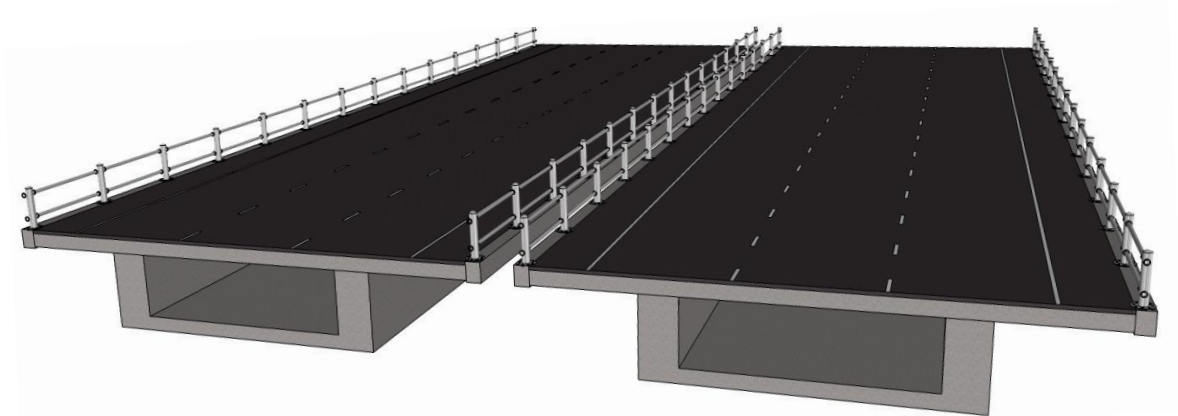




Projektering av motorvägsbro över Ätran i Ulricehamn

-Konceptuell design och preliminär dimensionering

Kandidatarbete inom Väg- och Vattenbyggnad

BORGSTRAND KARL
FREDBERG JOHAN
GÖTHARSON SUSANN
IMBERG JAKOB
JOHANSSON ADAM
SVENSSON TIM

Institutionen för Bygg- och Miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2013-05-14
Kandidatarbete nr 2013:64

Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete skrivet under våren 2013 vid institutionen för Bygg- och Miljöteknik, avdelningen Konstruktionsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet behandlar utformning och preliminär dimensionering av en motorvägsbro i Ulricehamn.

Vi som skrivit arbetet är sex studenter som läser tredje året på civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad vid Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet med rapporten har gett oss träning i att arbeta med öppna problem samt att arbeta i grupp över en längre tid, vilket har ställt krav på väl strukturerat arbete och god kommunikation. Vi har även fått en ökad kunskap kring brobyggnad generellt samt förståelse för hur dimensioneringen av en spännarmerad betongbro går till.

Vi vill passa på att rikta ett tack till de personer som gett lärorika föreläsningar i för rapporten relevanta ämnen under arbetets gång. För all hjälp med tekniska frågor under dimensioneringsfasen vill vi tacka Sören Lindgren och Joosef Leppänen och ytterligare tack går till vår handledare Staffan Lindén från COWI och kursansvarige Rasmus Rempling på Chalmers som har stöttat och hjälpt oss under arbetets gång. Sist men inte minst vill vi även tacka övrig personal på avdelningen konstruktionsteknik för den hjälp de har bistått med när vi kommit med frågor i tid och otid.

Abstract

At the moment an extensive construction of the new highway 40 between Gothenburg and Jönköping is in progress. In the subsection between Dällebo-Hester there are plans, by Trafikverket, to build several bridges, one of which crosses the river Ätran in close proximity to Ulricehamn. This report will focus on the choice of a suitable bridge concept and the subsequent preliminary design of that bridge.

A set of technical requirements has been provided by Trafikverket which outlines the project. Some of the governing requirements include a total bridge length of 46 m and that it has to consist of three lanes in both directions, which gives a total width of 29m, and that it has to have enough capacity for the heavy traffic. Because of the river Ätran it is not favorable to construct any additional abutments other than at the ends.

Data has been obtained through a literature survey, in order to form a basis for the selection of the most suitable bridge concept. The winning concept is a box beam bridge in post-tensioned concrete and a reinforced bridge deck. The bridge has been divided into two parallel bridges partly to facilitate the design process and to give it a more esthetically pleasing impression.

A preliminary design of the bridge is performed, in which the bridge deck and box beams are examined separately. The results are displayed in the form of a preliminary draft which includes description of the chosen concept, calculations, blueprints and a description of the remaining work that has to be done before a complete design of the bridge is done.

Sammandrag

I dagsläget genomförs en omfattande nybyggnation av nya riksväg 40 mellan Göteborg och Jönköping. På delsträckan Dällebo-Hester planerar Trafikverket flertalet broar varav en sträcker sig över ån Ätran i närheten av Ulricehamn. Rapporten kommer behandla framtagning av lämpligt brokoncept med efterföljande preliminär dimensionering för denna bro.

Trafikverket har tagit fram en teknisk beskrivning som sätter ramarna för projektet. De styrande kraven innefattar en total brolängd på 46m samt att det ska finnas tre körfält i vardera riktningen med kapacitet för tung trafik, vilket ger en total brobredd på 29m. På grund av Ätran är det ofördelaktigt med mittstöd vilket medför att bron måste uppföras i ett spann.

En litteraturstudie har genomförts för att ta fram underlag för en urvalsprocess i vilken det lämpligaste brokonceptet tagits fram. Det vinnande konceptet blev en lådbalkbro i efterspänd betong och slakarmerad broplatta. Bron har delats upp i två parallella broar dels för att underlätta dimensioneringen dels för att ge ett mer estetiskt tilltalande intryck.

En preliminär dimensionering av bron har genomförts där plattan och den efterspända lådan har undersökts separat. Resultaten redovisas i form av ett preliminärt förslag av bron som innefattar beskrivning av konceptet, beräkningar, skisser och beskrivning av återstående moment för en fullständig dimensionering.

Nomenklatur

Bessemerprocessen	– stålframställningsprocess där kolhalten i smält råjärn minskas genom oxidation med hjälp av luft
Bottenmorän	– hårt packad, osorterad jordart som avsatts vid botten av en glaciär
Buckling	– instabilitetsfenomen hos skivor
Fryscykel	– när ett material fryser och tinar upp igen; framför allt betong tar skada vid många fryscykler då varje cykel påverkar lite varje gång
HHW _{100år}	– högsta högvatten som förekommer på 100 år
Hydratation	– härdning; process där vatten binds kemiskt i betongen
K3.5	– körfält, även kallat fil, som är 3,5m brett; K-körfält, 3,5-måttet
Karakteristik skjuvhållfashet	– geologiskt begrepp; används vid stabilitetsberäkningar
Nomenklatur	– en samling facktermer
Planskild korsning	– en vägkorsning där vägar korsar varandra i skilda plan, det vill säga så att korsande rörelser kan pågå samtidigt utan att påverka varandra
Påldäck	– övergångskonstruktion mellan bro och pålar
Relativ fasthet (låg-hög)	– geologiskt begrepp; hur pass välpackad en jord är
Sensitivitet	– geologiskt begrepp; ett mått på hur känslig en jords hållfasthet är för störningar, exempelvis pålning
Spontning	– en stödkonstruktion som används för att ta upp jordtryck vid schaktningsarbeten
Sprickzon	– det område av en konstruktionsdel i betong som spruckit upp
Svåmsediment	– jordart som bildas när ett vattendrag svämmar över; består framför allt av sand, silt och lera, uppblandat med växtrester
TMA-skydd	– ett fordonsburet påkörningsskydd utrustat med vertikal ljuspil i LED-utförande samt valfri typ av skyltning
Torv	– jordart som bildats på fuktig mark av ofullständigt förmultnade växtdelar
Täckskick	– extratjock skikt betong som täcker armeringen för att förhindra korrosion
Utmattning	– försvagning i ett material på grund av upprepade belastningar som efter ett visst antal belastningsväxlingar leder till sprickbildning och sedan till utmattningsbrott
Vot	– en ökning av brobalkhöjden närmare stöd
Återfyllningsarbete	– arbetet med att flytta tillbaka de massor som flyttats på för att skapa ett schakt

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Syfte.....	2
1.2 Problembeskrivning.....	2
1.3 Avgränsningar.....	3
1.4 Metod.....	3
2. Krav och förutsättningar.....	4
2.1 Teknisk data om bron, platsen och vattendraget	4
2.2 Geotekniska förhållanden	5
2.3 Klimatförutsättningar på platsen	6
2.4 Miljökrav från Ulricehamns kommun.....	6
2.5 Övriga krav och förutsättningar för konstruktionen och byggnationen	6
3. Underlag för val av brokoncept.....	8
3.1 Byggnadsmaterial för broar.....	8
3.2 Grundläggningsmetoder för broar	15
3.3 Stöd, lager och vingmurar för broar	17
3.4 Verkanssätt och brotyper.....	18
3.5 Produktionsmetoder för broar	24
3.6 Inspektioner och underhåll av broar	27
3.7 Ekonomi.....	29
4. Urvalsprocess och val av brokoncept.....	31
4.1 Brokoncept som väljs bort före viktningen	31
4.2 Viktningskriterier för beslutsmatris.....	31
4.3 Beskrivning av kvarvarande brokoncept utifrån viktningsskriterier	32
4.4 Viktning av kriterier och brokoncept.....	40
5. Det vinnande konceptet: spännarmerad betongbalkbro med lådtvärsnitt	43
5.1 Produktionsplan	43
5.2 Lager, broräcken och avvattningsystem	45
5.3 Förvaltningsplan: Inspektioner och underhåll.....	47
5.4 Åtgärder vid en ökad framtida trafikbelastning	48
5.5 Ekonomi.....	49
6. Dimensionering av bron	50

6.1 Betongproportionering	50
6.2 Dimensionering av broplattan i tvärled.....	51
6.3 Dimensionering av bron i längsled	59
6.4 Återstående dimensionering.....	63
7. Resultat och skisser utifrån preliminärdimensionering	65
7.1 Bron i längsled	65
7.2 Brons tvärsnitt i Snitt A-A	66
7.3 Detaljskiss för kantbalk.....	67
7.4 Detaljskiss över lådliv	68
7.5 Detaljskiss för lådans liv	69
7.6 Skiss för ett segment av plattan i tvärled	70
8. Diskussion.....	74
8.1 Inledande antaganden.....	74
8.2 Litteraturstudien	74
8.3 Viktning av kriterier	74
8.4 Viktning av brokoncept	75
8.5 Beräkningar	75
8.6 Resultat och skisser	76
8.7 Källkritik.....	77
9. Slutsats	78
Källförteckning.....	79

Det har sedan 90-talet funnits planer på att bygga ut den olycksdrabbade och tungt trafikerade riksväg 40, som förbinder Göteborgsregionen med Jönköping och vidare till Stockholmsområdet (Trafikverket, 2012a). Sträckan mellan Göteborg och Borås har redan fått motorvägsstandard. Nu återstår bara vissa delar mellan Borås och Jönköping innan det finns en mötesfri väg mellan Göteborg och Stockholm, se Figur 1 (Trafikverket, 2012b). Den stora olycksrisken beror på flera faktorer, bland annat en stor andel tung trafik, ojämna plan- och profilstandard, korta siktsträckor och flera utfarter (Trafikverket, 2010). Utredningar har visat att det bästa alternativet ur ekonomisk- och trafiksäkerhetssynpunkt är en nybyggnation, istället för utbyggnad av den befintliga vägen (Trafikverket, 2001). Det kommer dock innebära större påverkan på miljön och viktiga naturvärden utmed sträckningen.



Den nya vägen kommer innebära en nybyggnation av ett flertal broar varav en kommer gå över Ätran vid Ulricehamnsmotet, se Figur 2 (Trafikverket 2012a). Bron kommer ha en spännvidd på 46 m och tre filer i vardera riktningen i och med på- och avfart vid Ulricehamnsmotet.



Figur 2: Kartan visar Ulricehamns industriområde, befintliga riksväg 40 och Ätran. Den gula markeringen visar planerad sträckning för nya väg 40, den röda markeringen visar bron över Ätran (Trafikverket, 2001).

1.1 Syfte

Utifrån den samlade expertisen från insatta inom produktion, drift och underhåll samt beställarorganisationen ska ett estetiskt tilltalande och väl fungerande brokoncept för en motorvägsbro över Ätran tas fram. Bron ska projekteras och preliminärdimensioneras så att den uppfyller Trafikverkets ställda tekniska krav och Eurokod.

1.2 Problembeskrivning

Vid konceptframtagning, dimensionering och byggnation av en bro är det en mängd problem som måste lösas och krav som ska uppfyllas. På grund av att eventuella olyckor kan leda till stora konsekvenser för människor och miljö, är det viktigt att identifiera problemen och följa de lagar och regler som finns.

Trafikverkets tekniska beskrivning, se [BILAGA 1](#), samt förslagsritning upprättad av COWI, se [BILAGA 2](#), ligger till grund för de krav och förutsättningar som gäller i det aktuella projektet. Utifrån ställda krav och för projektet specifika problem ska ett lämpligt brokoncept tas fram. Brokonceptet innefattar grundläggning, brotyp och materialval, produktion och förvaltning. En preliminärdimensionering utförs sedan för det valda konceptet.

Bron ska uppfylla ställda funktionskrav under hela den tekniska livslängden samt vara acceptabel ur underhålls- och miljösynpunkt. Den tekniska livslängden skall vara 80 år. Möjlighet för återanvändning, deponering och destruktion av bron ska beaktas.

Projektet som helhet skall vara genomförbart inom rimliga tids- och kostnadsramar.

1.3 Avgränsningar

För att få större frihet vid val av brokoncept har byggtid och ekonomiska aspekter givits en underordnad betydelse. Kvalificerade antaganden görs dock för att kunna jämföra de olika koncepten.

Geotekniska beräkningar utförs inte, då fokus ligger på brokonstruktionen. Men undersökningar av geotekniska förhållanden beaktas för att kunna välja lämplig grundläggningsmetod.

Utförandet av vägarbeten och beläggning kommer inte beaktas, då detta påbörjas först när bron är färdigkonstruerad, men hänsyn tas till de resulterade laster beläggningsen medför. Horisontella laster, såsom broms-, temperatur- och vindlaster, tas inte med i beräkningarna men beaktas i konstruktionens verkningssätt. Inverkan av vibrationer försummas.

1.4 Metod

Projektet gjordes i två etapper. Första etappen bestod av en litteraturstudie som resulterade i ett brokoncept. Andra etappen var projektets huvuddel och bestod av lastframtagning och dimensionering enligt Eurokod, för det valda brokonceptet.

