,f,bc);

%Tar ut reaktionskrafter vid stöd
fprintf('Reaktionskraft i stöd A är: %1.1f \n',r(2))
```



```
fprintf('Reaktionskraft i stöd B är: %1.1f \n',r(5))
fprintf('Reaktionskraft i stöd C är: %1.1f \n',r(8))
fprintf('Reaktionskraft i stöd D är: %1.1f \n',r(11))
fprintf('Reaktionskraft i stöd E är: %1.1f \n',r(14))
fprintf('Reaktionskraft i stöd F är: %1.1f \n',r(17))
fprintf('Reaktionskraft i stöd G är: %1.1f \n',r(20))
fprintf('Reaktionskraft i stöd H är: %1.1f \n',r(23))
```

```
Ed=extract(Edof,a);
es1=beam2s(ex(1,:),ey(1,:),ep, Ed(1,:),eq,1000);
es2=beam2s(ex(2,:),ey(2,:),ep, Ed(2,:),eq,1000);
es3=beam2s(ex(3,:),ey(3,:),ep, Ed(3,:),eq,1000);
es4=beam2s(ex(4,:),ey(4,:),ep, Ed(4,:),eq,1000);
es5=beam2s(ex(5,:),ey(5,:),ep, Ed(5,:),eq,1000);
es6=beam2s(ex(6,:),ey(6,:),ep, Ed(6,:),eq,1000);
es7=beam2s(ex(7,:),ey(7,:),ep, Ed(7,:),eq,1000);
```

```
%Plot av tvärkraftsdiagram
```

```
figure(1)
plotpar=[2,1];
sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,2),0.9);
eldia2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(2,:),ey(2,:),es2(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(3,:),ey(3,:),es3(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(4,:),ey(4,:),es4(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(5,:),ey(5,:),es5(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(6,:),ey(6,:),es6(:,2),plotpar,sfac);
eldia2(ex(7,:),ey(7,:),es7(:,2),plotpar,sfac);
pltscalb2(sfac,[2e7 30 -50]);
title('Tvärkraft')
```

```
%Plot av momentdiagram
```

```
figure(2)
plotpar=[2 1];
sfac=scalfact2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,3),0.9);
eldia2(ex(1,:),ey(1,:),es1(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(2,:),ey(2,:),es2(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(3,:),ey(3,:),es3(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(4,:),ey(4,:),es4(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(5,:),ey(5,:),es5(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(6,:),ey(6,:),es6(:,3),plotpar,sfac);
eldia2(ex(7,:),ey(7,:),es7(:,3),plotpar,sfac);
pltscalb2(sfac,[10e7 30 -50]);
title('Moment')
```

```
%Tar ut maximalt moment över fält
```

```
Mmaxfalt=max(max([es1(:,3) es2(:,3) es3(:,3) es4(:,3) es5(:,3) es6(:,3) es7(:,3)])));
```

```
%Tar ut maximalt moment över stöd
```

```
Mmaxstod=min(min([es1(:,3) es2(:,3) es3(:,3) es4(:,3) es5(:,3) es6(:,3) es7(:,3)])));
```

```
%Tar ut maximal tvärkraft
```

```
Tmax=max(max(abs([es1(:,2) es2(:,2) es3(:,2) es4(:,2) es5(:,2) es6(:,2) es7(:,2)])));
fprintf('Maximalt fältmoment: %f Nm\n', Mmaxfalt)
fprintf('Maximalt stödmoment: %f Nm\n', Mmaxstod)
```

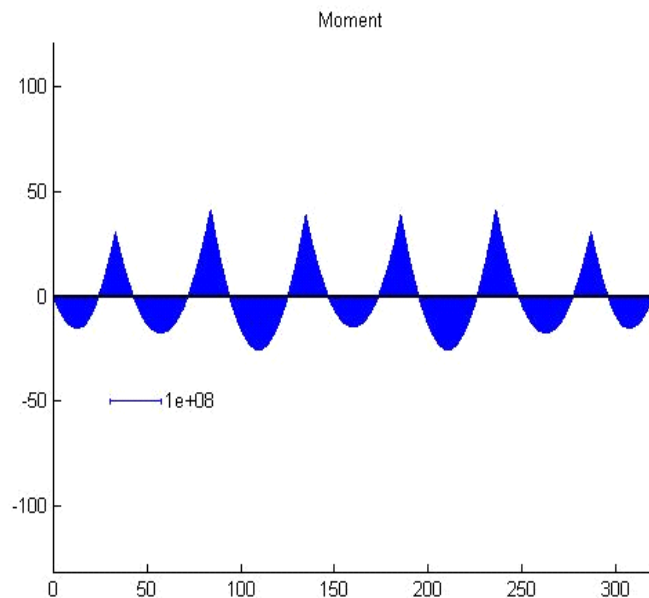
```
fprintf('Maximal tvärkraft: %f Nm\n', Tmax)

% Tar ut tvärkrafter invid stöd, 2.421 m från stöd
es1(73,2);
es1(1000-73,2);
es2(48,2);
es2(1000-48,2);
es3(48,2);
es3(1000-48,2);
es4(48,2);
es4(1000-48,2);
es5(48,2);
es5(1000-48,2);
es6(48,2);
es6(1000-48,2);
es7(73,2);
es7(1000-73,2);

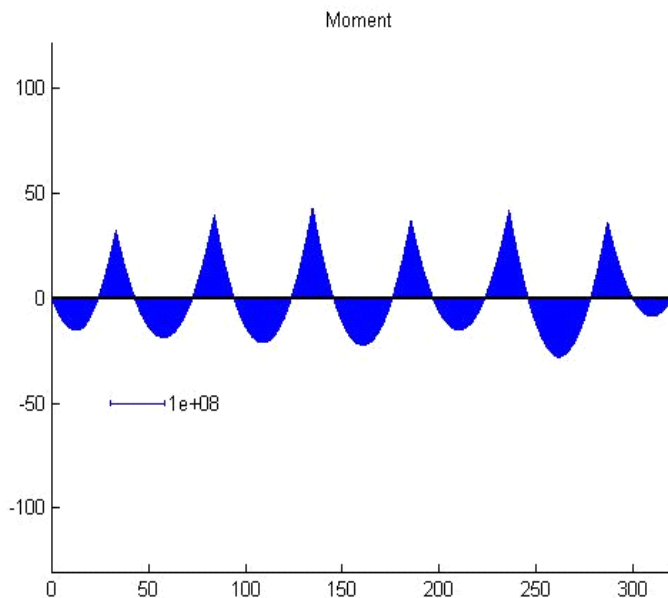
% Beräknar avstånd från respektive stöd till där tvärkraften är mindre än
% tvärkraftsarmeringens minsta bärförmåga
VRdmin=4*1.502*10^6;
[V1 x1]=min(abs(-es1(:,2)-VRdmin));
[V2 x2]=min(abs(es1(:,2)-VRdmin));
[V3 x3]=min(abs(-es2(:,2)-VRdmin));
[V4 x4]=min(abs(es2(:,2)-VRdmin));
[V5 x5]=min(abs(-es3(:,2)-VRdmin));
[V6 x6]=min(abs(es3(:,2)-VRdmin));
[V7 x7]=min(abs(-es4(:,2)-VRdmin));
[V8 x8]=min(abs(es4(:,2)-VRdmin));
[V9 x9]=min(abs(-es5(:,2)-VRdmin));
[V10 x10]=min(abs(es5(:,2)-VRdmin));
[V11 x11]=min(abs(-es6(:,2)-VRdmin));
[V12 x12]=min(abs(es6(:,2)-VRdmin));
[V13 x13]=min(abs(-es7(:,2)-VRdmin));
[V14 x14]=min(abs(es7(:,2)-VRdmin));

%Skriver ut placeringen
x1
x2
x3
x4
x5
x6
x7
x8
x9
x10
x11
x12
x13
x14
```

B.4.8 - Dimensionerande moment och tvärkraft



Momentdiagram för lastfall 1



Momentdiagram för lastfall 2

Moment

$M_{\text{stodbruk}} := -135.087 \text{ MN} \cdot \text{m}$

Maxmoment stöd, bruksgräns

Bilaga B.4 - Längsled

$$M_{\text{stodbrott}} := -154.715 \text{ MN}\cdot\text{m}$$

Maxmoment stöd, brottgräns

$$M_{\text{fältbruk}} := 72.369 \text{ MN}\cdot\text{m}$$

Maxmoment fält, bruksgräns

$$M_{\text{fältbrott}} := 100.437 \text{ MN}\cdot\text{m}$$

Maxmoment fält, brottgräns

Tvärkraft

Beräkning av lasteffekt i ett område x intill upplagen. Lasteffekten reduceras ej, detta kan anses som beräkningar på säker sida. Väljer största tvärkraften av alla 3 lastfall.

$$z := 0.9 \cdot d_{\text{liv}} = 2.405 \text{ m}$$

$$x_{\text{upplag}} := z = 2.405 \text{ m}$$

	Lastfall Bruk	Lastfall 1	Lastfall 2	Max
Stöd A				
Höger	-5200000,00	-7014000,00	-6919000,00	7014000,00
Stöd B				
Vänster	11810000,00	13810000,00	13910000,00	13910000,00
Höger	-13370000,00	-13110000,00	-13370000,00	13370000,00
Stöd C				
Vänster	14360000,00	14630000,00	14360000,00	14630000,00
Höger	-14010000,00	-16780000,00	-15650000,00	16780000,00
Stöd D				
Vänster	13720000,00	16370000,00	16140000,00	16370000,00
Höger	-13880000,00	-13880000,00	-16340000,00	16340000,00
Stöd E				
Vänster	13850000,00	13850000,00	15450000,00	15450000,00
Höger	-13750000,00	-16390000,00	-13550000,00	16390000,00
Stöd F				
Vänster	13980000,00	16760000,00	14180000,00	16760000,00
Höger	-14390000,00	-14660000,00	-16970000,00	16970000,00
Stöd G				
Vänster	13340000,00	13070000,00	16190000,00	16190000,00
Höger	-11830000,00	-13820000,00	-12460000,00	13820000,00
Stöd H				
Vänster	5180000,00	7003000,00	4558000,00	7003000,00

Tabell över max tvärkraft för alla tre lastfallen. Fås från matlab-filer.

Tvärkrafter som jämförs med kapacitet kring en punkt Xupplag kring stöden.

Bilaga B.4 - Längsled

$$V_{EDA.höger} := \frac{-7.014}{4} MN = -1.754 \cdot MN$$

$$V_{EDB.vänster} := \frac{13.91}{4} MN = 3.478 \cdot MN$$

$$V_{EDB.höger} := \frac{-13.37}{4} MN = -3.342 \cdot MN$$

$$V_{EDC.vänster} := \frac{14.63}{4} MN = 3.658 \cdot MN$$

$$V_{EDC.höger} := \frac{-16.78}{4} MN = -4.195 \cdot MN$$

$$V_{EDD.vänster} := \frac{16.37}{4} MN = 4.093 \cdot MN$$

$$V_{EDD.höger} := \frac{-16.34}{4} MN = -4.085 \cdot MN$$

$$V_{EDE.vänster} := \frac{15.45}{4} MN = 3.862 \cdot MN$$

$$V_{EDE.höger} := \frac{-16.39}{4} MN = -4.098 \cdot MN$$

$$V_{EDF.vänster} := \frac{16.76}{4} MN = 4.19 \cdot MN$$

$$V_{EDF.höger} := \frac{-16.97}{4} MN = -4.242 \cdot MN$$

$$V_{EDG.vänster} := \frac{16.19}{4} MN = 4.048 \cdot MN$$

$$V_{EDG.höger} := \frac{-13.82}{4} MN = -3.455 \cdot MN$$

$$V_{EDH.vänster} := \frac{7.003}{4} MN = 1.751 \cdot MN$$

Maximal dimensionerande tvärkraft per liv i längsled:

$$V_{ED.dim} := \frac{18.625}{4} MN = 4.656 \cdot MN$$

B.4.9 - Brottgränstillstånd

B.4.9.1 - Dimensionering av spännarmering

Reducering av stödmoment mht tvångsmoment, uppskattar tvångsmomentet till halva stödmomentet i bruksstadiet.

$$M_{\text{stödbrukspänn}} := M_{\text{stodbruk}} - \frac{M_{\text{stodbruk}}}{2} = -67.543 \cdot MN \cdot m \quad \text{Moment stöd, bruksgräns}$$

$$M_{\text{stödbrottspänn}} := M_{\text{stodbrott}} - \frac{M_{\text{stodbruk}}}{2} = -87.171 \cdot MN \cdot m \quad \text{Moment stöd, brottgräns}$$

Beräknar nytt fältmoment mht nya stödmomentet

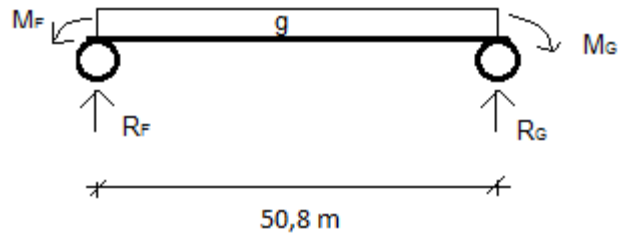
$$g := 603.225 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$p := 88.35 \cdot \frac{kN}{m}$$

Bilaga B.4 - Längsled

$$P := 1.35 \text{ MN}$$

$$l := 50.8 \text{ m}$$



Beräkningsmodell fältmoment bruksgräns

$$M_F := |M_{\text{stödbrukspänn}}| = 67.543 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

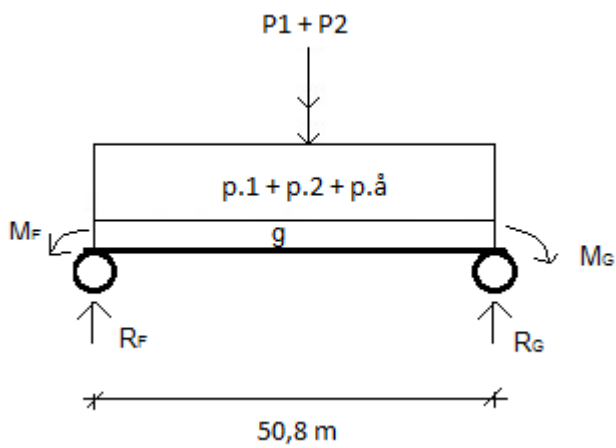
$$M_G := 109 \text{ MN} \cdot \text{m} - \left| \frac{M_{\text{stodbruk}}}{2} \right| = 41.456 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$R_F := g \cdot \frac{l}{2} + \frac{M_F}{l} - \frac{M_G}{l} = 15.835 \cdot \text{MN}$$

$$x_0 := \frac{R_F}{g} = 26.251 \text{ m}$$

$$M_{\text{fältbrukspänn}} := g \cdot \frac{x_0^2}{2} - M_F = 140.307 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Moment fält, bruksgräns



Beräkningsmodell fältmoment brottgräns

Bilaga B.4 - Längsled

$$M_F := |M_{\text{stödbrottspänn}}| = 87.171 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_G := 130 \text{ MN} \cdot \text{m} - \left| \frac{M_{\text{stodbruk}}}{2} \right| = 62.456 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$R_G := (g + p) \cdot \frac{1}{2} + \frac{P}{2} + \frac{M_G}{1} - \frac{M_F}{1} = 17.754 \cdot \text{MN}$$

$$x_0 := \frac{R_G}{(g + p)} = 25.673 \text{ m}$$

$$M_{\text{fältbrottspänn}} := (g + p) \cdot \frac{x_0^2}{2} - M_G = 165.445 \cdot \text{MN} \cdot \text{m} \quad \text{Moment fält, brottgräns}$$

Beräknar antalet rör i höjdlled, iteration

$$x := 0.85 \cdot a = 0.264 \text{ m} \quad \text{Avstånd mellan rör i höjdlled mht förankringsplatta}$$

$$x_{\text{prim}} := 0.5 \cdot x + 10 \text{ mm} = 0.142 \text{ m} \quad \text{Avstånd mellan rör och kant i höjdlled mht förankringsplatta}$$

$$x_{\text{prim}} > c_{\text{kant}}$$

$$\text{Kantavstånd} = x_{\text{prim}}$$

$$x > c_{\text{avst}}$$

$$\text{CC-avstånd rör} = x$$

$$n_{\text{höjd}} := 4 \quad \text{Antal spänningsrör i höjdlled, iteration}$$

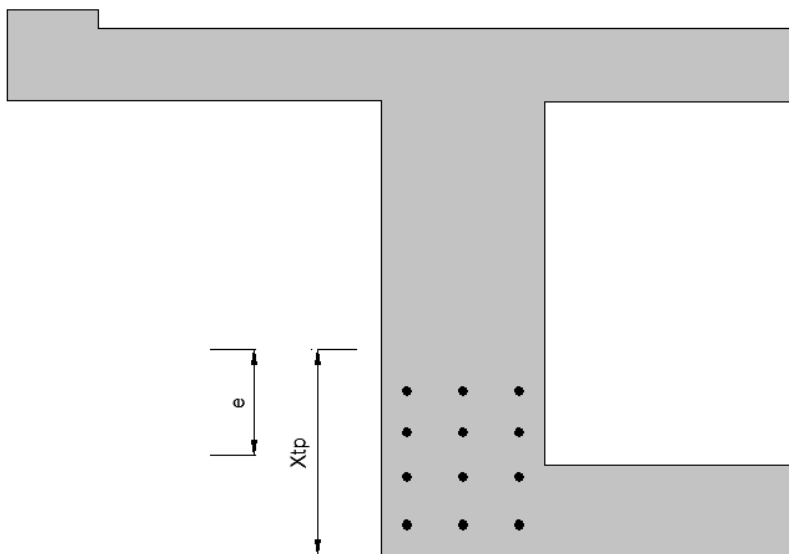