Litteraturstudien genomfördes för att ta fram underlag till val av brokoncept. Huvudsakligen bygger litteraturstudien på Vägverkets handbok om broar och engelska online-böcker genom Chalmers Bibliotek, med sökorden "Bridge", "Engineering" och "Highway". Även föreläsningar, handledning och emailkontakt med trafikverket och Vectura är viktiga källor. Svenska böcker och vetenskapliga artiklar användes i mindre utsträckning, eftersom den mesta litteraturen finns utgiven på engelska.

För att nå djupare i litteraturstudien utfördes etapp 1 i tre subgrupper med olika expertisområden.

Första ansvarsområdet var beställarens intressen. Gruppen ansvarade för att driva projektet framåt samt uppnå en säker och estetiskt tilltalande trafikupplevelse till en så låg livscykelkostnad som möjligt.

Andra ansvarsområdet var produktion. Gruppen ansvarade för att ta fram underlag för val av produktionsmetod och produktionsordning samt för säkerheten vid arbetsplatsen och den praktiska genomförbarheten.

Tredje ansvarsområdet var förvaltning. Gruppen ansvarade för att ta fram underlag för underhåll och inspektioner för att uppnå den tekniska livslängden samt miljöpåverkan under hela livscykeln.

Delgruppernas arbete sammanställdes och resulterade i en delrapport. Rapporten användes som underlag till en viktning av de olika brokoncepten, som gjordes med hjälp av en projektspecifik beslutsmatris.

Sedan övergick projektet till den andra etappen. För det vinnande brokonceptet påbörjades lastframtagning, dimensionering och utformning av konstruktionen enligt Eurokod. Detta utfördes med flera olika programvaror, till exempel MathCAD, Matlab, CALFEM och AutoCAD.

2. Krav och förutsättningar

I nedanstående stycken behandlas de krav och förutsättningar som framförs i Trafikverkets tekniska beskrivning, se [BILAGA 1](#), samt förslagsritning upprättad av COWI, se [BILAGA 2](#). Geotekniska förhållanden, klimatdata samt miljökrav på platsen redovisas för att ge en komplett uppfattning inom vilka ramar projektet kan utföras.

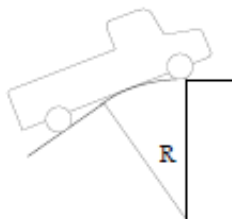
2.1 Teknisk data om bron, platsen och vattendraget

Omgivningen runt byggplatsen består till största del av äng- och åkermark, se Figur 3, strandbrinkarna vid Ätran som rinner genom landskapet är trädbevuxna och det går en gångstig längsmed ån. Brons totala längd uppgår till 46 m. Strax öster om bron kommer en ny planskild korsning för väg 46 att byggas. För att klara av- och påfarter kommer bron ha tre K3.5-filer i vardera riktningen. Bron ska ha en mittremsa på 3 m som skiljer de två körriktningarna åt. Den totala brobredden inklusive stödremсор och kantbalkar uppgår till cirka 29 m, se [BILAGA 2](#). På grund av mittremsan som delar de två körriktningarna åt finns möjlighet att dela upp bron i två parallella broar. Det innebär följaktligen att broarna byggs och verkar separat.



Figur 3: Fotomontage från 2001. Bilden visar dragningen av nya väg 40, väg 46 och Ätran som slingrar sig genom åker- och ängslandskapet. När fotomontaget gjordes var ett förslag att väg 46 skulle gå under motorvägen, men i det slutgiltiga förslaget är motorvägsbron kortare och väg 46 går över motorvägen (Trafikverket, 2001).

Bron är belägen i en konvex vertikalkurva, se Figur 4, med radien 6500 m och en horisontalkurva med radien 1150 m. Det västra brofästet är beläget på höjden +170 m och det östra på höjden +170,8 m.



Figur 4: Konvex vertikalkurva med radien R (Lannér, 2000).

Profilhöjden av vägen får inte förändras vilket leder till en begränsning av konstruktionshöjden i ovankant. Enligt Trafikverkets krav får den fria höjden vid vattenhinder inte understiga 30 cm över den högsta högvattennivån de närmaste 100 åren (Bro94 10.712,1994). HHW_{100år} ligger på +167 m vilket ger en begränsning på konstruktionshöjden i underkant. Tillgänglig konstruktionshöjd beräknas med MathCad till 2,7 m, beräkningarna redovisas i [BILAGA 3](#). Gångstigen som går under bron kommer inte påverka konstruktionshöjden.

En rad komplikationer uppkommer på grund av att bron sträcker sig över ett vattendrag.

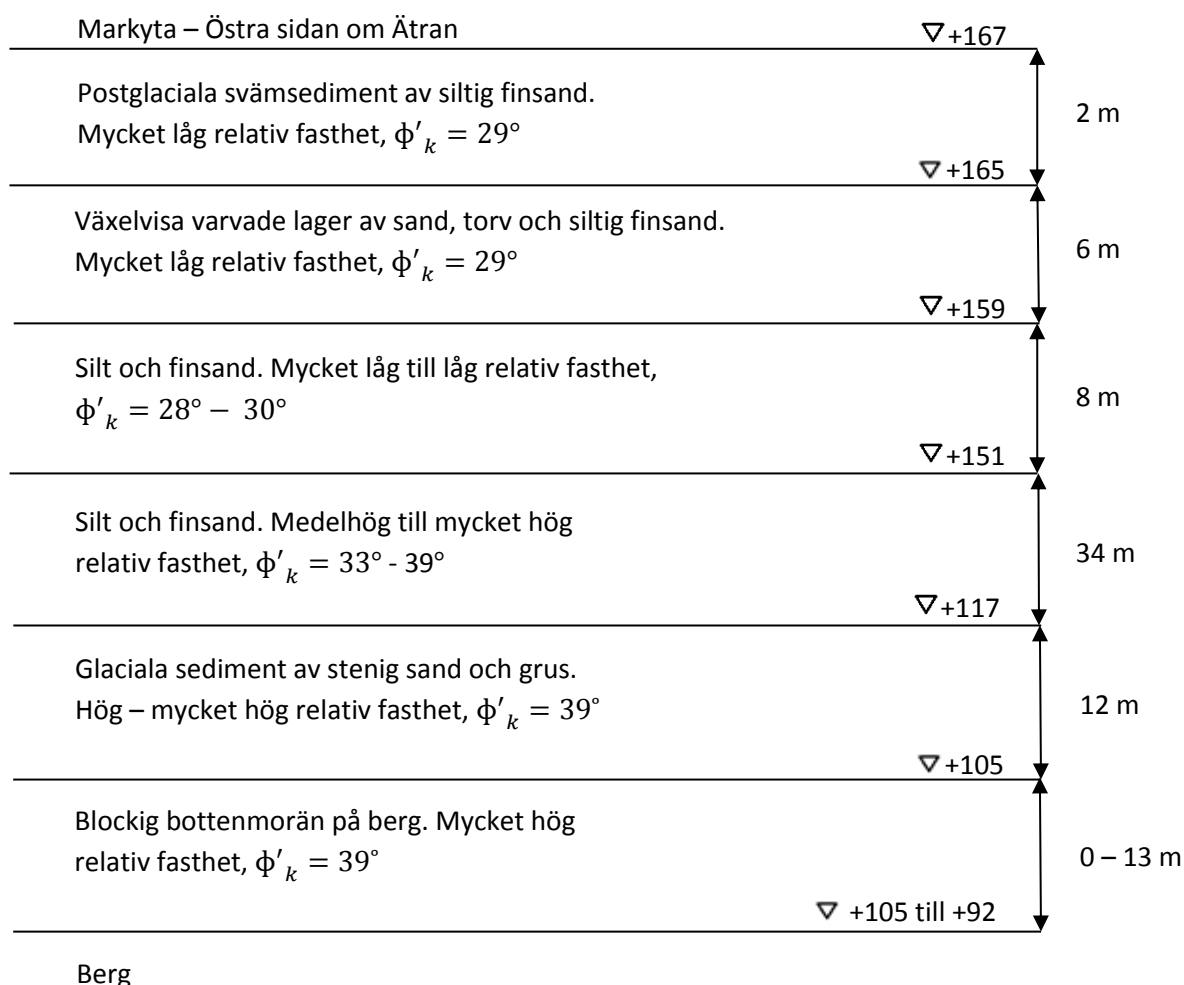
- Svårigheter vid placering och byggnation av stöd.
- Schaktning-, gjutning- och fyllningsarbeten för bottenplattor skall ske i torrhet vilket kräver tillfällig spontning.
- Begränsad framkomlighet för maskiner under byggnationen.

Ätran har i broområdet getts en mjukare linjeföring genom en förflyttning av åfåran mot väster, en större krökningsradie samt ett jämnare tvärsnitt. Åtgärderna syftar till att underlätta för brobygget och bidra till ett mer kontrollerat flöde i ån.

2.2 Geotekniska förhållanden

Markförhållandena i området är förhållandevis dåliga ur byggnadssynpunkt. De översta lagren består av silt och sand med inslag av biologiskt material, därav en mycket låg relativ fasthet. De nedre lagren har en större mäktighet och har inslag av grus, sten och block. De har därav en hög relativ fasthet. Förhållandena på östra och västra sidan om Ätran är relativt lika, men med varierande lagertjocklek och ett djup till berg som varierar mellan 61m (+92) och 72 m (+105). Den siltiga lerans karaktäristiska skjuvhållfasthet i området sätts till 40kPa och sensitiviteten till mellan 15 och 20.

På östra sidan om Ätran är förhållande följande:



2.3 Klimatförutsättningar på platsen

Stora delar av Västra Götaland är mycket nederbördsrik, årsmedel är cirka 500-1000 mm (SMHI, 2013). Medeltemperaturen är cirka 15,5°C under sommarhalvåret, på vinterhalvåret är medeltemperaturen ungefär -2°. På grund av att medeltemperaturen är nära 0 °C innebär det att temperaturen relativt ofta skiftar mellan plus och minus. Det medför att eventuella betongkonstruktioner kan utsättas för många fryscykler som kan skada materialet (Burström, 2007). Under vintertid kommer vägbanan behöva saltas, salt har negativ inverkan på de flesta byggnadsmaterialen.

2.4 Miljökrav från Ulricehamns kommun

Från Ulricehamns kommun finns det ett antal miljökrav som måste uppfyllas. Området där bron ska byggas ligger i Ulricehamns vattentäkt och tillhör kommunens primära vattenskyddsområde (Ulricehamns kommun, 2013a). För att få tillstånd att bygga krävs att det kan visas att grundvattnet i skyddsområdet inte riskerar att förorenas under uppförande och drift (Ulricehamns kommun, 2006). Skyddsåtgärder ska utföras för att säkerställa att läckage och farliga ämnen inte skadar vattentäkten.

Särskilda regler för vad som gäller finns för upplag, schakter, kemikalier, fordon och cisterner.

- Upplag av förorenade massor är förbjudet (Ulricehamns kommun, 2013b)
- Upplag av asfalt, oljegrus och vägsalt måste beviljas
- Maskiner bör inte ställas upp inom 50 m från vattendrag (Ulricehamns kommun, 2013c)
- Uppställningsplats ska ha tät yta och skyddsvall
- Vid tvätt av arbetsfordon ska smutsvattnet inte ledas till vattendrag eller dagvattenbrunnar
- Vid tankning och övrig hantering av kemikalier ska marken skyddas från förorening av spill. (Ulricehamns kommun, 2013d)
- Marken ska skyddas från att förorenas av läckage från lagrade kemikalier (Ulricehamns kommun, 2013e)
- Olyckor och läckage som riskerar att skada grundvattnet anmäls till 112.
- Dagvatten från bron ska ledas så att det inte släpps ut i Ätran

Byggnationen av bron ska inte störa eller skada fridlysta arter, om sådana finns i området, och påverka miljön i övrigt så lite som möjligt. Vad som särskilt bör beaktas för att säkerställa att detta uppfylls är följande:

- Om fisk leker uppströms i Ätran bör arbetet läggas när fisken har lekt och äggen kläckts
- Om lax vandrar ska arbetet utföras så att vandringen inte hindras
- Området ska undersökas efter förekomst av fridlysta växter, grodor och kräldjur, dessa ska vid förekomst skyddas
- Nedströms bör förekomst av musslor undersökas, dessa ska vid förekomst skyddas

2.5 Övriga krav och förutsättningar för konstruktionen och byggnationen

I nedanstående stycke tas övriga krav upp som ställs på konstruktionen. De framförs i Trafikverkets tekniska beskrivning, se [BILAGA 1](#), samt förslagsritning upprättad av COWI, se [BILAGA 2](#).

Trafikmängden beräknas öka från 12000 fordon/dygn till 15100 fordon/dygn till år 2035. Under perioden 1 oktober till 30 april förutsätts att personbilar kommer använda dubbdäck vilket medför ett större slitage på bron. Vägbanan förväntas även att saltas under perioden.

Bron och anslutande påldäck skall ha en teknisk livslängd på 80 år. De material som ingår i bron ska med rimligt underhåll bibehålla sina egenskaper under hela brons livslängd. Materialen ska helst vara återanvändnings- eller återvinningsbara.

Återfyllningsarbeten vid ändstöden skall ske med försiktighet så att konstruktionen inte skadas.

Dräneringssystemet skall dränera vägkroppen. Detta för att garantera säkerheten mot skred och uppflytning samt att sättningar inte uppkommer.

Tillfälligt erosionsskydd skall uppföras under byggnationstiden.

Broarbetet påverkas inte av allmän trafik, gamla väg 40 berörs inte av väg- och brobygget.

Broräcken skall uppfylla funktionskrav enligt SS-EN 1317-2 och de skall vara CE-märkta.

3. Underlag för val av brokoncept

Kapitlet är en litteraturstudie som syftar till att vara ett underlag för att kunna välja ett väl fungerande brokoncept med hänsyn till aktuella krav och förutsättningar. De områden som behandlas är material, grundläggning, stöd och lager, verkningssätt och brotyper, produktionsmetoder samt inspektioner och underhåll.

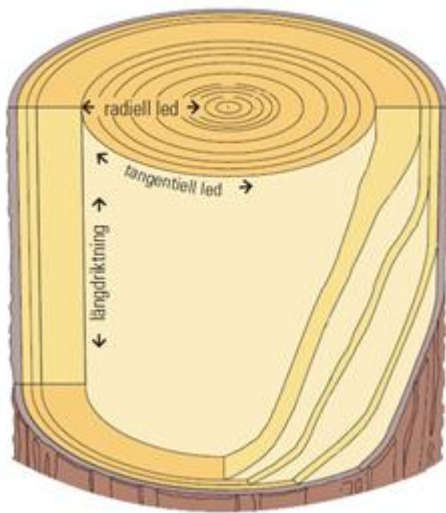
3.1 Byggnadsmaterial för broar

Materialiet i en bro är av stor betydelse för konstruktionen, framförallt då det styr brons hållfasthetsegenskaper. Dessutom påverkar det vilken gestaltning bron ges samt hur det underhåll och inspektioner utförs. Nedan följer en genomgång av materialen trä, stål och armerad betong. Materialen beskrivs utifrån deras grundläggande egenskaper, tillverkning, beständighet och underhållsbehov samt vilken övergripande miljöpåverkan de har.

3.1.1 Trä som konstruktionsmaterial

Trä är ett förnybart byggmaterial med gamla traditioner i Sverige då skogstillgångarna länge har varit goda. Det är viktigt att det bearbetade träet får torka under kontrollerade förhållanden för att säkerställa att dess kvalitet och form bevaras (Skogsindustrierna, 2004).

Trä är ett anisotropt material det vill säga det har olika egenskaper i olika riktningar, riktningarna visas i Figur 5. Det påverkar framförallt hållfasthetsegenskaperna, som varierar för de olika riktningarna (Skogsindustrierna, 2004). Trä klarar både tryck och drag väl i längdriktningen medan det har en mycket lägre hållfasthet i tangentiell och radiell riktning. Då växtförhållandena för träd varken är optimala eller identiska förekommer naturliga variationer i materialet som påverkar bland annat hållfastheten, det medför att en extra säkerhetsfaktor måste användas.



Figur 5: Bilden visar att trä är ett anisotropt material. De tre riktningarna är markerade med pilar i bilden (Skogsindustrierna 2004).

3.1.1.1 Tillverkning av konstruktionsvirke och limträ

Processen för att få fram ett användbart byggnadselement av trä är till stor del en fabricerad process. I sågverk sågas stockar till konstruktionsvirke i olika standarddimensioner, som efter torkning kan användas som konstruktionsvirke. Vid större konstruktioner, som en bro, krävs ofta ett mer hållfast material. Limträbalkar består av virke som sågas i mindre delar för att sedan limmas ihop igen till önskade standarddimensioner. Detta leder till att defekter i den ursprungliga produkten fördelas

slumpmässigt över hela balken, vilket medför att limträet blir mer homogent och därmed också mer pålitligt (Domone, 2001). Förutom att hållfastheten är högre, kan limträbalkar tillverkas i större dimensioner och därmed bära större laster.

3.1.1.2 Beständighet för trä

Beständigheten för ett material innebär hur motståndskraftigt det är mot angrepp som bryter ned eller förändrar materialets egenskaper. Trä är ett naturligt material och kan därför påverkas av flera olika angrepp (Burström, 2007). Vissa processer och angrepp är inte speciellt farliga var för sig, men i kombination kan de skapa bestående skador. Angrepp på trä kan delas in i biologiska och kemiska angrepp, de biologiska angreppen är vanligast. Trä är relativt resistent mot kemiska angrepp men mer känsligt mot biologiska.

Biologisk påverkan på trä kan delas in i angrepp av svampar samt angrepp av insekter och havsdjur (Domone, 2010). Förutsättningarna för biologiska angrepp är förekomst av fukt, värme och syre. Ett vanligt förekommande problem som reducerar hållfastheten är röta (Burström, 2007). Röta orsakas av vissa svampar och bakterier som kan vara svåra att upptäcka.

Trä är känsligt mot brand på grund av att det är ett organiskt material, men då det yttersta lagret förkolnats skyddas de underliggande lagren (Domone, Illston, 2010). Därmed kan stora balkelement behålla en stor del av sin bärförmåga.

Det är inte bara dessa angrepp som kan skada träet utan det kan även påverkas negativt av nötning, utmattning och vittring.

3.1.1.3 Förebyggande åtgärder för att förlänga träets livslängd

I och med att trä är känsligt för biologiska angrepp är det viktigt att skydda träet mot fukt (Burström, 2007). Detta görs främst genom det konstruktiva träskyddet. Med konstruktivt träskydd menas att konstruktionen bör utformas så att träet skyddas, vatten lätt rinner av och torkar snabbt. Extra viktig är utformningen vid springor och andra konstruktionsdetaljer där vatten lätt samlas. Ett vanligt sätt att skydda trä från regn är att använda tak och plåtar. Räcker inte det konstruktiva skyddet kan ytterligare åtgärder krävas för att skydda träet.

Kemiska metoder kan användas för att förbättra träets beständighet, två vanliga behandlingssätt är impregnering och ytbehandling. Vid ytbehandling bestryks ytan med ett träskyddsmedel, vilket vanligtvis sker för hand. Impregnering sker vanligtvis i fabriker med maskiner, detta medför att medlet tränger in djupt och ger ett längre skydd (Skogsindustrierna, 2004). Används impregnerat virke ska bearbetning efter impregneringen undvikas då det kan blotta oskyddade delar av träet. Dessa delar löper då stor risk för angrepp om inte ytterligare behandling sker efter det att de har blottats. (Domone, Illston, 2010)

Trä kan även behandlas med värmebehandling. Då värms träet upp till cirka 180-240°C i 10-40 h i en syrefri miljö. Detta gör att träets kemi ändras vilket medför ett förbättrat skydd mot rötsvampar. (Burström, 2007). En nackdel är dock att hållfastheten sjunker (Skogsindustrierna, 2004).

3.1.1.4 Inspektion av träkonstruktioner

Viktigt vid inspektioner är att veta vilka vanliga skador som kan förekomma. Några av dessa är överdriven nedböjning, sprickbildning och olika skador av biologiska angrepp. De kan uppkomma av ovan nämnda angrepp, kollision eller överlast.

Vissa skador är relativt enkla att upptäcka med blotta ögat (Vinayagamoorthy, 2000). Det kan vara överdriven nedböjning, fel vid anslutningar, sprickor samt skador av svamp och insekter. Hittas något fel visuellt ska omfattningen av skadan undersökas och dokumenteras. Vissa skador kan vara svåra att upptäcka med ögat, då används fysiska inspektioner. Exempel på fysiska metoder är mätning med fuktmätare och provborrning i träet.

3.1.1.5 Underhåll på träkonstruktioner för en lång livslängd

Då en lång livslängd önskas är ett regelbundet underhåll nödvändigt. Konstruktionen bör underhållas med rengöring, röjning, målning och inoljning (Pousette, Fjellström, 2004). Den ska rengöras från löv, växtlighet och annat som kan binda fukt. Finns det växtlighet i närheten av träkonstruktionen ska detta röjas bort då växter inte får stå i kontakt med bron.

För konstruktioner med målade ytor ska ytorna bättringsmålas eller målas om vid behov (Pousette, Fjellström, 2004). Hur ofta det behöver göras beror på brotyp, färgtyp, klimat, med mera. Vid målning är det viktigt att se till att underlaget ger tillräckligt god vidhäftning, det vill säga att inga lösa flagor och sprickor ska förekomma. Före om- eller förbättringsmålning av konstruktionen bör den rengöras för att avlägsna smuts och föroreningar.

3.1.1.6 Trä ur miljö-, återanvändning- och återvinningssynpunkt

Trä är ett bra material ur miljösynpunkt på grund av att det är ett naturligt och förnyelsebart material (Svenskt trä, 2013). En fördel är att trä binder koldioxid tills det energiåtervinns, det kan binda ungefär sin egen vikt. Ytterligare en fördel är den låga energiåtgången när träprodukter tillverkas. Då träet är förbrukat kan det alltid energiåtervinnas, ofta kan en större energimängd utvinnas än vad som gick åt vid framställningen.

3.1.2 Stål som konstruktionsmaterial

Stål är en legering som huvudsakligen består av järn samt en liten andel kol och andra grundämnen (Åstedt, 2013). Tekniken att bygga i stål sträcker sig inte lika långt bakåt i tiden som träs historia. Den första stora järnkonstruktionen, Iron Bridge i England, stod klar under andra halvan av 1700-talet. Massproduktion av stål dröjde ytterligare ett århundrade, då bessemerprocessens framtåg och utvecklingen av valsningstekniken effektiviserade produktionen av byggnadselement i stål.

Stål är starkt både i drag och i tryck med hög hållfasthet i relation till egenvikten (Sehlå, 2013). Stålets egenskaper beror på innehållet av tillsatta ämnen och föroreningar. För att få önskade egenskaper tillsätts olika ämnen, vanligast är kol, kisel och mangan, se Tabell 1. Föroreningar är oönskade ämnen som inte lyckats avlägsnas från råmaterialet eller tillkommer oavsiktligt under tillverkningen och förändrar stålets egenskaper.

Kol	Ökande kolhalt ger ökad hållfasthet på bekostnad av stålets seghet och svetsbarhet
Kisel	Förhindrar att olikheter i sammansättningen uppkommer i olika delar av stålet
Mangan	Ger ökad hållfasthet utan att försämra svetsbarheten

Tabell 1: Tabellen visar vanliga legeringsämnena i stål och hur de påverkar stålets egenskaper

3.1.2.1 Tillverkning av byggnadselement i stål

Stålproduktion är en energikrävande process och därmed också kostsam (Stålbyggnadsinstitutet, 2013). Balkar och pelare tillverkas i fabrik efter beställarens krav på stålqualité och profil, de förbereds också för eventuell sammanfogning med andra element. Beroende på om stålet varmvalsas, kallbearbetas eller svetsas får elementet olika egenskaper. För att underlätta för

beställaren finns standardiserade profiler med olika stålqualité och egenskaper samlade i tabellverk. Större konstruktioner kräver dock ofta specialtillverkade element¹.

Transport till byggarbetsplats blir i många fall avgörande för stålelementens storlek då restriktioner finns på maximal vikt som får framföras på svenska vägar².

3.1.2.2 Beständighet för stål

Beständigheten för ett material innebär hur motståndskraftigt det är mot angrepp som bryter ned eller förändrar materialets egenskaper (Burström, 2007). De två processer som påverkar stålets egenskaper är korrosion och brand.

Korrosion är en elektrokemisk process som angriper metaller och resulterar i ett minskat ståltvärsnitt och därmed minskad bärförmåga (Domone, 2010). Stål som exponeras för syre och fukt börjar rosta om inte rätt åtgärder utförs. Processen går snabbare i fuktiga miljöer och vid kontakt med salter och andra föroreningar som binder fukt (Burström, 2007).

Stål är inte ett brännbart material, men en brand kan ändå leda till förödande konsekvenser. Redan vid omkring 400°C har stålet förlorat stora delar av sin hållfasthet (Burström, 2007). Nedböjningar och rörelser är stora vid en temperaturökning och kan påverka intilliggande konstruktionsdelar.

3.1.2.3 Förebyggande åtgärder för att förlänga stålets livslängd

Det är svårt att förhindra stål att korrodera, det handlar istället om att göra processen så långsam som möjligt (Burström, 2007). Flera metoder finns att tillgå för att skydda en stålkonstruktion, viktigast är det konstruktiva stålskyddet (Domone, 2010). Konstruktioner bör utformas så att vatten lätt rinner av och torkar snabbt, extra viktig är utformningen vid springor och andra konstruktionsdetaljer där vatten lätt samlas. Dock är alla ytor utsatta även om konstruktionen är rätt utformad. Därför bör konstruktioner skyddas med ett täckande skikt eller katodiskt skydd (Burström, 2007). Ett täckande skikt kan innebära rostskyddsmålning eller förzinkning som skyddar stålytan från kontakt med syre och fukt. Katodiskt skydd går ut på att en oädlare metall fästs på konstruktionens yta (så kallad offeranod), den oädlare metallen kommer korrodera och på så vis skydda konstruktionen från rostangrepp.

Som skydd mot brand är det vanligt att måla konstruktionen med brandskyddsfärg (Burström, 2007). Vid brand expanderar färgen och ger stålet ett värmeisolerande skydd.

3.1.2.4 Inspektioner av stålkonstruktioner

Viktigt vid inspektioner är att veta vilka vanliga skador som kan förekomma. Några av dessa är överdriven nedböjning, sprickbildning, buckling och korrosion. De kan uppkomma av ovan nämnda angrepp, kollision eller överlast.

Vissa skador är relativt enkla att upptäcka med blotta ögat (Vinayagamoorthy, 2000). Det kan vara överdriven nedböjning, buckling, fel vid anslutningar, sprickor samt korrosion. Om korrosion upptäcks är det viktigt att det åtgärdas och dokumenteras för att förhindra att konstruktionen påverkas. Sprickor uppstår oftast vid upplag eller vid korrosion och växer sedan. En viss sorts spricka

¹ Joosef Leppänen, Senior lecturer Chalmers. Handledning (2013-01-30)

² Joosef Leppänen, Senior lecturer Chalmers. Handledning (2013-01-30)

är utmattningssprickor, de uppstår genom att lasterna varierar. Det är viktigt att de identifieras då de kan leda till plötsliga brott.

En del skador kan vara svåra att upptäcka med ögat, då används fysiska inspektioner (Vinayagamoorthy, 2000). De utförs exempelvis med hjälp av ultraljud, färgmedel, datortomografi och akustiska tester för att identifiera sprickor och inre defekter.

3.1.2.5 Underhåll på stålkonstruktioner för en lång livslängd

Hur mycket underhåll en stålkonstruktion behöver beror till stor del på klimatet. Fuktiga miljöer, smutsiga ytor och förorenad luft ökar behovet av underhåll (Reuterswärd, 2010). Vanliga åtgärder för att förhindra korrosionsangrepp är tvättning, konstruktionsförbättringar och ommålning.

Tvättning är en enkel åtgärd som avlägsnar klorider och andra korrosiva ämnen.

Stänk- och regnskydd, dropplistor och avrinningsrännor är exempel på konstruktionsförbättringar för att skydda stålet från vatten.

Ommålning kan göras på hela konstruktionen, på utsatta detaljer eller för utseendets skull. Det är ett omfattande arbete att måla om hela konstruktionen eftersom all tidigare färg behöver avlägsnas. Undersidan på flänsar är speciellt utsatta och kan behöva målas om relativt ofta.

3.1.2.6 Stålkonstruktioner ur miljö-, återanvändning- och återvinningssynpunkt

Framställning av stål är en energikrävande process med stora utsläpp av föroreningar, framförallt koldioxid (Jernkontoret, 2013a). Samtidigt har stålet lång livslängd, ger inga emissioner under bruksstadiet och kan återvinnas utan att förlora sina egenskaper (Jernkontoret, 2013b). Det är möjligt att återanvända stålkonstruktioner på grund av att stålets egenskaper vanligtvis inte förloras under bruksskedet (Domone, 2010).

3.1.3 Armerad betong som konstruktionsmaterial

Betong är i dagsläget ett av våra viktigaste byggnadsmaterial då det har god beständighet, formbarhet och hållfasthet (Burström, 2007). Varje år produceras två ton betong per person världen över (Domone, 2010).