$$e_{\text{loop}} := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1 \dots n_{\text{höjd}} \\ e_s \leftarrow e_s + \frac{[x_{\text{prim}} + x \cdot (i - 1)]}{n_{\text{höjd}}} \\ e_s \end{array} \right| = 0.537 \text{ m}$$

$$x_{\text{tp}} := T_p = 1.134 \text{ m}$$

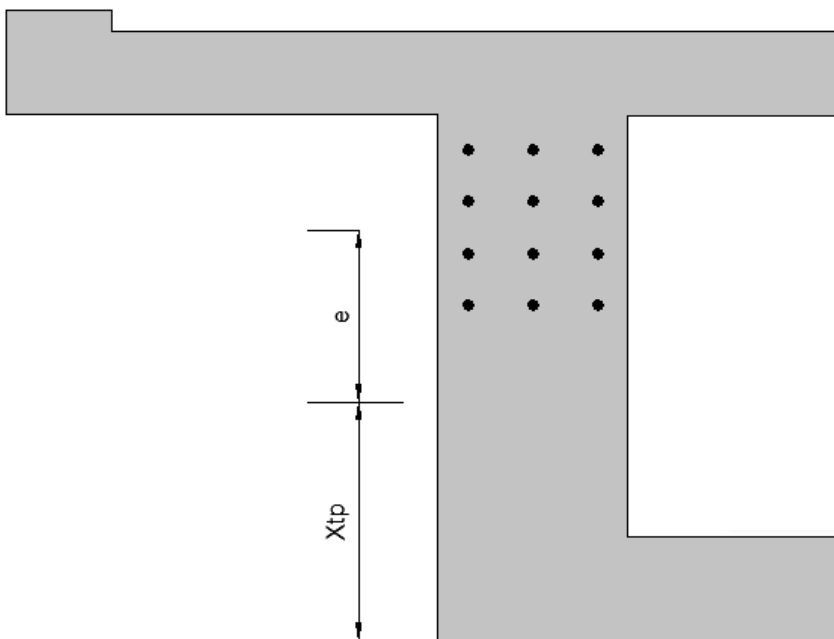
$$e_s := e_{\text{loop}} - (h_{\text{låda}} - x_{\text{tp}}) = -0.829 \text{ m} \quad \text{Excentricitet stöd}$$

$$e_f := x_{\text{tp}} - e_{\text{loop}} = 0.597 \text{ m} \quad \text{Excentricitet fält}$$

Bilaga B.4 - Längsled



Excentricitet, e_f , för spännkablar över stöd.



Excentricitet, e_s , för spännkablar i fält.

Beräkning mht stödmoment

$$z_{ök} := x_{tp} - (h_{låda} + t_{f1} + h_{kantb}) = -2.266 \text{ m}$$

$$z_{uk} := x_{tp} = 1.134 \text{ m}$$

Dragen ovkant vid kantbalkens ovansida:

Dragen underkant vid lådbotten:

Bilaga B.4 - Längsled

$$P_{\text{stodök}} := 5 \text{ MN}$$

Gissar tryckkraft

Dragen ovankant vid kantbalkens ovansida

$$P_{\text{stodök}} := \text{root} \left[\frac{\eta \cdot 0.9 \cdot P_{\text{stodök}}}{A_c} + \left(\frac{\eta \cdot 0.9 P_{\text{stodök}} \cdot e_s + M_{\text{stödbrottspänn}}}{I_c} \right) \cdot z_{\text{ök}} - f_{\text{ctfl}} \cdot P_{\text{stodök}} \right]$$

$$P_{\text{stodök}} = -105.442 \cdot \text{MN}$$

Nedre gräns tryckkraft mht sprickspänning

$$P_{\text{stoduk}} := 5 \text{ MN}$$

Gissar tryckkraft

Dragen underkant vid lådbotten

$$P_{\text{stoduk}} := \text{root} \left[\frac{1.1 P_{\text{stoduk}}}{A_c} + \left(\frac{1.1 P_{\text{stoduk}} \cdot e_s + M_{\text{stödbrukspänn}}}{I_c} \right) \cdot z_{\text{uk}} - f_{\text{ctfl}} \cdot 0.7 \cdot P_{\text{stoduk}} \right]$$

$$P_{\text{stoduk}} = -163.518 \cdot \text{MN}$$

Övre gräns tryckkraft mht sprickspänning

$$P_{\text{betstod}} := 1 \text{ MN}$$

Gissar tryckkraft

$$P_{\text{betstod}} := \text{root} \left[\frac{P_{\text{betstod}}}{A_c} + \left(\frac{P_{\text{betstod}} \cdot e_s + M_{\text{stödbrottspänn}}}{I_c} \right) \cdot z_{\text{uk}} - \sigma_c \cdot P_{\text{betstod}} \right]$$

$$P_{\text{betstod}} = -614.469 \cdot \text{MN}$$

Övre gräns mht tryckhållfasthet för betong

$$P_{\text{minstod}} := P_{\text{stodök}} = -105.442 \cdot \text{MN}$$

Dimensionerande nedre gräns tryckkraft

$$P_{\text{maxstod}} := \max(P_{\text{stoduk}}, P_{\text{betstod}}) = -163.518 \cdot \text{MN}$$

Dimensionerande övre gräns tryckkraft

Beräkning mht fältmoment

$$P_{\text{fältök}} := 5 \text{ MN}$$

Gissar tryckkraft

Dragen ovankant vid kantbalkens ovansida

$$P_{\text{fältök}} := \text{root} \left[\frac{1.1 P_{\text{fältök}}}{A_c} + \left[\frac{1.1 P_{\text{fältök}} \cdot e_f + (M_{\text{fältbrukspänn}})}{I_c} \right] \cdot z_{\text{ök}} - f_{\text{ctfl}} \cdot 0.7 \cdot P_{\text{fältök}} \right]$$

$$P_{\text{fältök}} = -327.3 \cdot \text{MN}$$

Övre gräns tryckkraft mht sprickspänning

$$P_{\text{fältuk}} := 5 \text{ MN}$$

Gissar tryckkraft

Dragen underkant vid lådbotten

Bilaga B.4 - Längsled

$$P_{fältuk} := \text{root} \left[\frac{\eta \cdot 0.9 \cdot P_{fältuk}}{A_c} + \left(\frac{\eta \cdot 0.9 P_{fältuk} \cdot e_f + M_{fältbrottspänn}}{I_c} \right) \cdot z_{uk} - f_{ctfl}, P_{fältuk} \right]$$

$$P_{fältuk} = -207.737 \cdot \text{MN} \quad \text{Nedre gräns tryckkraft mht sprickspänning}$$

$$P_{betfält} := 1 \text{ MN} \quad \text{Gissar tryckkraft}$$

$$P_{betfält} := \text{root} \left[\frac{P_{betfält}}{A_c} + \left(\frac{P_{betfält} \cdot e_f + M_{fältbrottspänn}}{I_c} \right) \cdot z_{ök} - \sigma_c, P_{betfält} \right]$$

$$P_{betfält} = -638.37 \cdot \text{MN} \quad \text{Övre gräns tryckkraft mht tryckhållfasthet för betong}$$

$$P_{minfält} := P_{fältuk} = -207.737 \cdot \text{MN} \quad \text{Dimensionerande nedre gräns tryckkraft}$$

$$P_{maxfält} := \max(P_{fältök}, P_{betfält}) = -327.3 \cdot \text{MN} \quad \text{Dimensionerande övre gräns tryckkraft}$$

Beräkning av antal rör

$$P_{min} := \min(|P_{minstod}|, |P_{minfält}|) = 105.442 \cdot \text{MN} \quad \text{Dimensionerande nedre gräns för tryckkraft över hela bron}$$

$$P_{max} := \min(|P_{maxstod}|, |P_{maxfält}|) = 163.518 \cdot \text{MN} \quad \text{Dimensionerande övre gräns för tryckkraft över hela bron}$$

$$f_{vajer} := \min(0.8 \cdot f_{puk}, 0.9 \cdot f_{p0.1k}) = 1.476 \times 10^3 \cdot \text{MPa} \quad \text{Högsta stålspänning i vajer}$$

$$A_{stål} := \frac{|P_{min}|}{f_{vajer}} = 0.071 \text{ m}^2 \quad \text{Erforderlig tvärsnittsarea spännstål}$$

$$n_{vajer} := \frac{A_{stål}}{A_{vajer}} = 369.011 \quad \text{Erforderligt antal vajrar}$$

$$n_{rör} := \frac{n_{vajer}}{13} = 28.385 \quad \text{Erforderligt antal rör}$$

Val av antal och kontroll spänning i spännkablar

$$n_{tot} := n_{bredd} \cdot n_{höjd} \cdot 4 = 48 \quad \text{Totalt antal rör för alla 4 liv}$$

$$\sigma_{vajer} := 1350 \text{ MPa} \quad \text{Väljer stålspänning. Måste vara mindre än } f_{vajer}.$$

$$A_{tot} := n_{tot} \cdot 13 \cdot A_{vajer} = 0.121 \text{ m}^2 \quad \text{Total tvärsnittsarea}$$

$$P_{spänn} := \sigma_{vajer} \cdot A_{tot} = 163.083 \cdot \text{MN} \quad \text{Total tryckkraft}$$

Bilaga B.4 - Längsled

$$P_{\text{spänn}} > P_{\text{min}} \quad \text{OK!} \quad \text{Kontroll tryckkraft}$$

$$P_{\text{spänn}} < P_{\text{max}} \quad \text{OK!}$$

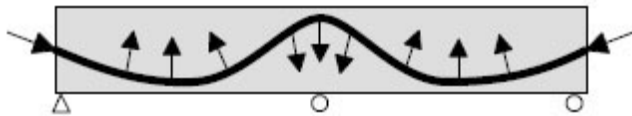
Kontroll av preliminär momentkapacitet

$$z := 0.8 \cdot (x_{\text{tp}} - e_s) = 1.57 \text{ m}$$