Betong har hög hållfasthet i tryck men är desto sämre i drag. Till exempel är för en betong i hållfasthetsklass C25/30 tryckhållfastheten 25 MPa medan draghållfastheten endast uppgår till 2,6 MPa (Al-Emrani et al., 2011). För att kompensera för den låga draghållfastheten kompletteras den dragna zonen i betongen med armeringsstål, vilket medför att hållfastheten ökar markant. För broar med långa spann kan problem med sprickvidder uppstå, då kan spännarmerade balkar användas för att minska sprickvidderna.

3.1.3.1 Tillverkning av betong

Vid tillverkning av betong blandas vatten, cement och ballast (sand, sten, grus) till en homogen massa som genom hydratation stelnar och bildar hård betong. I dagens betong används ofta olika tillsatsmedel för att förbättra betongens egenskaper, se Tabell 2 (Burström, 2007).

Acceleratorer	Snabbare härdningsprocess
Retardatorer	Långsammare härdningsprocess
Luftporbildare	Ökar andelen små porer i betongen, vilket gör betongen mer resistent mot frost
Flyttillsats	Gör betongen mer lättarbetad

Tabell 2: Tabellen visar fyra vanliga tillsatser i betong samt hur de påverkar betongens egenskaper. Notera att flyttillsatsen används för att förbättra den ohärdade betongen.

Betongen blandas så att den uppfyller beställarens krav och önskemål om bland annat hållfasthet, beständighet och arbetbarhet (Burström, 2007). Den gjuts sedan antingen i fabrik eller på arbetsplatsen.

Framställning av cement och stenbrytning är energikrävande processer, men den färdiga betongen har många goda egenskaper såsom god hållfasthet, bra beständighet och relativt billigt. (Burström, 2007).

3.1.3.2 Beständighet för armerad betong

Beständigheten för ett material innebär hur motståndskraftigt det är mot angrepp som bryter ned eller förändrar materialets egenskaper (Burström, 2007). De nedbrytande processerna på betong kan delas in i två huvudgrupper (Domone, 2010), fysikaliska angrepp och kemiska processer. Dessutom kan armeringsstålet utsättas för elektrokemiska angrepp.

Fysikaliska angrepp innefattar frostsprängning, saltsprängning och brand (Domone, 2010).

Frostsprängning innebär att expanderande is i betongen ger upphov till spänningar som orsakar sprickor eller spränger loss täcksiktet. Risken för frostsprängning i kallt klimat är stor, om inte rätt betong väljs. Saltsprängning innebär på liknande sätt att salt spränger betongen inifrån.

Betong är obrännbart och relativt brandtåligt, dessutom skyddas eventuell armeringen av betongtäcksiktet (Burström, 2007). Det medför att armerade betongkonstruktioner behåller en stor del av sin bärförmåga i bränder.

De kemiska angreppen innebär att salter eller syror (CO_2 , SO_2) bryter ner cementen (Fagerlund, 2011a).

Ofta är risken för korrosion det avgörande för beständigheten på en armerad betongkonstruktion (Domone, 2010). Opåverkad betong har ett pH-värde runt 12,5 som skyddar armeringen från att korrodera (Fagerlund, 2011b). Men med tiden gör karbonatisering och kloridinträngning att skyddet försvinner och möjliggör för stålet att korrodera. Förutom att armeringstvärsnittet minskar så kan rosten spränga loss betongtäcksiktet.

3.1.3.3 Förebyggande åtgärder för att förlänga betongens livslängd

Vid förebyggande insatser är val av betong en av de viktigaste sakerna att tänka på (Brockenbrough, 2009). Ett lägre vattencementtal (vct) innebär att en högre andel cement relativt vattenmängden används, det har flera fördelar för beständigheten. En högre andel cement innebär högre pH-värde och därmed skyddas armeringen från korrosion under längre tid. Det är av väldigt stor vikt i och med

att broar förväntas ha en lång livslängd. Dessutom får betongen lägre permeabilitet som både skyddar mot frostsprängning och försvårar inträngningen av koldioxid och salter. Ett lägre vct ger även högre hållfasthet som kan bidra till färre sprickor där koldioxid och salter kan tränga in. Nackdelen med ett lågt vct är att arbetbarheten, som är den fräska betongens viktigaste egenskap, blir dålig (Burström, 2007).

En annan enkel och viktig åtgärd är att välja tillräckligt tjock täcksikt (Brockenbrough, 2009). Det medför att armeringsstålet skyddas från korrosion under längre tid.

Det finns det flera tillsatser som kan användas för att förbättra beständigheten på betong. Till exempel kan luftporbildare användas för att öka frostbeständigheten och flyttillsatsmedel som gör det möjligt att använda ett lägre vct med fortsatt bra arbetarhet (Burström, 2007). Galvanisering ökar livslängden på stålet men bör inte användas som det enda skyddet för armeringen (Brockenbrough, 2009).

3.1.3.4 Inspektioner av betongkonstruktioner

Vid inspektion är det viktigt att veta vilka vanliga skador som förekommer. Några av dessa skador är sprickbildning, spjälkning, armeringskorrosion och nötning (Vinayagamoorthy, 2000). De kan uppkomma genom kollisioner, överlast, frostsprängning och armeringskorrosion. Armeringskorrosion är alltså både en skada och kan ge upphov till andra skador.

Vissa skador kan upptäckas med blotta ögat såsom sprickbildning och rostfläckar (Vinayagamoorthy, 2000). Sprickbildning i betong upptäcks oftast genom visuella inspektioner, men det är rekommenderat att noggrannare undersökningar utförs. Rostfläckar innebär dels att armeringen rostar, men även att det finns risk att rosten spränger loss täcksiktet. Det finns även mer avancerade metoder för att undersöka om armering i betong korroderar.

Alla typer av sprickor är inte lika allvarliga (Vinayagamoorthy, 2000). Hur "farlig" en spricka är beror på olika faktorer, främst var sprickan uppstår och vad som är orsaken till sprickans uppkomst. Sprickor som uppkommer på grund av varierande last behöver tas om hand direkt då de medför en risk för utmattningsbrott. Det är viktigt att sprickbildning dokumenteras väl. En enkel metod som kan användas för att upptäcka sprickor och håligheter i betongen är att slå på ytan med en hammare och lyssna på responsen. För att undersöka betongens egenskaper noggrannare kan ett borrhov tas och undersökas i laboratorium.

Spännarmerade brokonstruktioner har strängare bedömningskriterier än slakarmerade vad gäller sprickor och kräver därför noggrannare inspektioner och kontroller.

3.1.3.5 Underhåll av armerade betongkonstruktioner för att få en lång livslängd

För betongbroar görs ett årligt förebyggande underhåll i form av rengöring av konstruktionsdelar som är utsatta av vägsalt till exempel kantbalkar, pelare, frontmurar, lagerpallar, med mera³. Impregnering av samma delar bör utföras vart 15-20 år. I det förebyggande underhållet kan även utbyte av täcksikt ingå vilket i så fall utförs med cirka 30 års intervall. Vanligtvis byts dock tätsikt efter konstaterade skador på konstruktionen. Kantbalksbyte utförs ungefär var 50:e år.

³ Tomas Sundström, Broingenjör Vectura. Mailkontakt (2013-03-07)

3.1.3.6 Miljö, återanvändning och återvinning

Framställning av betong är energikrävande och leder till stora utsläpp av koldioxid, framförallt då cementklinker produceras (Lagerblad, 2009).

Betong är starkt basiskt och därför bör överbliven färsk betong hanteras på ett bra sätt för att inte skada miljön (Domone, 2010).

När en armerad betongkonstruktion rivs finns det bra metoder för att återvinna materialet, dock är det energikrävande att riva betongkonstruktioner (Domone, 2010). Betongen krossas och kan användas som fyllnadsmassor eller i vissa fall som ballast i ny betong.

3.2 Grundläggningsmetoder för broar

Det grundläggningsutförande som väljs ska på bästa sätt ge bro och anslutande vägbankar en säker funktion (Vägverket, 1996). Vid utvärdering av olika grundläggningsalternativ och grundläggningsnivåer beaktas en mängd olika parametrar. Hänsyn tas till markens bärförmåga, stabilitet och sättningsbenägenhet. Vidare kontrolleras det tjälsäkra djupet, grundvattenytans nivå samt förväntade nivåer på eventuellt närliggande fria vattenytor. De yttre parametrar som påverkar grundläggningsutförande är val av brotyp, tillfartsbankerna och deras grundläggning samt om arbetet kommer utföras i närheten av befintliga konstruktioner.

Nedan följer en övergripande beskrivning av de vanligast förekommande brogrundläggningsmetoderna som kan tänkas bli aktuella beroende på vilka förutsättningar som råder på platsen. Ibland kan det vara lämpligt eller rentav nödvändigt att variera grundläggningen inom samma stöd (Vägverket, 1996).

3.2.1 Grundläggning med platta på jord

Vid grundläggning med platta på jord beror grundläggningsdjupet av krav på bärförmåga, sättningar, med mera (Vägverket, 1996). Hur grundläggningen av plattan utförs och på vilket djup den läggs beror på vilken typ av jordlager marken är uppbyggd av.

Består jorden av material som kan utsättas för tjäle är det viktigt att underkanten på plattan ligger på tjälsäkert djup (Vägverket, 1996). Rör det sig emellertid om en platta som utsätts för små laster kan den istället isoleras och därmed läggas på ett mindre djup. Vid grundläggning med en platta på jord där bärigheten eller fastheten är låg, såsom kohesion - eller lös friktionsjord kan jordförbättringar utföras. Det kan antingen utföras genom att packa ett 0,3 m tjockt lager av fyllningsmaterial eller genom att packa den underliggande jorden.

3.2.2 Grundläggning med platta på packad fyllning

Platta på packad fyllning är lämplig att använda om de översta jordlagren har dålig bärighet medan de undre lagren har bättre (Vägverket, 1996). Principen är densamma som platta på jord men i detta fall grävs de övre lagren med sämre bärighet bort och ersätts med fyllningsmaterial som packas. Denna grundläggningsmetod är ekonomiskt bra att använda om lagren med sämre bärighet ligger relativt ytligt. Packad grus - eller sprängstensfyllning används vanligtvis som ersättningsmaterial. Arbetet utförs vanligtvis i torrhet men det kan även göras i vatten. Vid utförande i vatten måste material och packningsmetod väljas så att packningen blir stabil och fullgod.

3.2.3 Grundläggning med platta på berg

Finns det ytligt berg eller på ett måttligt djup kan platta på berg användas (Vägverket, 1996). Vid denna grundläggningsmetod grundläggs en platta på ett plansprängt eller ett plant berg. För lutande berg kan sprängningen ske i så kallade "trappstegsavsatser". Detta görs för att minska sprängarbetena och utnyttja bergets form på ett bättre sätt. På grund av att bergets bärförmåga är hög kan betongplattan oftast göras relativt liten.

Vid denna grundläggningsmetod är det viktigt att ta hjälp av en sakkunnig person för att ta reda på eventuella sprickzoner och lerslag i berget (Lerslag, 2013). Lerslag kan förekomma i berg och är en zon i berget med grusig eller lerig konsistens som medför försämrade bäregenskaper.

3.2.4 Grundläggning med platta på pålar

Pålning är bra att använda om jordarna på platsen har dålig bärighet och fast jord eller berg ligger djupt, dock är det relativt kostsamt (Vägverket, 1996). De två verkningssätten för pålar är mantelbärande och spetsbärande. Vanligtvis sker pålning med betongpålar, men stål kan vara fördelaktigt i blockiga jordar.

Bottenplattan gjuts sedan och stöttas av pålarna. Då pålning används rör det sig ofta om tjälfarliga jordar, bottenplattans underkant måste i sådana fall läggas på tjälsäkert djup. (Vägverket, 1996)

3.2.4.1 Spetsbärande pålar

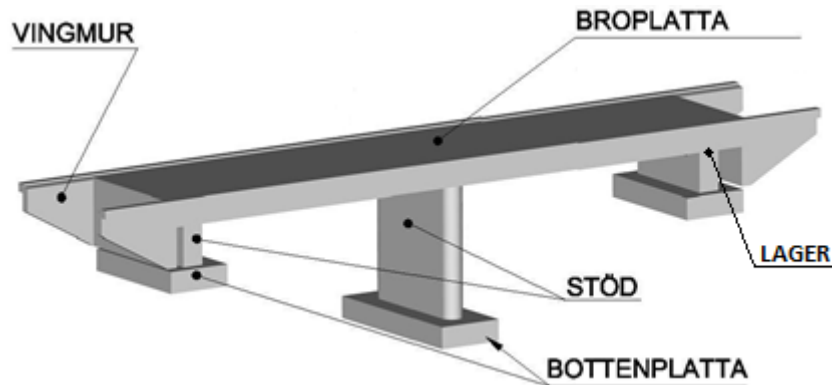
Principen för spetsbärande pålar är att lasten överförs till fast jord eller berg genom pålspetsen. (Pålkommissionen, 2007). Pålen slås ner till fast jord eller berg, metoden är därför bra att använda om djupet till fast jord eller berg inte är stort. Friktion och kohesion mellan pålen och jorden kan öka bärförmågan men försummas i beräkningar.

3.2.4.2 Mantelbärande pålar

Principen för mantelbärande pålar är att lasten överförs till jorden kring pålarna med hjälp av friktion eller kohesion (Pålkommissionen, 2007). I siltiga eller leriga jordar överförs lasten med hjälp av kohesion. I friktionsjordar är kohesionen liten, lasterna överförs istället genom friktion mellan påle och jord. Dessutom har pålar i friktionsjord viss spetsbärande förmåga. Mantelbärande pålar är lämpliga om det är långt till berg.

3.3 Stöd, lager och vingmurar för broar

Stöd, lager och vingmurar är tre grundläggande delar för broar. Stöden står på bottenplattorna och håller uppe bron, lagerna tar hand om brons horisontella rörelser och vingmurarna håller tillbaka jordmassor vid ändstöden, se Figur 6 (Vägverket, 1996).



Figur 6: Bilden visar överskådligt placering av vingmurar, stöd och bottenplattor. Mellan broplatta och stöd placeras lager (Modifierad bild från Trafikverket, 2010).

Ändstöden, som även kallas landfästen, ska förutom att föra ner brons vertikala laster till grunden även hålla emot jordtrycket från anslutande bank (Vägverket, 1996). Om konstruktionen utformas med en brobana som är fast inspänd i stöden ska stöden även ta upp de horisontella krafter och moment som uppstår (Johnson, 2002). Vid långa broar kan ett eller flera mittstöd användas för att korta ner spannen och fördela lasterna över fler stöd (Vägverket, 1996).