$$\sigma_d := \frac{f_{\text{vajer}}}{\gamma_s} = 1.283 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$M_{\text{Rd}} := z \cdot \sigma_d \cdot A_{\text{tot}} = 243.485 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Rd}} > M_{\text{stödbrottspänn}} \quad \text{OK!}$$



Principiell dragning av spännarmering.

B.4.9.2 - Inläggning av dragarmering

Lådliv

$$A_{\text{stotliv}} := n_{\text{radliv}} \cdot 2A_s = 6.283 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{Total armeringsarea. Väljer två rader i livet.}$$

$$A_{\text{stotliv}} > A_{\text{sminliv}} \quad \text{OK}$$

$$A_{\text{smaxliv}} := 0.04 \cdot t_w \cdot h_{\text{låda}} = 0.09 \text{ m}^2 \quad \text{Maximal mängd armering}$$

$$A_{\text{stotliv}} < A_{\text{smaxliv}} \quad \text{OK}$$

Lådbotten

$$A_{\text{stotbotten}} := n_{\text{radbotten}} \cdot 2 \cdot A_s = 0.025 \text{ m}^2 \quad \text{Total armeringsarea. Väljer två rader.}$$

$$A_{\text{stotbotten}} > A_{\text{sminbotten}} \quad \text{OK} \quad \text{Kontroll minimiarmering}$$

$$A_{\text{smaxbotten}} := 0.04 \cdot t_{f2} \cdot b_{\text{tbotten}} = 0.082 \text{ m}^2 \quad \text{Maximal mängd armering}$$

$$A_{\text{stotbotten}} < A_{\text{smaxbotten}} \quad \text{OK} \quad \text{Kontroll maxarmering}$$

$$cc := \frac{b_{\text{tbotten}}}{n_{\text{radbotten}}} = 0.103 \text{ m}$$

$$cc > cc_{\text{min}} \quad \text{OK} \quad \text{Kontroll CC-avstånd}$$

Bilaga B.4 - Längsled

Broplatta

$$A_{\text{stotplatta}} := n_{\text{radplatta}} \cdot 2 \cdot A_s = 0.094 \text{ m}^2$$

Total armeringsarea. Väljer två rader.

$$A_{\text{stotplatta}} > A_{\text{sminplatta}} \quad \text{OK}$$

Kontroll minimiarmering

$$A_{\text{smaxplatta}} := 0.04 \cdot t_{f1} \cdot b_{\text{tplatta}} = 0.304 \text{ m}^2$$

Maximal mängd armering

$$A_{\text{stotplatta}} < A_{\text{smaxplatta}} \quad \text{OK}$$

Kontroll maxarmering

$$\overset{\text{cc}}{\text{cc}} := \frac{b_{\text{tplatta}}}{n_{\text{radplatta}}} = 0.127 \text{ m}$$

$$\text{cc} > \text{cc}_{\text{min}} \quad \text{OK}$$

Kontroll cc-avstånd

Kantbalk

$$A_{\text{stot}} := n_{\text{radkantb}} \cdot 2 \cdot A_s = 6.283 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Total armeringsarea

$$A_{\text{stotkantb}} > A_{\text{sminkantb}} \quad \text{OK}$$

Kontroll minimiarmering

$$A_{\text{smax}} := 0.04 \cdot t_{f1} \cdot b_{\text{tkantb}} = 8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Maximal mängd armering

$$A_{\text{stotkantb}} < A_{\text{smaxkantb}} \quad \text{OK}$$

Kontroll maxarmering

$$\overset{\text{cc}}{\text{cc}} := \frac{b_{\text{tkantb}}}{n_{\text{radkantb}}} = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{cc} > \text{cc}_{\text{min}} \quad \text{OK}$$

Kontroll cc-avstånd

B.4.9.3 - Skarvning av armering, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 8.7

$$\eta_1 := 0.7$$

$$\eta_2 := 1$$

$$f_{\text{bd}} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{\text{ctd}} = 2.625 \cdot \text{MPa}$$

Vidhäftningshållfasthet **ekv [8.2] i EC 2**

$$l_{\text{brqd}} := f_{\text{yd}} \cdot \frac{\phi}{f_{\text{bd}} \cdot 4} = 0.828 \text{ m}$$

Erforderlig grundförankringslängd **ekv [8.3] i EC 2**

$$\alpha_1 := 1$$

$$c_d := \min\left(\frac{\text{cc}_{\text{min}}}{2}, 0.07\text{m}, 0.07\text{m}\right) = 0.035 \text{ m}$$

$$\alpha_2 := 1 - 0.15 \cdot \frac{(c_d - 3 \cdot \phi)}{\phi} = 1.188$$

Värden på α_1 - α_2 hittas i Tabell 8.2 i EC 2

$$\alpha_2 < 1$$

$$\alpha_2 := 1$$

$$\alpha_3 := 1$$

$$\alpha_4 := 0.7$$

$$\alpha_5 := 1$$

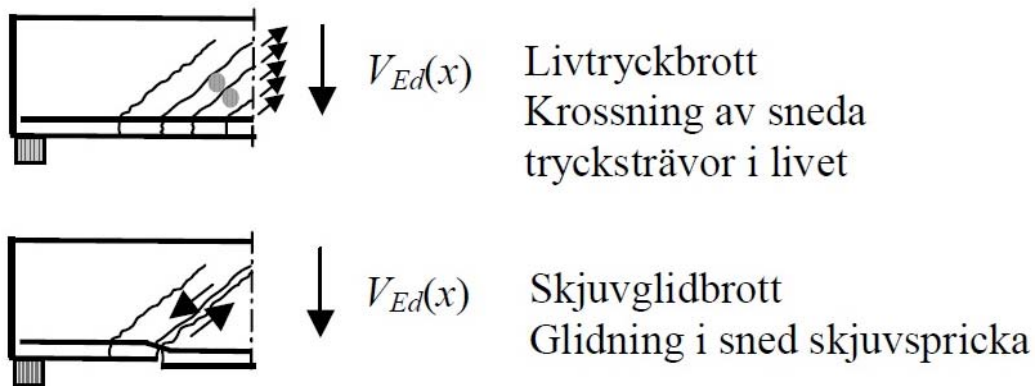
$$\alpha_6 := \left(\frac{1}{0.25} \right)^{0.5} = 2$$

$$l_0 := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{brqd} = 1.159 \text{ m}$$

Minsta skarvningslängd **ekv [8.10] i EC 2**

Eftersom armeringsstängernas längd ej får överstiga 24 meter måste skarvning ske vid ungefär dessa längder. Skarvningen bör ske omlott för att underlätta vid montering.

B.4.9.4 - Tvärkraftsarmering, SS-EN 1992-1-1:2005, kap 6.2



Karin Lundgren föreläsning 26 november 2013 Bärande konstruktioner - Tvärkraftsarmering

Kontroll med avseende på livtryckbrott utan tvärkraftsarmering

Antar att all tvärkraft tas upp i lådliv

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) = 0.504$$

ekv [6.6N] i EC 2

$$V_{rc} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t_w \cdot d_{liv} = 16.165 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.5] i EC 2

Bilaga B.4 - Längsled

$$\text{Kontroll}_{\text{liv}} := \begin{cases} \text{"Livtryckbrott okej"} & \text{if } V_{\text{ED.dim}} < V_{\text{rc}} \\ \text{"Livtryckbrott ej okej"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Kontroll}_{\text{liv}} = \text{"Livtryckbrott okej"}$$

Kontroll med avseende på skjuvglibdbrott utan tvärkraftsarmering

$$C_{\text{rd.c}} := \frac{0.18 \text{ MPa}}{\gamma_c} = 0.12 \cdot \text{MPa} \quad \text{kap. 6.2.2 i EC 2}$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d_{\text{liv}}}} = 1.274 \quad \text{kap. 6.2.2 i EC 2}$$

$$A_{\text{sl}} := A_{\text{stotliv}} = 6.283 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\rho_1 := \frac{A_{\text{sl}}}{t_w \cdot d_{\text{liv}}} = 2.612 \times 10^{-3} \quad \text{kap. 6.2.2 i EC 2}$$

$$V_{\text{rd.c1}} := C_{\text{rd.c}} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{\text{ck}}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot t_w \cdot d_{\text{liv}} = 803.666 \cdot \text{kN} \quad \text{ekv [6.2a] i EC 2}$$