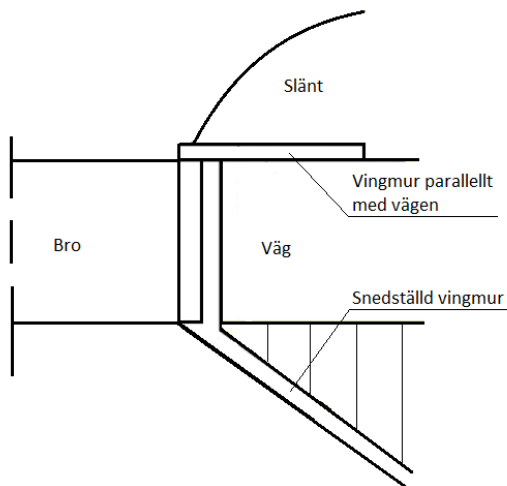
I de flesta fall behövs det lager mellan broplatta och stöd (Vägverket, 1996), se Figur 7. Lagernas uppgift är att möjliggöra små horisontella rörelser som uppkommer på grund av trafik, temperatur och vind. De ska även föra över brons vertikala krafter till stöden. Beroende på brolängd, klimatförhållanden, brotyp och vikt används olika typer av lager. Det finns flera typer av lager, de kan grovt delas in i rörliga och fasta.

Två typer av rörliga lager är ensidiga och allsidigt rörliga lager. De allsidigt rörliga lagerna tillåter inte bara rörelser i brons längsriktning utan även i tvärriktningen. Det går inte enbart att ha rörliga lager, utan bron måste vara låst i konstruktionen så bron inte glider ur position vid sidolaster (Banverket, 2007).



Figur 7: Bilden visar ett rulllager, ett ensidigt rörligt lager, som möjliggör rörelser i brons längsriktning (Ellgaard, 2010).

Vingmurar konstrueras för att material från bankerna inte ska erodera bort utan ligga på plats (Vägverket, 1996). En underdimensionerad vingmur kan orsaka erosionsproblem, vilket kan medföra kostsamma ombyggnationer i framtiden. Vingmurar kan antingen göras parallella med broplattan eller något snedställda, se Figur 8. En snedställd vingmur kan hålla emot större jordmassor, därmed kan brons spännvidd kortas.



Figur 8: Bilden visar en vingmur parallellt med vägen och en snedställd vingmur.

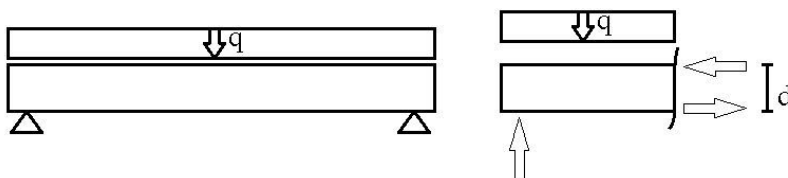
3.4 Verkanssätt och brotyper

Broar kan delas in i olika verkanssätt utifrån om de bär med balkverkan, fackverkan, bågverkan eller hängverkan⁴. Inom verkanssätten kan de sedan delas in i brotyper utifrån konstruktionsutformning, till exempel balkbroar och plattbroar som båda bär med balkverkan. Brotyper inom samma verkanssätt bär nödvändigtvis inte laster på samma sätt, den gemensamma faktorn är principen för hur de bär laster.

Vid framtagandet av ett väl fungerande brokoncept är det viktigt att förstå hur olika brotyper fungerar och under vilka förutsättningar de kan vara fördelaktiga. Nedan beskrivs de grundläggande verkanssätten för broar med under dessa rubriker redogörs sedan för olika brotyper som tillämpar verkanssätten.

3.4.1 Broar som genom balkverkan

En balk eller platta på stöd som belastas med vertikal last bär med balkverkan⁵. Lasten böjer balken så att övre sidan blir tryckt och undre sidan blir dragen, se Figur 9. I stöden uppstår bara vertikala reaktionskrafter.



Figur 9: Den vänstra bilden visar en balk belastad med utbredd last. Den högra bilden visar den snittade balken, horisontell jämvikt uppstår genom att undersidan blir dragen och översidan blir tryckt. I stödet uppstår en vertikal reaktionskraft (Mario Plos, 2013).

⁴ Mario Plos, Associate Professor, Head of Structural Engineering. Föreläsning (2013-02-04)

3.4.1.1 Balkbro

Balkbroar är en vanlig brotyp, balkarna läggs på stöden och överbrygger hindret, se Figur 10. Balkarna bär sin egenvikt och all last på brobanan⁵. De kan byggas i ett eller flera spann, som fritt upplagda eller kontinuerliga balkar. Spännvidden varierar mycket beroende på utförande och material (Vägverket, 1996). I och med att en fritt upplagd balk med vertikal last inte ger upphov till horisontella reaktionskrafter i stöden kan grundläggningen göras relativt enkelt.



Figur 10: Bild på en lådbalkbro i stål i Partihallsförnildelsen. Lådbalken bär brobanan och för lasten till stöden (Luen, 2011).

Spännarmerade betongbalkbroar är konkurrenskraftiga för spann mellan 25 och 35 m (Duan, 2000) med en konstruktionshöjd på 4-7 % av spännvidden (Vägverket, 1996). Spännarmerade lådtvärsnitt i betong möjliggör spännvidder uppemot 200 m, av underhållsskäl bör den fria höjden inuti lådbalken vara 1,2 m för korta broar och 1,8 m för broar som är längre än 45 m.

Stålbroar med I-tvärsnitt är lämpliga för spann upp till 60 m (Saleh, 2000) och har en konstruktionshöjd på 3,5-6 % av spännvidden (Vägverket, 1996). Lådtvärsnitt kan användas för längre spann, den fria höjden inuti lådan bör vara 1,2 m för korta broar och 1,8 m för långa broar av underhållsskäl. Vanligtvis byggs stålbroar med en samverkande betongbrobana där brobanan fungerar som tryckt fläns.⁵ En samverkansbro innebär att olika material bär last tillsammans. För en stålbalkbro innebär det vanligtvis att stålbulvar svetsas fast på balkarnas ovansida så att betongplattan kan gjutast fast. När konstruktionen belastas förs krafterna över mellan stålet och betongen. Om en betongplatta läggs på stålbalkar utan att gjutast fast blir det ingen samverkan och stålet behöver bära all last, även betongens vikt.

Limträbalkar kan användas för spann uppemot 45 m (Fridley, 2000).

Balkbroar kan utföras på många olika sätt och kan därför vara mer eller mindre estetiskt tilltalande.

3.4.1.2 Plattbro

Plattbroar är en vanlig och relativt enkel brotyp. Plattan läggs över stöden och överbrygger hindret, den ska bära sin egenvikt och all last på bron. Plattbroar kan byggas i ett eller flera spann. Med spännarmerad betong uppnås spännvidder på ungefär 15 till 30 m (Vägverket, 1996) Konstruktionshöjd är strax över 4 % av spännvidden.

⁵ Mario Plos, Associate Professor, Head of Structural Engineering. Föreläsning (2013-02-04)

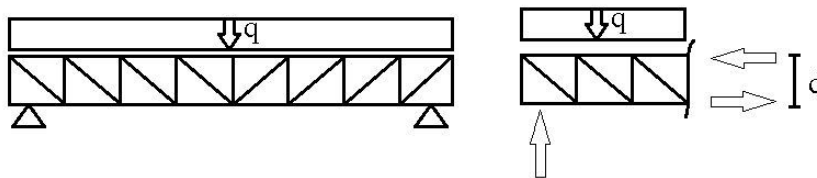
3.4.1.3 Rambro

Rambro är en variant av plattbro där plattan är fastgjuten i stöden, på så sätt bildas en ram. Rambro i spännarmerad betong är den vanligaste brotypen i Sverige (Vägverket, 1996), och klarar spännvidder upp till 50 m med en konstruktionshöjd mellan 3,5-5 % av spännvidden. För långa spann konkurreras de dock ofta ut av balkbroar (Vägverket, 1996). Ur estetisk synvinkel är rambroar relativt intetsägande bland andra broar.

3.4.2 Broar som bär genom fackverkan

Ett fackverk hålls samman av stänger som blir tryckta och dragna då konstruktionen belastas. Utformningen kan se ut på många olika sätt, till exempel som bågar eller balkar.

En fackverksbalk kan ses som en avskalad balk, där ovansidan och undersidan hålls samman med hjälp av stänger. Ett fackverk på stöd belastat med vertikal last bär med fackverkan⁶. I likhet med balkverkan böjs fackverket så att ovansidan blir tryckt och undersidan blir dragen, se Figur 11. Lasterna förs till stöden genom tryckta och dragna stänger. I stöden uppstår endast vertikala reaktionskrafter.



Figur 11: Den vänstra bilden visar en fackverksbro belastad med en utbredd last. Den högra bilden visar det snittade fackverket. De vertikala och sneda stängerna blir tryckta och dragna, i överkant blir fackverksbalken tryckt (jämför vanlig balk) och i underkant blir den dragen.

3.4.2.1 Fackverksbro

Fackverksbrons verkanssätt med tryckta och dragna stänger gör stål till ett lämpligt material, se Figur 12. På grund av mycket svetsarbeten vid produktion och stort underhållsbehov är fackverksbroar relativt ovanliga idag (Vägverket, 1996). Med bågutformning kan de byggas i långa spann på flera hundra meter. I och med att delar av konstruktionen blir dragen är lämpliga material trä eller stål. Broarna kan göras mer eller mindre estetiskt tilltalande.

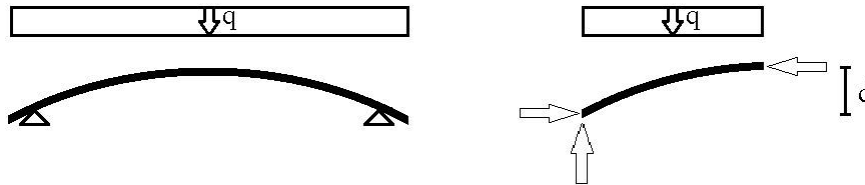


Figur 12: Bild på Forth Bridge i Skottland, en fackverksbro från 1800-talet. Fackverket bär brobanan med tryckta och dragna stänger och för lasten till stöden (Gastin, 2013).

⁶ Mario Plos, Associate Professor, Head of Structural Engineering. Föreläsning (2013-02-04)

3.4.3 Broar som fungerar med bågverkan

Bågbron är en effektivisering av valvbron, överflödigt material har skalats av så att endast en slank båge återstår⁷. En båge belastad med vertikal last bär med bågverkan. Bågen blir tryckt vinkelrätt tvärsnittet utan att drag uppstår, se Figur 13. I stöden uppstår vertikala och horisontella reaktionskrafter.



Figur 13: Den vänstra bilden visar en bågverkansbro belastad med en utbredd last. Den högra bilden visar den snittade bågen, bågen blir tryckt vinkelrätt tvärsnittet och i stödet uppstår en horisontell reaktionskraft för att skapa jämvikt (Mario Plos, 2013).

3.4.3.1 Bågbro

För bågbroar är det bågen som håller uppe brobanan och bär lasten. Brobanan byggs på längsgående balkar, som hålls uppe av bågen med hjälp av pelare eller linor⁸. De kan byggas i Limträ för spann upp till ungefär 60 m, om stål eller betong används kan spann på uppemot 300 m nås (Fox, 2000).

Konstruktionen kan utföras i olika varianter. Om vägbanan placeras under bågen lyfts lasten upp till bågen med kablar. Om vägbanan placeras över bågen utsätts pelare för tryck som för ner lasten till bågen. Ytterligare ett alternativ är en kombination av de båda ovan nämnda, där vägbanan delvis går över och delvis går under bågen, se Figur 14. I och med att konstruktionen ger upphov till horisontella krafter vid stödet krävs det bra grundförhållanden. Bågbroar är ofta eleganta och tilltalande.

⁷ Mario Plos, Associate Professor, Head of Structural Engineering. Föreläsning (2013-02-04)

⁸ Mario Plos, Associate Professor, Head of Structural Engineering. Föreläsning (2013-02-04)

3.4.3.2 Langerbalkbro

Langerbalkbron är en variant av bågbro. Skillnaden är att istället för att marken tar upp den horisontella reaktionskraften i stödet så är bågen infäst i brobanan⁹, se Figur 14. Det kan liknas vid en pilbåge, där linan motverkar att bågen rätas ut. I och med att brobanan tar upp den horisontella kraften uppstår bara vertikala reaktionskrafter i stöden. Det förenklar grundläggningen avsevärt vid dåliga markförhållanden.



Figur 14: Bild på Hoan Bridge, en langerbalkbro i stål. Bågen är delvis underliggande och delvis överliggande. Pilarna visar var bågen är infäst i vägbanan, infästningen medför att de horisontella krafterna i stöden blir relativt små.

3.4.4 Broar som bär genom hängverkan

En lina mellan två stöd belastad med vertikal last bär med linverkan¹⁰. Linan blir dragen och för lasten till stöden där vertikala och horisontella reaktionskrafter uppstår, se Figur 15. Verkansättet kan jämföras med bågverkan, men drag uppstår vinkelrätt tvärsnittet istället för att tryck. Vanligtvis tas de horisontella reaktionskrafterna i stöden upp av mothållande linor.



Figur 15: Den vänstra bilden visar en lina belastad med en utbredd last. Den högra bilden visar den snittade linan, linan blir dragen vinkelrätt tvärsnittet och i stödet uppstår en horisontell reaktionskraft för att skapa jämvikt.

3.4.4.1 Hängbro

Hängbroar består av pyloner (stora pelare), längsgående linor som hängs över pylonerna och förankras i marken på båda sidor, brobana samt vertikala linor som fästs i brobanan och de längsgående linorna, se Figur 16¹¹. Linorna lyfter upp lasten och för den vertikala lasten till pylonerna och den horisontella lasten till linornas förankring i marken. Pylonerna utsätts därför för stora tryckkrafter, och förankringen i marken utsätts för stora dragkrafter. Hängbroar är lämpliga för spann på några hundra meter eller längre (Vägverket, 1996). Brobanan kan göras i stål eller betong, i och med att pylonerna blir tryckta och bär stora laster är betong ofta lämpligt. Det uppstår stora horisontella reaktionskrafter i förankringspunkterna, därför krävs det bra grundläggning och bra markförhållanden. De är mäktiga att titta på och estetiskt tilltalande.