$$V_{\text{rd.c2}} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{\text{ck}}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot t_w \cdot d_{\text{liv}} \cdot \text{MPa} = 765.278 \cdot \text{kN} \quad \text{ekv [6.2b] i EC 2}$$

$$V_{\text{rd.c}} := \max(V_{\text{rd.c1}}, V_{\text{rd.c2}}) = 803.666 \cdot \text{kN}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärarmering behövs till höger om A"} & \text{if } |V_{\text{EDA.höger}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärarmering behövs inte till höger om A"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärarmering behövs till höger om A"}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärarmering behövs till vänster om B"} & \text{if } |V_{\text{EDB.vänster}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärarmering behövs inte till vänster om B"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärarmering behövs till vänster om B"}$$

Bilaga B.4 - Längsled

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärrarmering behövs till höger om B"} & \text{if } |V_{\text{EDB.höger}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärrarmering behövs inte till höger om B"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärrarmering behövs till höger om B"}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärrarmering behövs till vänster om C"} & \text{if } |V_{\text{EDC.vänster}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärrarmering behövs inte till vänster om C"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärrarmering behövs till vänster om C"}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärrarmering behövs till höger om C"} & \text{if } |V_{\text{EDC.höger}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärrarmering behövs inte till höger om C"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärrarmering behövs till höger om C"}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärrarmering behövs till vänster om D"} & \text{if } |V_{\text{EDD.vänster}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärrarmering behövs inte till vänster om D"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärrarmering behövs till vänster om D"}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärrarmering behövs till höger om D"} & \text{if } |V_{\text{EDD.höger}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärrarmering behövs inte till höger om D"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärrarmering behövs till höger om D"}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärrarmering behövs till vänster om E"} & \text{if } |V_{\text{EDE.vänster}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärrarmering behövs inte till vänster om E"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärrarmering behövs till vänster om E"}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärrarmering behövs till höger om E"} & \text{if } |V_{\text{EDE.höger}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärrarmering behövs inte till höger om E"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärrarmering behövs till höger om E"}$

Bilaga B.4 - Längsled

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärarmering behövs till vänster om F"} & \text{if } |V_{\text{EDF.vänster}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärarmering behövs inte till vänster om F"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärarmering behövs till vänster om F"}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärarmering behövs till höger om F"} & \text{if } |V_{\text{EDF.höger}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärarmering behövs inte till höger om F"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärarmering behövs till höger om F"}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärarmering behövs till vänster om G"} & \text{if } |(V_{\text{EDG.vänster}})| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärarmering behövs inte till vänster om G"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärarmering behövs till vänster om G"}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärarmering behövs till höger om G"} & \text{if } |V_{\text{EDG.höger}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärarmering behövs inte till höger om G"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

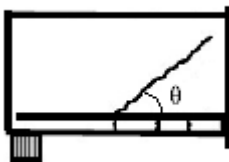
$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärarmering behövs till höger om G"}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} := \begin{cases} \text{"Tvärarmering behövs till vänster om H"} & \text{if } |V_{\text{EDH.vänster}}| > V_{\text{rd.c}} \\ \text{"Tvärarmering behövs inte till vänster om H"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll}_{\text{skjuv}} = \text{"Tvärarmering behövs till vänster om H"}$$

Detta innebär att kontroller för skjuvglibrott är ej okej, och att tvärarmering behövs. Tvärarmeringen dimensioneras så att den klarar tvärkraften över stöd och fram till där minimiarmering kan läggas in mellan stöden.

Kontroll livtryckbrott med tvärarmering



$$\theta := 35\text{deg}$$

Sprickans lutning väljs till 35 grader

Bilaga B.4 - Längsled

$$\alpha_{cw} := 1$$

$$V_{rd,max} := \alpha_{cw} \cdot t_w \cdot 0.9 \cdot d_{liv} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 13.671 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.9] i EC 2

$$\text{kontroll}_{liv} := \begin{cases} \text{"Livtryckbrott okej"} & \text{if } V_{ED,dim} < V_{rd,max} \\ \text{"Livtryckbrott ej okej"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll}_{liv} = \text{"Livtryckbrott okej"}$$