⁹ Mario Plos, Associate Professor, Head of Structural Engineering. Föreläsning (2013-02-04)

¹⁰ Mario Plos, Associate Professor, Head of Structural Engineering. Föreläsning (2013-02-04)

¹¹ Mario Plos, Associate Professor, Head of Structural Engineering. Föreläsning (2013-02-04)



Figur 16: Bild på Golden gate bridge, en hängbro i stål från 1937. Vertikala linor lyfter upp brolasten till längsgående linor. De längsgående linorna hålls uppe av pyloner och förankras i betongfundament på båda sidor om bron (Niewiroski Jr, 2007).

3.4.4.2 Snedkabelbro

Snedkabelbroar består av pyloner, brobana samt sneda kablar som fästs i brobanan och pylonerna, se Figur 17. Linorna håller uppe brobanan och för lasten till pylonerna, som bär hela den vertikala lasten. Linorna blir dragna och pylonerna tryckta. Konstruktionen är vanlig för spännvidder över 100 m (Vägverket, 2000) men kan även vara ett alternativ för kortare spännvidder. Beroende på brons spännvidder kan trä, betong och stål användas till brobana och pyloner.



Figur 17: Bild på Megyeri bridge, en snedkabelbro. Sneda kablar är fästa i vägbanan och för lasten till pylonerna (Civertan, 2010).

Brobanan hängs upp på de sneda stålkablarna som är direkt anslutna till pylonerna. Pylonerna kan arrangeras i olika formationer, se Figur 18, belastningen på pyloner och brobana varierar för de olika alternativen. Snedkabelbroar kan liksom hängbroar göras vackra och mäktiga.



Figur 18: Bild över stålakablarnas olika formationer på pylonerna. Olika formationer ger olika reaktioner i konstruktionen.

3.5 Produktionsmetoder för broar

Vilken produktionsmetod som är mest lämplig beror på platsens förutsättningar, vilken brotyp som ska byggas samt materialet (Vägverket, 1996). I vissa fall kan platsen begränsa möjliga produktionsmetoder och därmed begränsa valet av brotyp och material. Nedan beskrivs några av de vanliga metoder som ofta tillämpas på mindre broar. Utförandesätt tas upp samt i vilka fall de kan anses vara fördelaktiga att använda.

3.5.1 Produktionsmetoder för stålbroar

För stålbroar är byggnationen den mest riskfyllda perioden under livscykeln vilket leder till att det krävs extra noggrann planering just för denna fas (Durkee, 2000). Stålbroar kommer i antingen som prefabricerade element, som sammanfogas på arbetsplatsen, eller som färdiga brosektioner. Om bron fraktas till byggsplatsen som färdiga sektioner krävs inte lika mycket svets- och bultarbeten på arbetsplatsen. Två produktionsmetoder som används är att lyfta balkar och sektioner på plats med kranar eller genom lansering.

3.5.1.1 Kranlyftning av stålbroar

Vid korta spann är kranlyftning en effektiv produktionsmetod som snabbt får de olika delarna på plats, eventuella svets- och bultarbeten utförs för att foga samman balkar och sektioner (Durkee, 2000). Beroende på elementens vikt så kan mobila eller fasta kranar användas. Mobila kranar är smidiga men klarar inte lika stora vikter som de fasta kranarna.

3.5.1.2 Lansering av stålbroar

På grund av broars tunga vikt är lansering en lämplig metod vid uppförande av broar med långa spännvidder eller många spann. Principen för lansering är att de bärande brosektionerna skjuts ut från ena landfästet mot nästkommande brostöd (Durkee, 2000). Allteftersom sektioner färdigställs och lanseras ut sammanfogas nya sektioner till dessa, brolängden byggs på så vis på, tills bron når det andra landfästet. Det är viktigt att sektionerna fogas samman i en kontrollerad miljö, därför reses en provisorisk "fabrik" bakom landfästet där arbetet kan ske skyddat från väder och vind. I och med att det mesta av arbetet sker i den provisoriska fabriken kan arbetet utföras snabbt och med relativt liten påverkan på omgivning¹².

En svaghet med lansering är att balkarna utsätts för stora laster som skiljer sig från lasterna på den färdiga bron¹³. Därför är det viktigt vid dimensioneringen av bron att kontrollera de momentpåkänningar som uppstår vid lansering (Durkee, 2000). För att minska lastpåkänningar monteras ofta en lanseringsnos längst fram på bron, se Figur 19. Den är lättare än de övriga

¹² Mohammad Al-Emrani, Associate Professor. Föreläsning (2013-02-12)

¹³ Mohammad Al-Emrani, Associate Professor. Föreläsning (2013-02-12)

sektionerna och har funktionen att så snart som möjligt ge bron en upplagspunkt på nästkommande stöd, som då börjar medverka i lastupptagningen av bronns egen tyngd.



Figur 19: Bilden visar en pågående lansering av en stålbro över ett vattendrag i Motala. Närmast i bilden kan en röd lanseringsnos ses, den är utformad för att väga lite och snabbt ge bron en upplagspunkt på nästkommande stöd.

3.5.2 Produktionsmetoder för betongbroar

Betongbroar kan antingen byggas med platsgjuten betong eller med prefabricerade element. Den stora skillnaden är att vid platsgjutning gjuts betongen på arbetsplatsen, medan prefabricerade element gjuts i fabrik och fraktas sedan till arbetsplatsen.

3.5.2.1 Platsgjutning av betongbroar.

Platsgjutning ger stor frihet att forma brokonstruktionen efter önskemål och fungerar bra för både stora och små konstruktioner. Metoden är dock begränsad av en rad faktorer som var och en kan göra att den inte lämpar sig väl.

Vid en platsgjutning med ställning uppförs ställningar under bron som bär gjutformen, se Figur 20. Ställningen för lasterna från gjutformen och den icke härdade betongen ner till marken (International Federation for Structural Concrete (FIB), 2000). Så snart betongen härdat tillräckligt för att kunna bära sin egenvikt kan formen rivas och ställningen demonteras. Stora krav ställs på marken där ställningen ska uppföras. Marken måste kunna bära de laster som förs ner via ställningen utan att sättningar eller skred uppstår. Vid vattendrag finns det risk för dålig mark, det komplicerar utformning och uppförande av ställningen.



Figur 20: Figuren visar ett brobygge över ett litet vattendrag. Gjutformen hålls uppe av ställningen, ställningens uppgift är att bära formen och betongen tills betongen har härdat (Frico, 2013).

Metoden kräver goda transportmöjligheter för att frakta betong till platsen, eftersom härdningen inte får börja innan betongen har gjutits (FIB, 2000). För mindre broar sker gjutningen ofta i en enda etapp, medan det för längre broar kan vara mer fördelaktigt att utföra gjutningen i flera etapper. På så vis minskas mängden betong som används vid ett och samma tillfälle.

Platsgjutning är tidskrävande då ställning och gjutform ska uppföras, armering placeras och gjutning genomförs (FIB, 2000). Betongen måste härda tills den kan bära sin egenvikt innan formen kan rivas och ställningen demonteras. Hela förfarandet tar lång tid och är inte alltid acceptabelt i ett projekt.

3.5.2.2 Prefabricerade betongelement till betongbroar

Att prefabricera betongelement innebär att elementen gjuts och härdat i fabrik under kontrollerade förhållanden (Burström, 2007). Att betongen gjuts under kontrollerade förhållanden medför att risken för defekter på de färdiga elementen minskar. Fabriksgjutning är en effektiv process som sparar både tid och pengar eftersom betongen inte behöver härda på plats.

Två metoder som används för att få betongelementen på plats är lansering och kranlyftning. Vid båda metoderna utsätts elementen för stora laster som skiljer sig från lasterna på den färdiga bron¹⁴. Därför är det viktigt att redan vid dimensioneringen planera produktionsmetod för att kunna utforma elementen för de olika lastfallen.

Transport av prefabricerad betong begränsas inte i första hand av längden på elementen utan av vikten, max 50 ton på svenska vägar¹⁵.

Vid brobyggnation är det inte så vanligt i Sverige idag att använda prefabricerade betongelement¹⁶.

3.5.2.3 Spännarmerade betongbroar

Spännarmerad betong innebär att armeringsstålet spänns, det medför en extra tryckkraft i betongen¹⁷. Detta minskar dragpåfrestningarna i betongen under användandet. I och med detta kan sprickbildningen förhindras eller begränsas så att betongens styvhet ökar och nedböjningar minskar. Spännarmerade betongbroar kan därför användas för längre spann än slakarmerade. Ytterligare en fördel med färre och mindre sprickor är att betongens beständighet ökar.

Två metoder som används för att spänna armeringen är förespänning och efterspänning¹⁸. Vid förespänning spänns stålet före betongen gjuts, metoden används vanligtvis för prefabricerade element. Vid efterspänning spänns stålet när betongen har härdat, metoden används vanligtvis vid platsgjutning.

3.5.3 Produktionsmetoder för träbroar

Vid byggnation av träbroar fraktas färdiga konstruktionselement till arbetsplatsen (Fridley, 2000). På grund av träets lätta egenvikt kan de enkelt lyftas på plats med lyftkranar för att sedan sammanfogas. Elementen levereras med färdiga hål och rätta längder för att på platsen undvika att kapa och borra. Två fördelar med detta är att arbetet med sammanfogning underlättas samt att

¹⁴ Mohammad Al-Emrani, Associate Professor. Föreläsning (2013-02-12)

¹⁵ Hans Norlin, Strängbetong. Mailkontakt (2013-02-08)

¹⁶ Björn Engström, Professor. Föreläsning (2013-02-08)

¹⁷ Björn Engström, Professor. Föreläsning (2013-02-08)

¹⁸ Björn Engström, Professor. Föreläsning (2013-02-08)

skyddet som gavs träet i fabriken bevaras. Trä kräver inga specialverktyg och kan uppföras under alla väderförhållanden, vilket leder till att byggtid och kostnader minskar.

Vid små spann kan, på grund av den låga vikten, hela bron komma prefabricerad i en del och lyftas på plats (Fridley, 2000).

3.6 Inspektioner och underhåll av broar

Det är viktigt att broar underhålls och inspektioner sker regelbundet så att skador och fel undviks eller upptäcks i tidigt skede då det är lätt att åtgärda. Inspektioner är nödvändiga för att bedöma underhållsbehovet och med rätt underhåll sparas både tid och pengar. Därför finns det regler och rekommendationer för hur ofta och hur en brokonstruktion ska inspekteras och underhållas.

3.6.1 Inspektioner av broar

Inspektioner görs för att bedöma vilket underhåll en bro behöver. När skador upptäcks dokumenteras de och klassificeras i fyra tillståndsklasser utifrån det funktionella tillståndet och hur stort behovet av åtgärd är¹⁹, se Tabell 3. Vilket tillstånd en skada bedöms vara i beror på olika faktorer såsom den funktion som förväntas av konstruktionsdelen, ställda funktionskrav, aktuella mätvärden och hur snabbt skadan antas förvärras (Trafikverket, 2013a).

TK0	Skada som kan åtgärdas bortom 10 år
TK1	Skada som ska åtgärdas inom 10 år
TK2	Skada som ska åtgärdas inom 3 år
TK3	Skada som måste åtgärdas snarast. "Bristfällig konstruktion vid inspektionstillfället".

Tabell 3: Tabellen visar de fyra tillståndsklasser som skador klassificeras i vid inspektioner, samt när skadan ska åtgärdas.

3.6.1.1 Huvudinspektion

Huvudinspektionen är den mest omfattande granskningen och ska genomföras minst vart 6:e år²⁰. Inspektionen ska utföras på "handnära avstånd" för alla konstruktionens delar, vilket innebär att det krävs en "underbrolift" för många broar, se Figur 21. Krav som ska uppfyllas berör alla brons delar, till exempel finns krav på maximal växlighet på anslutande slänter, deformation på vägräcken och sprickbredd (Vägverket, 2002).

¹⁹Tomas Sundström, Broingenjör Vectura. Mailkontakt (2013-03-07)

²⁰Tomas Sundström, Broingenjör Vectura. Mailkontakt (2013-03-07)



Figur 21: Bild på en inspektion med en "underbrolift", bron som inspekteras är en lådbalkbro i betong (Sundström, 2013).

Innan en huvudinspektion genomförs ska konstruktionens delar rengöras så att skador lättare kan upptäckas. Vanligtvis bedöms skador okulärt för att senare kontrolleras och analyseras noggrannare med olika metoder, lämpliga metoder beror på vilken skada och material som ska undersökas²¹.

3.6.1.2 Särskild inspektion

Om huvudinspektionen föranleder att det behövs en noggrannare inspektion av någon konstruktionsdel utförs en särskild inspektion (Trafikverket, 2013b). Inspektionen kan ske med hjälpmedel såsom ultraljud, verktyg och elektrisk utrustning beroende på skada och material.

3.6.1.3 Allmän inspektion

Den allmänna inspektion genomförs sällan, men när den genomförs brukar den delas upp i tre delar²².

Den första delen innebär att undersöka de skador som upptäcktes vid senaste huvudinspektionen, men som inte har åtgärdats än. Detta görs för att hålla skadorna under uppsikt utifall att de förvärras fortare än förväntat (Trafikverket, 2013c). Är så fallet kan eventuellt åtgärder behöva vidtas tidigare än väntat för att konstruktionens funktion inte ska påverkas.

Andra delen rör nya skador och angrepp som uppstått sedan senaste huvudinspektionen (Trafikverket, 2013c). De skador som upptäcks här hade i annat fall inte uppmärksamats förrän vid nästa huvudinspektion, vilket då hade kunnat medföra större kostnader för åtgärder eller att konstruktionens egenskaper och funktion påverkats negativt.

Tredje delen handlar om underhållet av konstruktionen. Inspektionen görs för att säkerställa att konstruktionen underhålls som det är planerat och att underhållet är tillräckligt (Trafikverket, 2013c). Otillräckligt underhåll kan leda till att oväntade skador uppstår.

3.6.2 Underhåll av brokonstruktionen och brodetaljer

Syftet med underhåll av broar är att bibehålla säkerheten för trafikanter samt ge konstruktionen lång livslängd, till så låga kostnader och liten miljöpåverkan som möjligt (Trafikverket, 2012c). Det kan

²¹ Tomas Sundström, Broingenjör Vectura. Mailkontakt (2013-03-07)

²² Fredrik Olsson, Förvaltningsledare underhåll byggnadsverk Trafikverket. Mailkontakt (2013-03-28)

uppnås med förebyggande underhåll av konstruktionen och brodetaljer. Med förebyggande underhåll kan skador undvikas i större grad, därmed ökar säkerheten för trafikanter och oväntade reparationskostnader minskar.

Underhåll av broar kan delas in i allmänt underhåll och tillståndsstyrt underhåll.