Maxavstånd avstånd byglar

$$\alpha_{bygel} := 90\text{deg}$$

$$s_{l,max} := 0.75 \cdot d_{liv} \cdot (1 + \cot(\alpha_{bygel})) = 2.005 \text{ m}$$

$$\rho_{wmin} := 0.08 \cdot \frac{\left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}\right)^{0.5}}{\frac{f_{yk}}{\text{MPa}}} = 1.012 \times 10^{-3}$$

$$s_{max} := \frac{A_{sw}}{(t_w \cdot \rho_{wmin})} = 0.993 \text{ m}$$

$$\text{Väljer: } s_{max} := 0.9 \text{ m}$$

(Se bilaga B.4.9.5 för inläggning av maxavstånd)

Draghållfasthet för minimiarmering

$$V_{RDmin} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{s_{max}} = 0.98 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till höger om stöd A.

$$z := 0.9 \cdot d_{liv} = 2.405 \text{ m}$$

$$s_{högerA} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{|V_{EDA,höger}|} = 0.771 \text{ m}$$

$$s_{högerA} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{högerA} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.77 \text{ m}$$

$$V_{RDA,höger} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{s_{högerA}} = 1.755 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till vänster om stöd B.

$$s_{\text{vänsterB}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDB.vänster}}|} = 0.389 \text{ m}$$

$$s_{\text{vänsterB}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{vänsterB}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.38 \text{ m}$$

$$V_{\text{RDB.vänster}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{vänsterB}}} = 3.556 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till höger om stöd B.

$$s_{\text{högerB}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDB.höger}}|} = 0.404 \text{ m}$$

$$s_{\text{högerB}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{högerB}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.4 \text{ m}$$

$$V_{\text{RDB.höger}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{högerB}}} = 3.379 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till vänster om stöd C.

$$s_{\text{vänsterC}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDC.vänster}}|} = 0.369 \text{ m}$$

$$s_{\text{vänsterC}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{vänsterC}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.36 \text{ m}$$

$$V_{\text{RDC.vänster}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{vänsterC}}} = 3.754 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till höger om stöd C.

$$s_{\text{högerC}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDC.höger}}|} = 0.322 \text{ m}$$

Bilaga B.4 - Längsled

$$s_{\text{högerC}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{högerC}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.32 \text{ m}$$

$$V_{\text{RDC.höger}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{högerC}}} = 4.223 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till vänster om stöd D.

$$s_{\text{vänsterD}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDD.vänster}}|} = 0.33 \text{ m}$$

$$s_{\text{vänsterD}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{vänsterD}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.33 \text{ m}$$

$$V_{\text{RDD.vänster}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{vänsterD}}} = 4.095 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till höger om stöd D.

$$s_{\text{högerD}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDD.höger}}|} = 0.331 \text{ m}$$

$$s_{\text{högerD}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{högerD}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.33 \text{ m}$$

$$V_{\text{RDD.höger}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{högerD}}} = 4.095 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till vänster om stöd E.

$$s_{\text{vänsterE}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDE.vänster}}|} = 0.35 \text{ m}$$

$$s_{\text{vänsterE}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{vänsterE}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.34 \text{ m}$$

$$V_{RDE.vänster} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{s_{vänsterE}} = 3.975 \cdot MN$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till höger om stöd E.

$$s_{högerE} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{|V_{EDE.höger}|} = 0.33 \text{ m}$$

$$s_{högerE} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{högerE} \cdot \frac{1}{m}\right)}{100} \cdot m = 0.32 \text{ m}$$

$$V_{RDE.höger} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{s_{högerE}} = 4.223 \cdot MN$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till vänster om stöd F.

$$s_{vänsterF} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{|V_{EDF.vänster}|} = 0.323 \text{ m}$$

$$s_{vänsterF} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{vänsterF} \cdot \frac{1}{m}\right)}{100} \cdot m = 0.32 \text{ m}$$

$$V_{RDF.vänster} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{s_{vänsterF}} = 4.223 \cdot MN$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till höger om stöd F.

$$s_{högerF} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{|V_{EDF.höger}|} = 0.319 \text{ m}$$

$$s_{högerF} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{högerF} \cdot \frac{1}{m}\right)}{100} \cdot m = 0.31 \text{ m}$$

$$V_{RDF.höger} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \cdot \frac{A_{sw}}{s_{högerF}} = 4.359 \cdot MN$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till vänster om stöd G.

Bilaga B.4 - Längsled

$$s_{\text{vänsterG}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDG.vänster}}|} = 0.334 \text{ m}$$

$$s_{\text{vänsterG}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{vänsterG}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.33 \text{ m}$$

$$V_{\text{RDG.vänster}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{vänsterG}}} = 4.095 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till höger om stöd G.

$$s_{\text{högerG}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDG.höger}}|} = 0.391 \text{ m}$$

$$s_{\text{högerG}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{högerG}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.39 \text{ m}$$

$$V_{\text{RDG.höger}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{högerG}}} = 3.465 \cdot \text{MN}$$

ekv [6.8] i EC 2

Centrumavstånd för byglar till vänster om stöd H.

$$s_{\text{vänsterH}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{|V_{\text{EDH.vänster}}|} = 0.772 \text{ m}$$

$$s_{\text{vänsterH}} := \frac{\text{floor}\left(100 \cdot s_{\text{vänsterH}} \cdot \frac{1}{\text{m}}\right)}{100} \cdot \text{m} = 0.77 \text{ m}$$

$$V_{\text{RDH.vänster}} := z \cdot \cot(\theta) \cdot f_{\text{ywd}} \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{s_{\text{vänsterH}}} = 1.755 \cdot \text{MN}$$

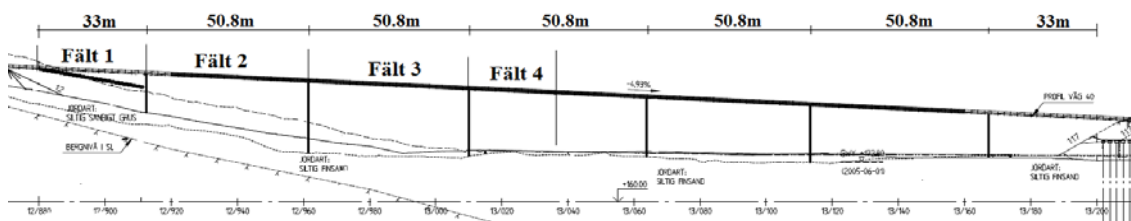
ekv [6.8] i EC 2

Indelning av s-avstånd

Bilaga B.4 - Längsled

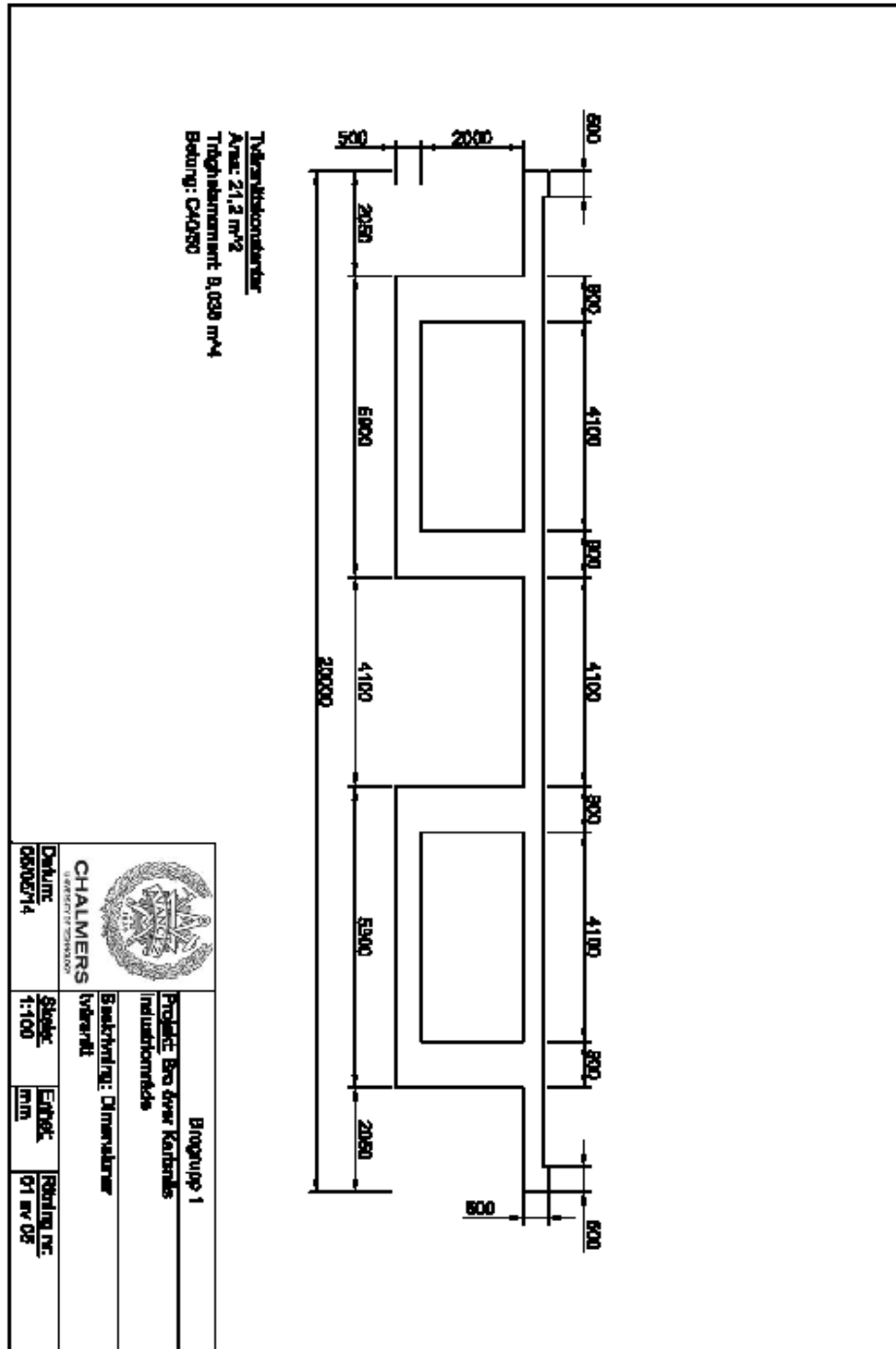
Minimiarmering	Lastfall Bruk - steg	Lastfall Bruk - x	Lastfall 1 - steg	Lastfall 1 - x	Lastfall 2 - steg	Lastfall 2 - x	Dimensionerande x	$x \pm z \cdot \cot(\text{teta})$
Stöd A								
Höger	33,00	1,089	235	3,8775	227	3,7455	3,88	0,42
Stöd B								
Vänster	636,00	20,988	170	19,305	162	19,173	19,17	22,63
Höger	288,00	14,6304	279	14,1732	288	14,6304	14,63	11,17
Stöd C								
Vänster	680,00	34,544	671	34,0868	680	34,544	34,09	37,54
Höger	309,00	15,6972	708	17,9832	322	16,3576	17,98	14,53
Stöd D								
Vänster	700,00	35,56	315	33,401	664	33,7312	33,40	36,86
Höger	305,00	15,494	305	15,494	342	17,3736	17,37	13,92
Stöd E								
Vänster	696,00	35,3568	696	35,3568	684	34,7472	34,75	38,20
Höger	301,00	15,2908	686	17,4244	294	14,9352	17,42	13,97
Stöd F								
Vänster	692,00	35,1536	293	32,8422	686	34,8488	32,84	36,30
Höger	321,00	16,3068	330	16,764	719	18,2626	18,26	14,81
Stöd G								
Vänster	713,00	36,2204	722	36,6776	326	33,6804	33,68	37,14
Höger	365,00	12,045	831	13,7115	397	13,101	13,71	10,25
Stöd H								
Vänster	968,00	31,944	766	29,139	1000	33	29,14	32,60

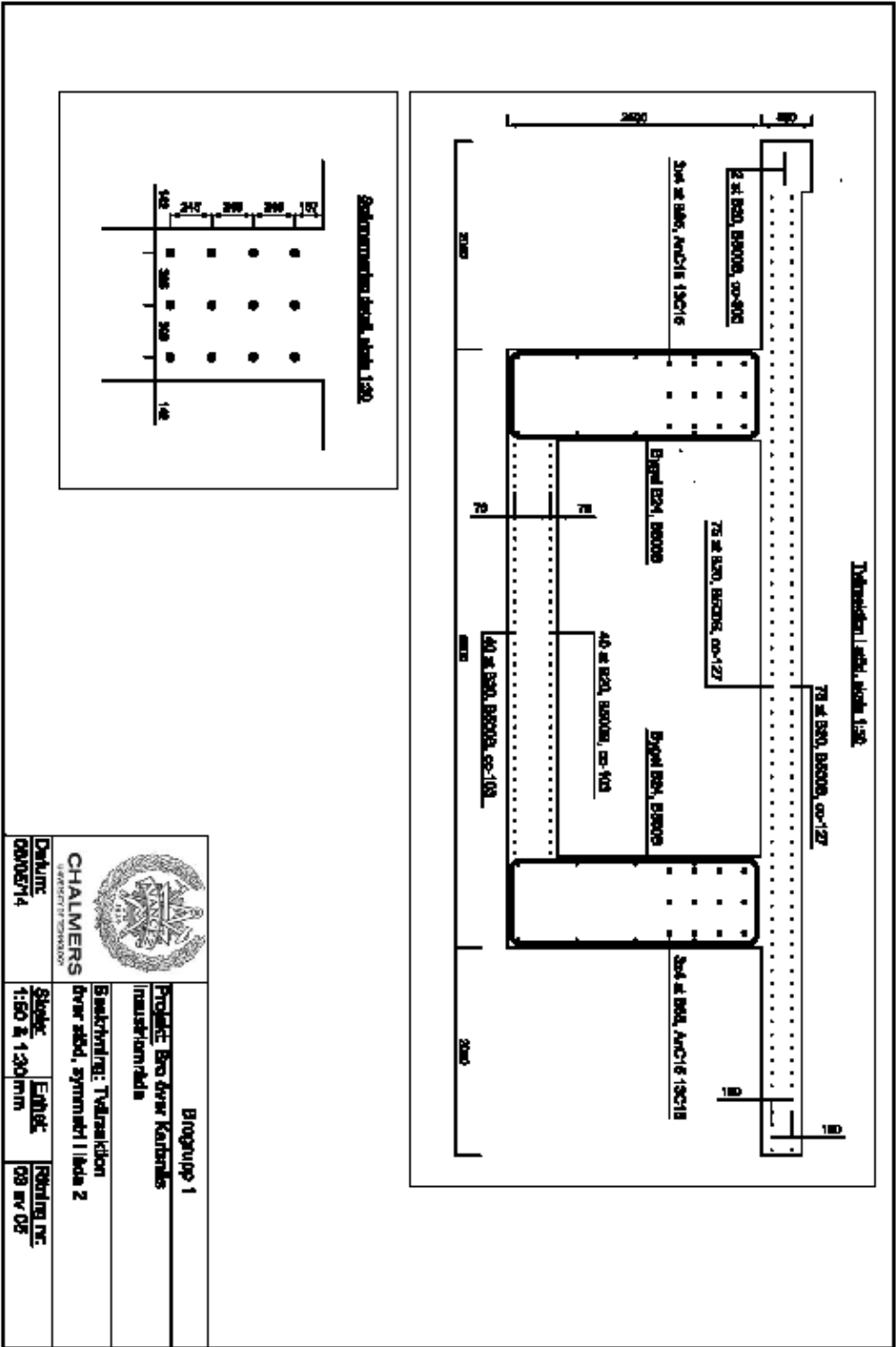
Byglarnas x -värde bestäms mha matlabfilerna.

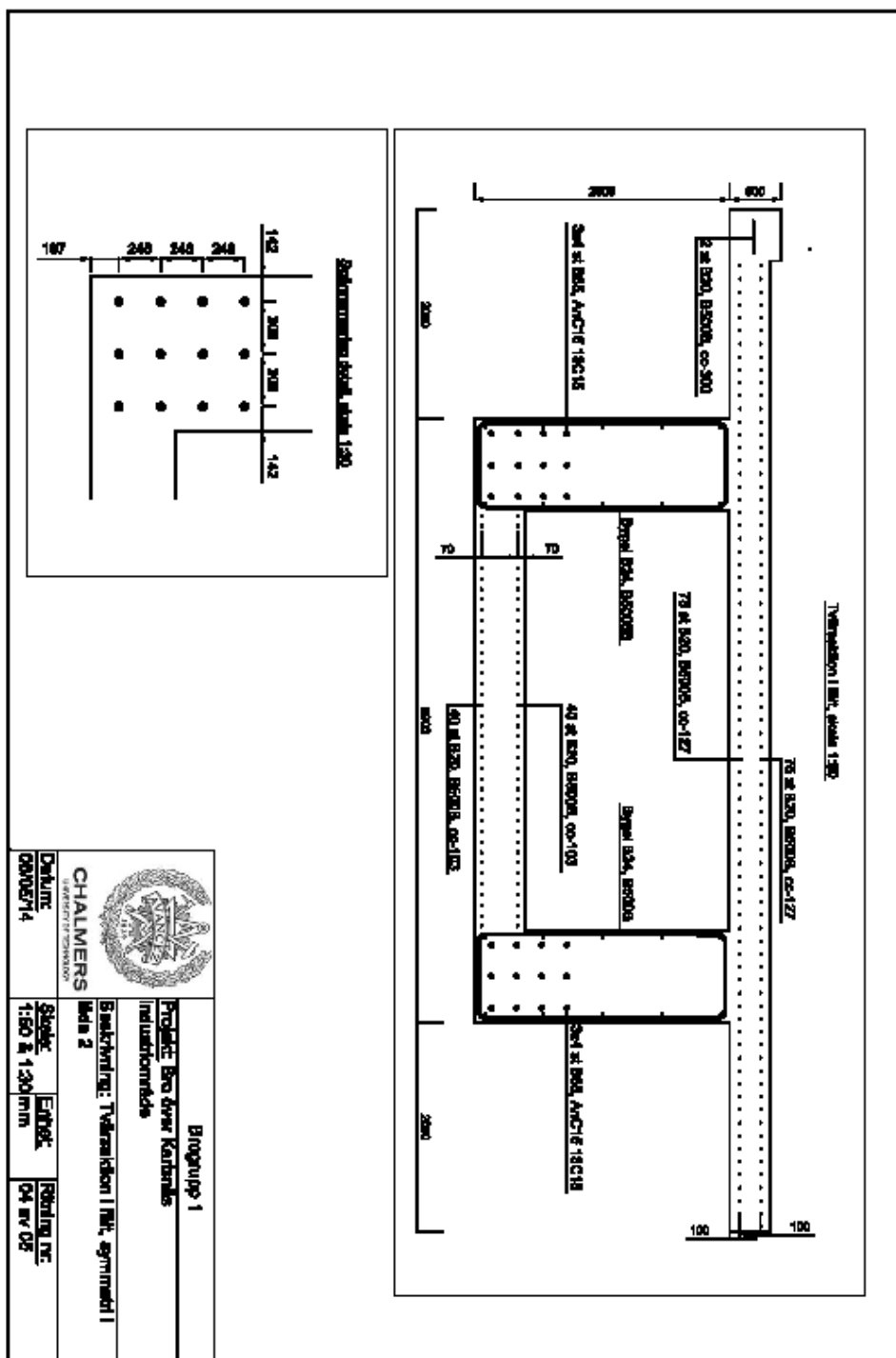


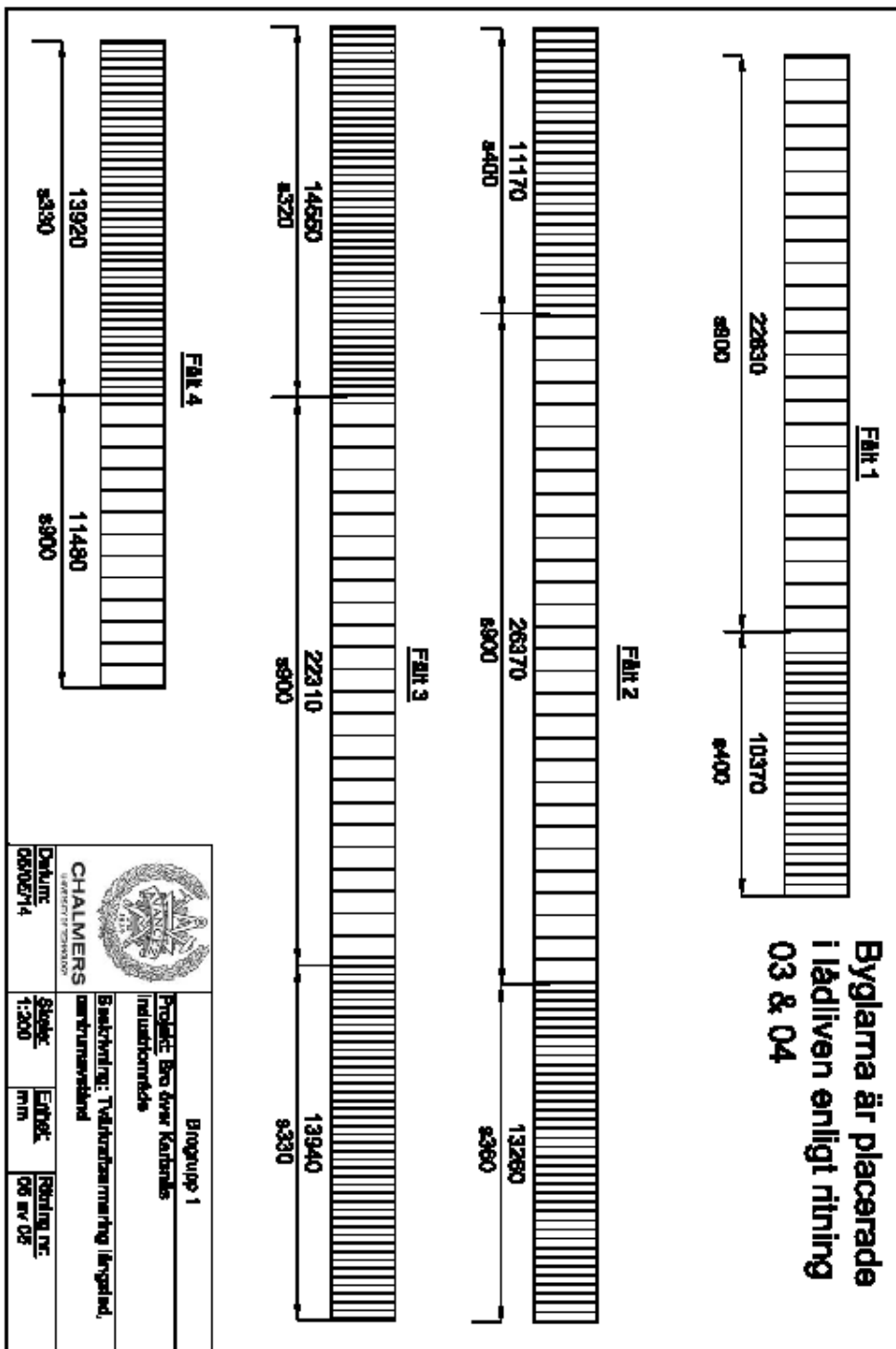
Indelning av fält för tvärkraftsarmering. Se bilaga B.4.9.5 för indelning av s -avstånd.

B.4.9.5 - Ritningar, armeringsinläggning









B.4.10 - Bruksgränstillstånd

B.4.10.1 - Kontroll spänningar

Spännkablarnas tryckkraft väljs i B.4.9.1 sådana att betongspänning och stålspänning inte överskrids.

B.4.10.2 - Sprickkontroll

Spännkablarnas väljs i B.4.9.1 sådana att sprickor inte uppkommer.

B.4.10.3 - Temperaturutvidgning

Fast lager i längsled vid stöd D ger en dimensionerande längd:

$$l_{\max} := 320\text{m} - (33 + 50.8 \cdot 2)\text{m} = 185.4\text{ m}$$

Längsta fria brolängd

$$\alpha_{\text{Tc}} := 10 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

Temperaturutvidgningskoefficient

$$\Delta T := 40\text{K} - -15\text{K} = 55\text{ K}$$

Antagna max/minvärden för temperatur

$$\Delta l_{\max} := \alpha_{\text{Tc}} \cdot \Delta T \cdot l_{\max} = 0.102\text{ m}$$

Längsta längdutvidgning

B.5 - Överslagsberäkning materialkostnader

Ingående materialparametrar

$$L_{\text{bro}} := 320\text{m}$$

$$\phi := 20\text{mm}$$

Diameter dragarmering

$$\phi_{\text{bygel}} := 24\text{mm}$$

Diameter bygel

$$A_{\text{sw}} := \pi \cdot \frac{\phi_{\text{bygel}}^2}{4} = 4.524 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Tvärsnittsarea för armeringsbygel (ett skär)

$$A_{\text{si}} := \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Tvärsnittsarea för dragarmering

$$\phi_{\text{rör}} := 85\text{mm}$$

Diameter rör

$$A_{\text{rör}} := \pi \cdot \frac{\phi_{\text{rör}}^2}{4} = 5.675 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Tvärsnittsarea rör

$$A_{\text{tvsn}} := 21.2\text{m}^2$$

Tvärsnittsarea (betong + armering)

Armering tvärled

$$V_{\text{UK.tv}} := 10 \cdot A_{\text{si}} \cdot 1\text{m} + 6 \cdot A_{\text{si}} \cdot 3.5\text{m} + 12 \cdot A_{\text{si}} \cdot 2\text{m} = 0.017 \cdot \text{m}^3$$

Volym armering UK och ÖK platta.
'ängder hämtas från

$$V_{\text{ÖK.tv}} := 8 \cdot A_{\text{si}} \cdot 3.5\text{m} + 2 \cdot A_{\text{si}} \cdot 1.5\text{m} + 4 \cdot A_{\text{si}} \cdot 4.5\text{m} = 0.015 \cdot \text{m}^3$$

vkortningsdiagram

$$V_{\text{tot.tv}} := 2(V_{\text{UK.tv}} + V_{\text{ÖK.tv}}) \cdot \frac{L_{\text{bro}}}{\text{m}} = 20.91 \cdot \text{m}^3$$

Armeringsvolym i tvärled

Armering längsled

$$A_{\text{liv}} := 4 \cdot 6.283 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 0.025 \text{ m}^2$$

Armeringsarea i tvärsnittets 4 liv

$$A_{\text{lådb}} := 2 \cdot 0.025 \text{ m}^2 = 0.05 \text{ m}^2$$

Armeringsarea i lådbotten

$$A_{\text{platta}} := 0.094 \text{ m}^2$$

Armeringsarea broplatta

$$A_{\text{kbalk}} := 2 \cdot 6.283 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Armeringsarea kantbalk