Allmänt underhåll innefattar bland annat att årligen spola broräcken, brons dräneringssystem, kantbalkar och andra brodetaljer²³. Det görs för att avlägsna vägsalt och andra föroreningar som kan skynda på nedbrytningen av konstruktionen, speciellt känsliga är konstruktionsdelar av stål som lätt kan korrodera.

Tillståndsstyrt underhåll görs om inspektionerna visar att konstruktionen är i behov av underhåll. Det innefattar flera moment, till exempel utbyte av kantbalkar, impregnering av betongkonstruktioner, utbyte av betongtäcksikt och målning av stålkonstruktioner (Trafikverket, 2012c). Tillståndsstyrt underhåll innefattar också reparation av skador, alternativt åtgärder som sätts in där risk för skada föreligger (Trafikverket, 2012c). Det handlar till exempel om konstruktionsförstärkningar för att hindra sprickutbredning eller utbyte av skadade vägräcken.

Vid allt underhåll är det viktigt att utföra det så att miljön påverkas så lite som möjligt (Trafikverket, 2012c). Det görs genom att ha kunskap om miljö, inspektioner, skador och underhåll samt kunskap om de arbetsmetoder och medel som används.

3.7 Ekonomi

Det finns många faktorer som påverkar livscykelkostnaden för en bro. Kostnaderna för broar varierar beroende på material, grundläggning, brotyp och utformning, produktionsmetod samt förvaltning.

Det är viktigt att förstå att det inte bara är byggnationskostnaderna som ska tas i beaktande vid planering av en ny bro. Förvaltningskostnaderna blir ofta stora då broar utformas för en lång livslängd. Detta gör att det som till en början verkar vara ett billigt broalternativ, i slutändan kan bli dyrt och underhållskrävande. På motsvarande sätt kan en välplanerad och påkostad brobyggnation bli ekonomisk i längden. Det är dock svårt att uppskatta kostnader för underhåll då många parametrar spelar in (Ryall, M.J., 2010)

För att göra livscykelkostnaden så låg som möjligt är det alltså flera aspekter som måste tas i beaktande.

Att välja en enkel brotyp och utformning bidrar ofta till att kostnader för material, grundläggning och byggnation hålls nere.

²³ Fredrik Olsson, Förvaltningsledare underhåll byggnadsverk Trafikverket. Mailkontakt (2013-03-28)

Att välja material med hänsyn till kostnader för byggnation och förvaltning är också viktigt. Schablonkostnader för de betong, stål och limträ kan ses i Tabell 4, kostnaderna inkluderar inköp och byggnation. Kostnader för inspektioner och underhåll inkluderas inte, därför bör inte material enbart väljas utifrån byggnationskostnader, utan även med hänsyn till beständighet i platsens miljö.

Betong inklusive form och gjutning	2 500 kr/m ³
Armering, bockad och inlagd	15 000 kr/ton
Svetsade stålbalkar, inklusive ytbehandling mm	60 000kr/ton
Limträbalkar	8 500 kr/m ³

Tabell 4: Tabellen visar schablonskostnader för olika byggnadsmaterial, kostnaderna inkluderar inköp och byggnation²⁴.

En annan viktig parameter är byggtiden. Genom att använda prefabricerade element kan byggtiden hållas nere och därmed också kostnaderna. Dock ökar materialkostnaderna.

Förutom livscykelkostnaden kan även hänsyn tas till de samhällsekonomiska kostnaderna. Sådana kostnader är kostnader som inte hamnar på beställaren utan på samhället. En bro som ofta stängs av för inspektioner och underhåll är ett bra exempel på en sådan kostnad, då det ofta leder till köer och förlorad tid för trafikanterna. Med genomtänk och effektivt förvaltningsarbete kan de kostnaderna hållas nere.

²⁴ Staffan Lindén, Gruppchef COWI (2013-02-19)

4. Urvalsprocess och val av brokoncept

Kapitlet beskriver urvalsprocessen, som syftar till att vara ett underlag för att kunna välja ett väl fungerande brokoncept. Kortfattat består urvalsprocessen av en första bortsällning, bestämning av viktningsskriterier, beskrivning av återstående broar samt en viktning. Viktningen är ett hjälpmedel som ger överblick och bra underlag för att göra ett motiverat val.

4.1 Brokoncept som väljs bort före viktningen

För att i resterande urvalsprocess endast beakta de brokoncept som är relevanta för platsen görs ett första urval. Nedan följer en kort genomgång av de brokoncept som väljs bort samt en motivering till varför de inte är lämpliga.

Balkbro av limträ: väljs bort då spännvidden på 46 meter troligtvis hade medfört för stor konstruktionshöjd.

Plattbro: väljs bort eftersom spannet på 46 m är för långt.

Rambro: väljs bort eftersom balkbron är ett bättre alternativ vid en spännvidd på 46 m.

Fackverksbro: väljs bort då det är ett mycket omfattande underhållsarbete som erfordras för att bibehålla en god funktion.

Hängbro: väljs bort då hängbroar främst byggs för spann på flera hundra meter.

4.2 Viktningskriterier för beslutsmatris

För att kunna göra en viktning mellan de återstående brokoncepten behöver ett antal kriterier ställas upp. Kriterierna väljs för att omfatta relevanta delar vid en brobyggnation och på så sätt möjliggöra en rättvis viktning. I kapitlet beskrivs valda kriterier.

4.2.1 Estetik

Estetik belyser hur bron upplevs rent visuellt. Som nämnts i syftet är estetiken viktig vid val av brokoncept, det medför att kriteriet värderas högt.

Utseende: Detta kriterium bedömer förutsättningarna för hur estetiskt tilltalande, ur beaktarens synpunkt, ett visst brokoncept kan utformas. Ett mer estetiskt tilltalande brokoncept värderas högre.

Okonventionell design: Detta kriterium bedömer hur nyskapande, ur beaktarens synpunkt, ett visst brokoncept är. Ett mer nyskapande brokoncept värderas högre.

4.2.2 Genomförbarhet

Genomförbarhet belyser hur omfattande och tekniskt avancerat ett visst brokoncept kan förväntas vara vid projektering och byggnation. Produktionsmetod och grundläggning anses begränsa val av brokoncept mer än de övriga kriterierna och väger därför tyngre.

Produktionsmetod: Detta kriterium bedömer arbetsinsatsen och svårigheter vid brons uppförande, hänsyn tas till platsens förutsättningar för lansering, kranlyftning, platsgjutning, sammanfogning med mera. En mindre arbetsinsats och mindre svårigheter på arbetsplatsen värderas högre.

Byggnationstid: Detta kriterium bedömer hur lång byggnationstid som förväntas för ett visst brokoncept. Valet av byggnationsmetod spelar således också roll i detta kriterium. En kortare byggnationstid värderas högre.

Teknisk utmaning: Detta kriterium bedömer hur arbetsinsatsen och svårigheterna vid dimensionering och planering av ett visst brokoncept. Mindre arbetsinsatser och mindre svårigheter värderas högre.

Grundläggning: Detta kriterium bedömer hur komplicerad grundläggningen blir för ett visst brokoncept, med de förutsättningar som råder på platsen. Mindre komplicerad grundläggning värderas högre.

4.2.3 Miljö och förvaltning

Miljö och förvaltning belyser miljöpåverkan och förvaltningsinsatser under brokonceptets tekniska livslängd. I och med att lång livslängd eftersträvas sätts höga krav på materialets beständighet och förvaltning, därför väger det kriteriet tyngre.

Miljöpåverkan av material: Detta kriterium bedömer miljöpåverkan vid tillverkning, transport, demontering och återvinning för ett visst brokoncept. Brokoncept med låg påverkan värderas högre.

Beständighet, inspektioner och underhåll: Detta kriterium bedömer arbetsinsats och miljöpåverkan vid inspektioner och underhåll för att nå den tekniska livslängden, för ett visst brokoncept. Mindre arbetsinsats och mindre miljöpåverkan värderas högre. Kriteriet tar även hänsyn till de risker som uppkommer vid inspektions- och underhållsarbeten, dock inte risker på grund av trafiken. Generellt innebär mer inspektioner och underhåll större arbetsinsatser, miljöpåverkan och risker.

4.2.4 Ekonomi

Ekonomi belyser livscykelkostnad för ett visst brokoncept, det innefattar kostnader vid projektering, inköp och byggnation, förvaltning och demontering. Ekonomi har underordnad betydelse i det aktuella valet av brokoncept.

Livscykelkostnad: Detta kriterium bedömer livscykelkostnad för ett visst brokoncept. Låg livscykelkostnad värderas högre.

4.2.5 Utelämnade viktningskriterier

För vissa kriterier ska alla broar uppfylla en bestämd standard eller sätta krav. Dessa kriterier utelämnas då de inte bidrar till att särskilja brokoncepten vid viktningen. Dessutom finns kriterier som inte önskas få en avgörande roll vid viktningen och därav utelämnas.

Trafiksäkerhet är det viktigaste kriteriet vid val av bro, men tas inte med i viktningen då samtliga brokoncept ska hålla samma höga standard.

Brodetaljer, såsom kantbalk, räcken, lager och dräneringssystem utelämnas då de inte önskas få en avgörande roll vid viktningen.

4.3 Beskrivning av kvarvarande brokoncept utifrån viktningskriterier

I detta kapitel tas sju brokoncept fram, de beskrivs utifrån de definierade viktningskriterierna samt med en skiss över förslaget. Dessa brokoncept kommer viktas.

4.3.1 Spännarmerad betongbalkbro med lådtvärsnitt

Nedan följer en kort beskrivning av Brokoncept 1 med principiell skiss, se Figur 22, och beskrivning utifrån kriterierna.



Figur 22: Skiss från sidan på Brokoncept 1, en spännarmerad betongbalkbro med lådtvärsnitt.

Utseende: Lådbroar i betong kan designas så att de får tilltalande utformning, men på grund av platsens förutsättningar kommer en kort bro inte synas så mycket i landskapet, varken för trafikanter eller allmänhet. Att bron inte syns så mycket kan även upplevas som att den smälter in bra i omgivningen.

Okonventionell design: Betongbalkbroar är mycket vanliga i Sverige och platsens förutsättningar gör det svårt att designa en bro som sticker ut.

Produktionsmetod: Det bästa alternativet är att platsgjuta, då transport av stora betongelement kompliceras av viktbegränsningen på 50 ton. När betongen har härdat efterspanns konstruktionen. Att platsgjuta innebär dock en stor arbetsinsats som försvåras av Ätran.

Byggnationstid: Det är en tidskrävande bro att bygga, då ställningar och gjutform krävs samt tid för betongen att härda.

Teknisk utmaning: En betongbalkbro med 46 meters spann kräver spännarmerad betong, det innebär mer komplicerad dimensionering än för en slakarmerad konstruktion. Lådtvärsnitt är något mer komplicerat än vanliga balkar.

Grundläggning: Bron ger bara vertikala reaktionskrafter i stöden, men på grund av betongens höga egenvikt krävs bra grundläggning både för ställningar och landfästen.

Miljöpåverkan av material: Under tillverkningen av betong frigörs stora mängder koldioxid vilket ger negativ effekt på miljön. När bron sedan har nått sin tekniska livslängd är den svår att demontera men det mesta av materialet kan ändå återvinnas och användas som till exempel fyllnadsmaterial.

Beständighet, inspektioner och underhåll: Betong har bra beständighet och kräver relativt lite underhåll. Förutom de högre kraven vad gäller sprickor krävs inga speciella inspektioner.

Livscykelkostnad: Betong är ett billigt material men i bron behövs det också mycket armering, som är dyrt. Kostnaderna ökar även på grund av att platsgjutning är tidskrävande.

4.3.2 Samverkansbro med I-tvärsnitt

Nedan följer en kort beskrivning av Brokoncept 2 med principiell skiss, se Figur 23, och beskrivning utifrån kriterierna.



Figur 23: Skiss från sidan på Brokoncept 2, samverkansbro med I-tvärsnitt. Längsgående balkar i stål och brobana i betong.

Utseende: Samverkansbroar med stål balkar kan lätt upplevas lite tråkiga, speciellt om stålets ytskikt börjar bli slitet. Platsens förutsättningar gör att en kort bro inte kommer synas så mycket i landskapet, varken för trafikanter eller allmänhet. Att bron inte syns så mycket kan även upplevas som att den smälter in bra i omgivningen.

Okonventionell design: Samverkansbroar är relativt vanliga i Sverige och platsens förutsättningar gör det svårt att designa en bro som sticker ut.

Produktionsmetod: En lämplig och enkel produktionsmetod för bron är lansering. Balkarna lanseras med förmonterad gjutform så att betongplattan snabbt och enkelt kan gjutas.

Byggnationstid: Lansering av stål balkar går relativt snabbt. Genom att lansera balkarna med förmonterad gjutform kan betongarbetena skyndas på och arbetstiden hållas nere. Stål balkarna kan dock inte transporteras till platsen i ett stycke utan måste svetsas ihop på plats.

Teknisk utmaning: Både stål balkar och betongplatta är relativt enkelt att räkna med, det som komplicerar dimensioneringen är samverkan mellan platta och balkar, tvärbalkar för att stabilisera bron och svetsberäkningar. I det stora hela bedöms den tekniska utmaningen ligga på en relativt enkel nivå.

Grundläggning: Bron ger endast upphov till vertikala reaktionskrafter i stöden och egenvikten kan hållas låg med slanka stål balkar, grundläggningen blir därför relativt enkel.

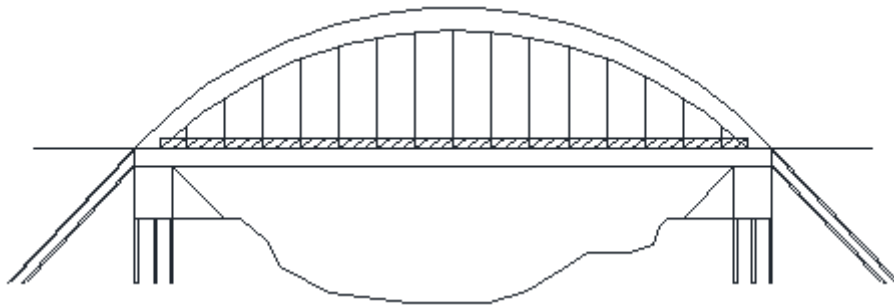
Miljöpåverkan av material: Framställningen av stål och betong är energikrävande och ger stora utsläpp av koldioxid. Vid nedmontering kan stålet återanvändas eller smältas om, betongen kan krossas till fyllnadsmaterial.

Beständighet, inspektioner och underhåll: Stål korroderar lätt i fuktiga och förorenade miljöer, därför krävs mycket inspektioner och underhåll. Ommålning av stålet försvåras av att bron går över Ätran då flagor av den gamla färgen inte får förorena naturen.