$$V_{\text{tot.l}} := (A_{\text{liv}} + A_{\text{lådb}} + A_{\text{platta}} + A_{\text{kbalk}}) \cdot L_{\text{bro}} = 54.524 \cdot \text{m}^3$$

Total armeringsvolym i längsled

Bilaga B.5 - Överslagsberäkning
materialkostnader

Tvärkraftsarmering

$$L_{\text{bygel}} := 7\text{m}$$

Längd för en bygel

$$s_{\text{max}} := 0.9\text{m}$$

Maximalt s-avstånd tk-armering

$$L_{\text{tk}} := 0.42\text{m} + 28.17\text{m} + 11.17\text{m} + 13.26\text{m} + 14.53\text{m} + 13.94\text{m} \dots = 175.6\text{m}$$

$$+ 13.92\text{m} + 12.6\text{m} + 13.97\text{m} + 14.5\text{m} + 14.81\text{m} + 13.66\text{m} + 10.25\text{m} + 0.4\text{m}$$

$$L_{\text{max.tk}} := L_{\text{bro}} - L_{\text{tk}} = 144.4\text{m}$$

Längd av bron med maximalt centrumavstånd tk-arm

$$n_{\text{tk}} := \frac{0.42}{0.77} + \frac{28.17}{0.38} + \frac{11.17}{0.4} + \frac{13.26}{0.36} + \frac{14.53}{0.32} + \frac{13.94}{0.33} \dots = 511.263$$

$$+ \frac{13.92}{0.33} + \frac{12.6}{0.34} + \frac{13.97}{0.32} + \frac{14.5}{0.32} \dots$$

$$+ \left(\frac{14.81}{0.31} + \frac{13.66}{0.33} + \frac{10.25}{0.39} + \frac{0.4}{0.77} \right)$$

Antal byglar inom områden med varierande centrumavstånd

$$n_{\text{tk.max}} := \frac{L_{\text{max.tk}}}{s_{\text{max}}} = 160.444$$

Antal byglar med maximalt centrumavstånd

$$n_{\text{byglar}} := n_{\text{tk}} + n_{\text{tk.max}} = 671.708$$

Antal byglar i hela bron

$$V_{\text{tot.tk}} := n_{\text{byglar}} \cdot A_{\text{sw}} \cdot L_{\text{bygel}} = 2.127 \cdot \text{m}^3$$

Total volym tk-armering

Total volym armering

$$V_{\text{tot.arm}} := V_{\text{tot.tv}} + V_{\text{tot.l}} + V_{\text{tot.tk}} = 77.562 \cdot \text{m}^3$$

Total volym samtlig armering

Volym spännkablar

Obs - Kablar antas vara 320m långa

$$n_{\text{rör}} := 48$$

Antal rör i tvärsnittet

$$V_{\text{rör}} := n_{\text{rör}} \cdot A_{\text{rör}} \cdot L_{\text{bro}} = 87.16 \cdot \text{m}^3$$

Volym betong

$$V_{\text{tot}} := A_{\text{tvsn}} \cdot L_{\text{bro}} = 6.784 \times 10^3 \cdot \text{m}^3$$

Total volym (betong + armering) för brobana

$$V_{\text{tot.btg}} := V_{\text{tot}} - V_{\text{tot.arm}} - V_{\text{rör}} = 6.619 \times 10^3 \cdot \text{m}^3$$

Total volym betong

Kostnader

Bilaga B.5 - Överslagsberäkning
materialkostnader

Schablonkostnader

$$k_{\text{btg}} := 2500 \frac{1}{\text{m}^3} \quad \text{Kostnad för betong (inkl form och gjutning)}$$

$$k_{\text{arm}} := 15000 \cdot \frac{1}{\text{tonne}} \quad \text{Kostnad för armering (inlagd)}$$

Kostnadsberäkning

$$\rho_{\text{arm}} := 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densitet för armering}$$

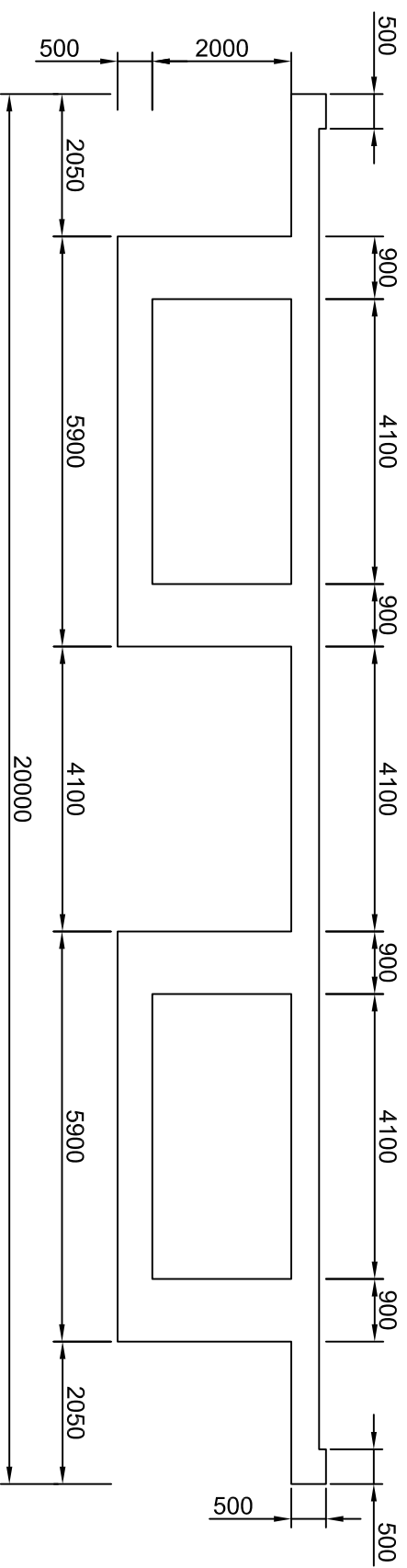
$$\text{kostnad}_{\text{arm}} := \rho_{\text{arm}} \cdot V_{\text{tot.arm}} \cdot k_{\text{arm}} = 9.075 \times 10^6$$

$$\text{kostnad}_{\text{btg}} := V_{\text{tot.btg}} \cdot k_{\text{btg}} = 1.655 \times 10^7$$

$$\text{kostnad}_{\text{tot}} := \text{kostnad}_{\text{arm}} + \text{kostnad}_{\text{btg}} = 2.562 \times 10^7$$

Den totala kostnaden för betong och armering blir alltså ca 25,62 miljoner kronor.

C1 - Ritningar



Tvärsnittskonstanter

Area: $21,2 \text{ m}^2$

Tröghetsmoment: $9,036 \text{ m}^4$

Betong: C40/50



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Brogrupp 1

Projekt: Bro över Karlsnäs
indistriområde

Beskrivning: Dimensioner
tvärsnitt

Datum:
05/05/14

Skala:
1:100

Enhet:
mm

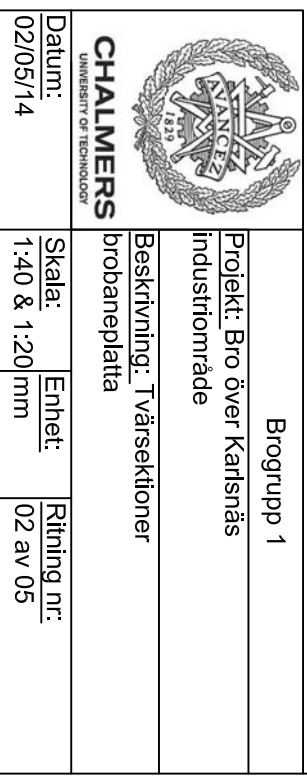
Ritning nr:
01 av 05

Platta i tvärläng, skala 1:40

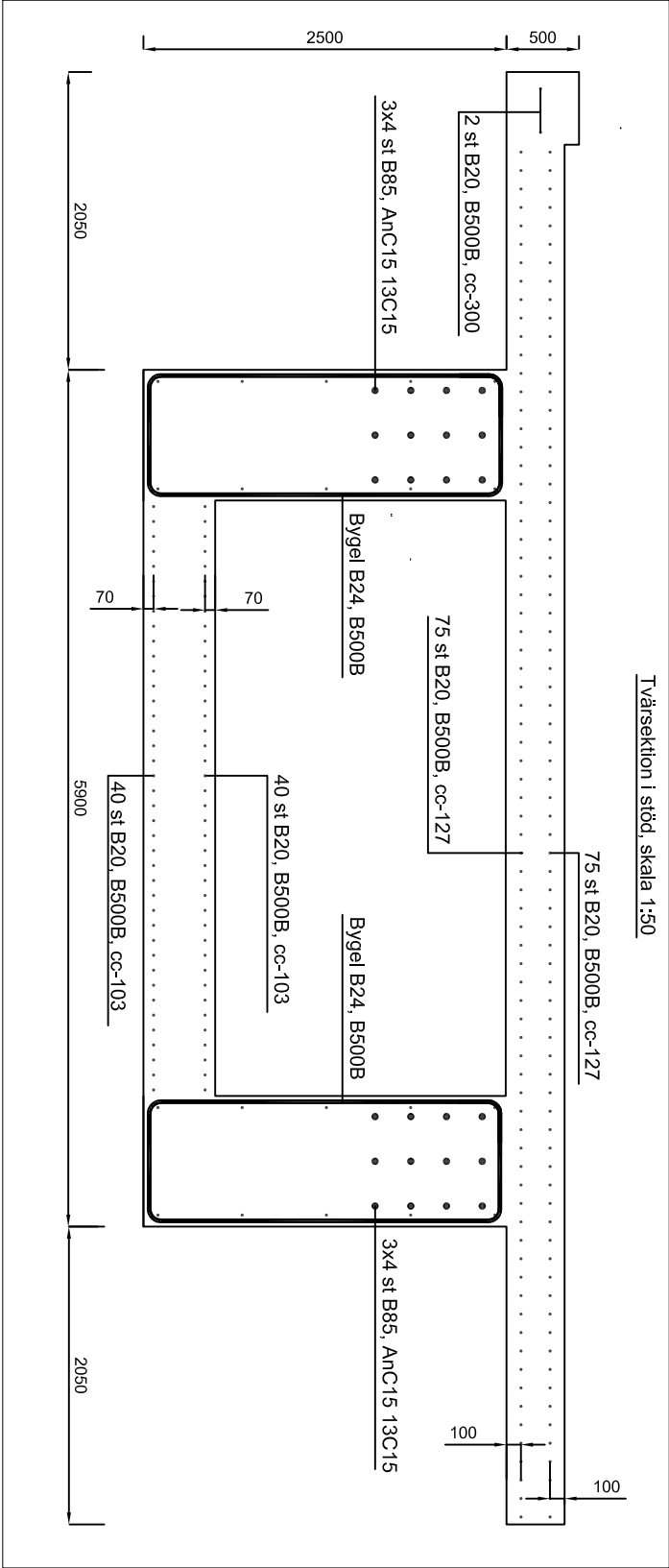
Diagram illustrating a 1000x400 grid structure. The grid is divided into four quadrants by a vertical line between the 4th and 5th columns and a horizontal line between the 62nd and 63rd rows. The columns are labeled 01, 03, 03, 03, 03, 03, 03, 01 from left to right. The grid contains 8 columns and 125 rows. Each quadrant contains a 4x4 grid of dots, totaling 64 dots.

Armering: B500B $\Phi 20$
Betong: C40/50

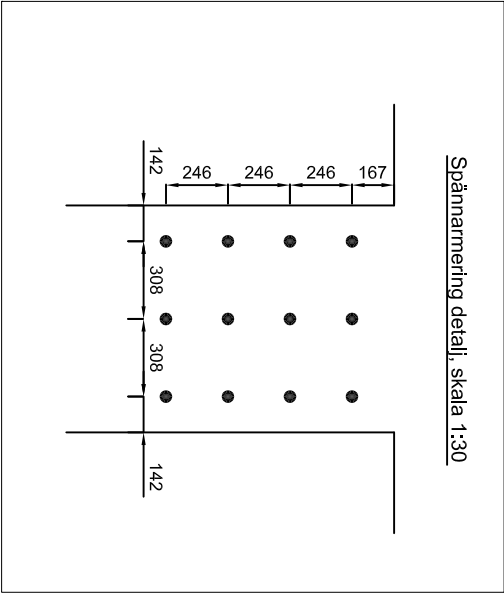
Diagram of a D-D beam cross-section. The beam is rectangular with a width of 400 and a height of 1000. The top edge is labeled "D-D" with a horizontal line. The left and right vertical edges are labeled "01". The top surface is marked with a grid of dots. The central area is labeled "07".



Tvärsektion i stöd, skala 1:50



Spännarmering detalj, skala 1:30



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Brogrupp 1
Projekt: Bro över Karlsnäs
instruktionsområde

Beskrivning: Tvärsektion
över stöd, symmetri i läda 2

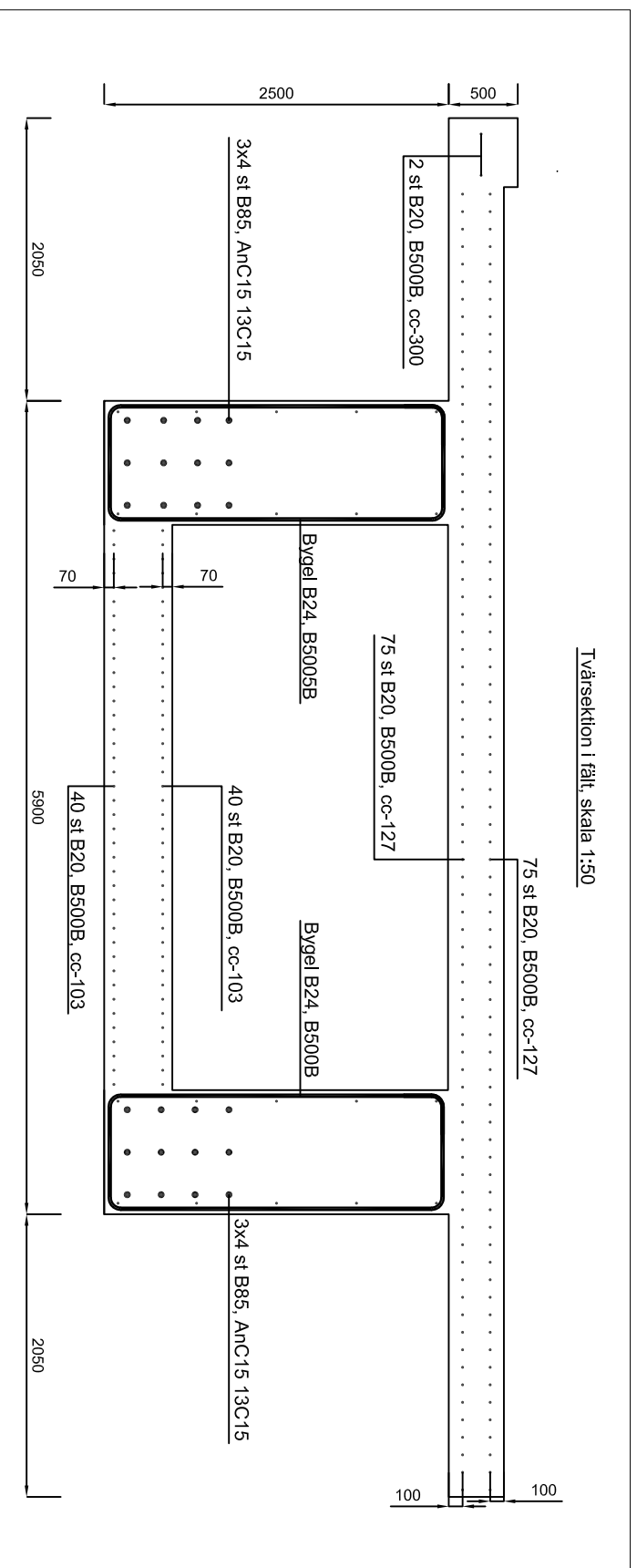
Datum:
06/05/14

Skala:
1:50 & 1:30

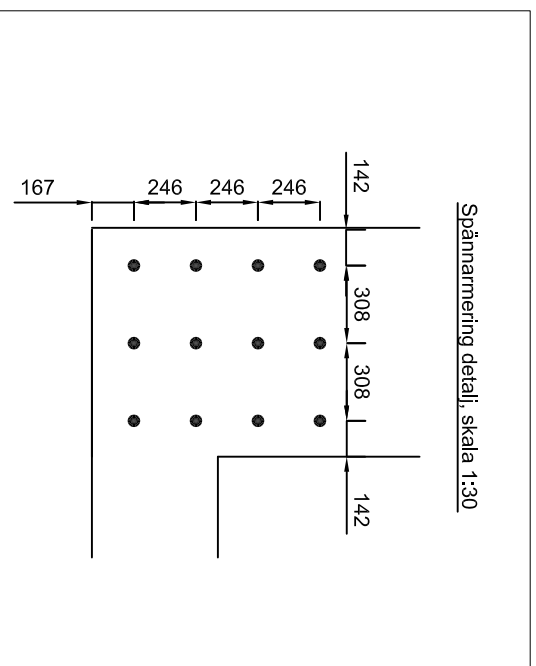
Enhet:
mm

Ritning nr:
03 av 05

Tvärsektion i fält, skala 1:50



Spännarmening detalj, skala 1:30



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Brogrupp 1

Projekt: Bro över Karlsnäs
industriområde

Beskrivning: Tvärsektion i fält, symmetri i
låda 2

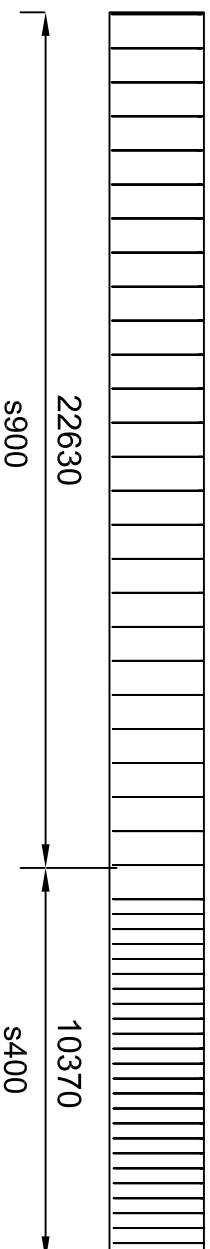
Datum:
06/05/14

Skala:
1:50 & 1:30

Enhet:
mm

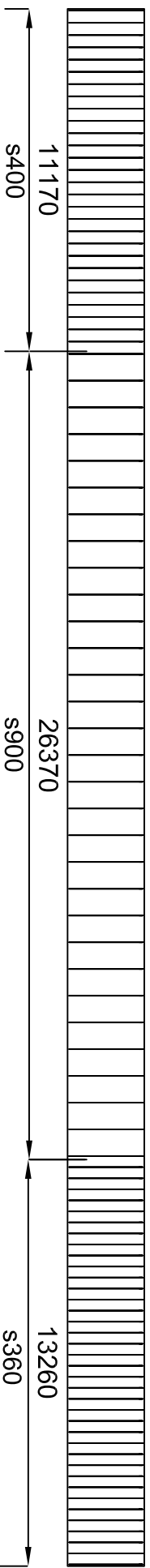
Ritning nr:
04 av 05

Fält 1

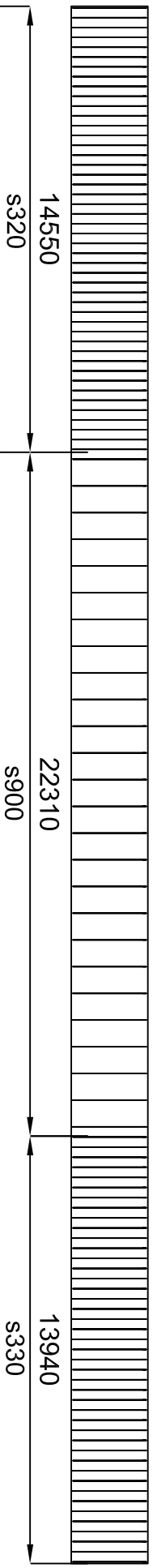


Byglarna är placerade
i lådliven enligt ritning
03 & 04

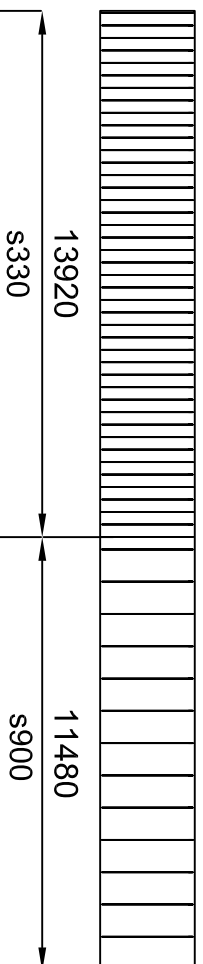
Fält 2



Fält 3



Fält 4



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Datum:
05/05/14

Brogrupp 1
Projekt: Bro över Karlsnäs
industriområde

Beskrivning: Tvärkraftsarmering längsled,
centrumavstånd

Skala: 1:200
Enhet: mm
Ritning nr: 05 av 05