Livscykelkostnad: Stål är dyrt och är kostsamt att underhålla, men byggkostnaderna hålls nere genom effektiv byggnation.

4.3.3 Bågbro i trä

Nedan följer en kort beskrivning av Brokoncept 3 med principiell skiss, se Figur 24, och beskrivning utifrån kriterierna.



Figur 24: Skiss från sidan på Brokoncept 3, en bågbro i trä med längs- och tvärgående balkar i stål och brobana i betong. Då även horisontella krafter fås i ändstöden krävs både vertikala och sneda pålar som kan ses i skissen.

Utseende: Bågbroar är ofta spektakulära och tilltalande att se, dessutom förstärks känslan av att bågen är i trä. Bron sticker upp ur landskapet och kan ses på långt håll. Risk finns dock att bågarna behöver kraftiga dimensioner och att bron därmed upplevs klumpig.

Okonventionell design: Bågbroar, framförallt i trä, är ovanliga i Sverige. Bron kommer därför dra uppmärksamhet till sig och har potential att bli ett kännetecken för Ulricehamn.

Produktionsmetod: Trä är ett lätt byggnadsmaterial vilket förenklar byggnationen. Innan bågarna lyfts på plats lanseras stålbalkarna med förmonterad gjutform. Bågarna kan enkelt delas upp i moduler för att sedan lyftas på plats med hjälp av kranar. Slutligen gjuts brobanan.

Byggnationstid: Denna konstruktion kräver bra grundläggning vilket medför en längre byggnationstid. Lansering och placering av bågarna går relativt snabbt, genom att lansera balkarna med förmonterad gjutform kan betongarbetena skyndas på och arbetstiden hållas nere. Stålbalkarna kan dock inte transporteras till platsen i ett stycke utan måste svetsas ihop på plats.

Teknisk utmaning: Det är en tekniskt avancerad konstruktion, då dimensioneringen består av flera moment: dimensionering av träbåge, infästningar, brobana, tvärbalkar med mera.

Grundläggning: Bågbroar ställer höga krav på grundläggningen på grund av horisontella och vertikala reaktionskrafter i stöden. Om inte konstruktionen kan grundläggas på berg behöver omfattande pålningsarbeten utföras. Trä är ett lätt byggnadsmaterial vilket leder till att brons egenvikt kan hållas låg och därmed underlätta grundläggningen.

Miljöpåverkan av material: Trä är ett bra material ur miljösynpunkt. Framställningen är relativt miljövänlig och när bron ska demonteras kan träet energiåtervinnas. I och med att bågen bär lasten kan balkar och brobana ha mindre dimensioner.

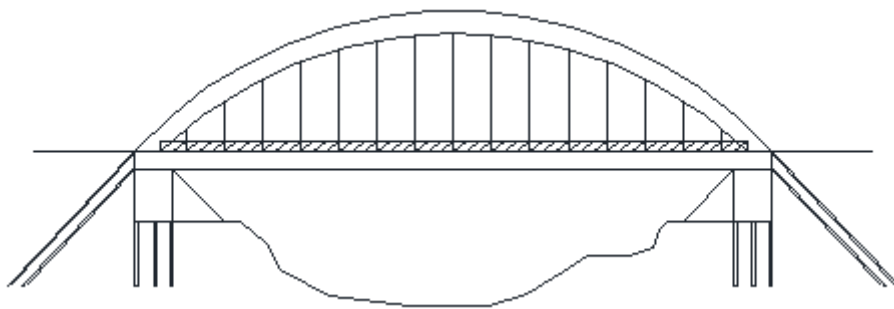
Beständighet, inspektioner och underhåll: Trä är känsligt mot biologiska angrepp och måste därför skyddas mot fukt. Konstruktionen kommer bestå av tre olika material vilket medför flera olika typer av inspektioner och underhåll. Infästningarna mellan hängare och balkar är viktiga att inspektera och underhålla. Ommålning av stålet försvåras av att bron går över Ätran då flagor av den gamla färgen inte får förorena naturen. På grund av att bågen är hög medförs extra risker för dem som arbetar

med inspektions- och underhållsarbeten. Med konstruktivt träskydd kan underhållsbehovet hållas nere.

Livscykelkostnad: Trä är ett billigt byggnadsmaterial men har relativt kostsamt underhåll. Komplicerad grundläggning medför att byggnadskostnaderna ökar.

4.3.4 Bågbro i stål

Nedan följer en kort beskrivning av Brokoncept 4 med principiell skiss, se Figur 25, och beskrivning utifrån kriterierna.



Figur 25: Skiss från sidan på Brokoncept 4, en bågbro i stål med längs- och tvärgående balkar i stål och brobana i betong. Då även horisontella krafter fås i ändstöden krävs både vertikala och sneda pälarsystem som kan ses i skissen.

Utseende: Bågbroar är ofta spektakulära och tilltalande att se, dessutom kan bågarna få en slank utformning som ger ett elegant intryck. Genom att måla stålbågen kan utseendet få ytterligare en dimension, dessutom sticker bron upp ur landskapet och kan ses på långt håll.

Okonventionell design Bågbroar är ovanliga i Sverige och drar därför uppmärksamhet till sig. Genom att tänka nyskapande vid utformningen av bågen har konceptet potential att bli ett kännetecken för Ulricehamn.

Produktionsmetod: Lansering och placering av bågarna går relativt snabbt, genom att lansera balkarna med förmonterad gjutform kan betongarbetena skyndas på och arbetstiden hållas nere. Stålbalkarna kan dock inte transporteras till platsen i ett stycke utan måste svetsas ihop på plats.

Byggnationstid: Denna konstruktion kräver bra grundläggning vilket medför en längre byggnationstid. Lansering och placering av bågarna går relativt snabbt, genom att lansera balkarna med förmonterad gjutform kan betongarbetena skyndas på och arbetstiden hållas nere. Stålbalkarna kan dock inte transporteras till platsen i ett stycke utan måste svetsas ihop på plats.

Teknisk utmaning: Det är en tekniskt avancerad konstruktion, då dimensioneringen består av flera moment: dimensionering av stålbåge, infästningar, brobana, tvärbalkar med mera.

Grundläggning: Bågbroar ställer höga krav på grundläggningen på grund av horisontella och vertikala reaktionskrafter i stöden. Om inte konstruktionen kan grundläggas på berg behöver omfattande pålningsarbeten utföras.

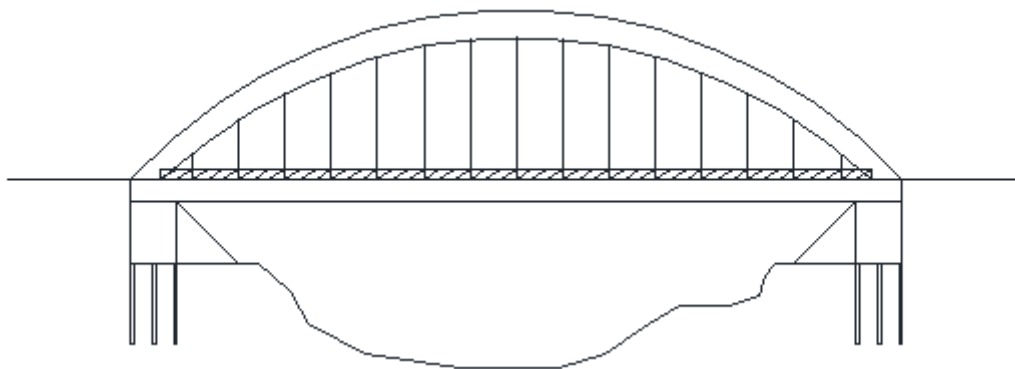
Miljöpåverkan av material: Framställningen av stål och betong är energikrävande och ger stora utsläpp av koldioxid. Vid nedmontering kan stålet återanvändas eller smältas om, betongen kan krossas till fyllnadsmaterial.

Beständighet, inspektioner och underhåll: Stål korroderar lätt i fuktiga och förorenade miljöer, därför krävs mycket inspektioner och underhåll. Infästningarna mellan hängare och balkar är viktiga att inspektera och underhålla. Ommålning av stålet försvåras av att bron går över Ätran då flagor av den gamla färgen inte får förorena naturen. På grund av att bågen är hög medförs extra risker för dem som arbetar med inspektions- och underhållsarbeten.

Livscykelkostnad: Stål är dyrt och är kostsamt att underhålla och komplicerad grundläggning medför att byggnadskostnaderna ökar.

4.3.5 Langerbalkbro i trä

Nedan följer en kort beskrivning av Brokoncept 5 med principiell skiss, se Figur 26, och beskrivning utifrån kriterierna.



Figur 26: Skiss från sidan på Brokoncept 5, langerbalkbro i trä med längs- och tvärgående balkar i stål och brobana i betong.

Utseende: Bågbroar är ofta spektakulära och tilltalande att se, dessutom förstärks känslan av att bågen är i trä. Bron sticker upp ur landskapet och kan ses på långt håll. Risk finns dock att bågarna behöver kraftiga dimensioner och att bron därmed upplevs klumpig.

Okonventionell design: Bågbroar, framförallt i trä, är ovanliga i Sverige. Bron kommer därför dra uppmärksamhet till sig och har potential att bli ett kännetecken för Ulricehamn.

Produktionsmetod: Trä är ett lätt byggnadsmaterial vilket förenklar byggnationen. Innan bågarna lyfts på plats lanseras stålbalkarna, med förmonterad gjutform, så att bågarna kan fästas i de längsgående balkarna. Bågarna kan enkelt delas upp i moduler för att sedan lyftas på plats med hjälp av kranar. Slutligen gjuts brobanan.

Byggnationstid: Lansering och placering av bågarna går relativt snabbt, genom att lansera balkarna med förmonterad gjutform kan betongarbetena skyndas på och arbetstiden hållas nere. Stålbalkarna kan dock inte transporteras till platsen i ett stycke utan måste svetsas ihop på plats. Mycket infästningsarbete tillkommer då både bågarna och hängarna ska fästas i de längsgående balkarna.

Teknisk utmaning: Det är en tekniskt avancerad konstruktion, då dimensioneringen består av flera moment: dimensionering av träbåge, infästningar, brobana, längsgående balkar med mera.

Grundläggning: Trä är ett lätt byggnadsmaterial vilket leder till att bronns egenvikt kan hållas låg och därmed underlätta grundläggningen. Bågarna är infästa i de längsgående balkarna, vilket medför att balkarna tar upp de horisontella krafterna. Därför ger bron endast upphov till vertikala reaktionskrafter i stöden, varvid grundläggningen blir relativt enkel.

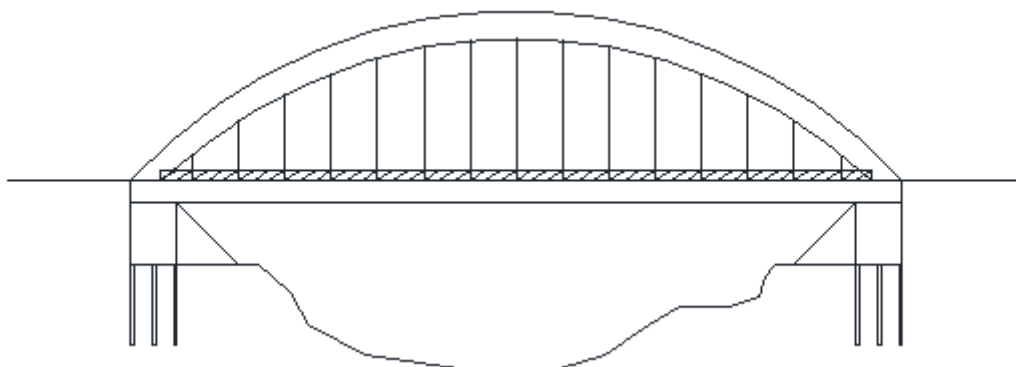
Miljöpåverkan av material: Trä är ett bra material ur miljösynpunkt. Framställningen är relativt miljövänlig och när bron ska demonteras kan träet energiåtervinnas. I och med att bågen bär lasten kan balkar och brobana ha mindre dimensioner.

Beständighet, inspektioner och underhåll: Trä är känsligt mot biologiska angrepp och måste därför skyddas mot fukt. Konstruktionen kommer bestå av tre olika material vilket medför flera olika typer av inspektioner och underhåll. Alla infästningar, men speciellt de mellan båge och längsgående balkar, är viktiga att inspektera och underhålla. Ommålning av stålet försvåras av att bron går över Ätran då flagor av den gamla färgen inte får förorena naturen. På grund av att bågen är hög medförs extra risker för dem som arbetar med inspektions- och underhållsarbeten. Med konstruktivt träskydd kan underhållsbehovet hållas nere.

Livscykelkostnad: Trä är ett billigt byggnadsmaterial och byggkostnaderna hålls nere genom effektiv byggnation men underhållet är relativt kostsamt.

4.3.6 Langerbalksbro i stål

Nedan följer en kort beskrivning av Brokoncept 6 med principiell skiss, se Figur 27, och beskrivning utifrån kriterierna.



Figur 27: Skiss från sidan på Brokoncept 6, langerbalksbro i stål med längs- och tvärgående balkar i stål och brobana i betong.

Utseende: Bågbroar är ofta spektakulära och tilltalande att se, dessutom kan bågarna få en slank utformning som ger ett elegant intryck. Genom att måla stål原因 kan utseendet få ytterligare en dimension, dessutom sticker bron upp ur landskapet och kan ses på långt håll.

Okonventionell design: Bågbroar är ovanliga i Sverige och drar därför uppmärksamhet till sig. Genom att tänka nyskapande vid utformningen av bågen har konceptet potential att bli ett kännetecken för Ulricehamn.

Produktionsmetod: Innan stål原因 lyfts på plats lanseras stål原因 så att bågarna kan fästas i de längsgående balkarna. Bågarna kan enkelt delas upp i moduler för att sedan lyftas på plats med hjälp av kranar. Slutligen gjuts brobanan.

Byggnationstid: Lansering och placering av bågarna går relativt snabbt, genom att lansera balkarna med förmonterad gjutform kan betongarbetena skyndas på och arbetstiden hållas nere. Stålbalkarna kan dock inte transporteras till platsen i ett stycke utan måste svetsas ihop på plats. Mycket infästningsarbete tillkommer då både bågarna och hängarna ska fästas i de längsgående balkarna.

Teknisk utmaning: Det är en tekniskt avancerad konstruktion, då dimensioneringen består av flera moment: dimensionering av stålbåge, infästningar, brobana, längsgående balkar med mera.

Grundläggning: Bågarna är infästa i de längsgående balkarna, vilket medför att balkarna tar upp de horisontella krafterna. Därför ger bron endast upphov till vertikala reaktionskrafter i stöden varvid grundläggningen blir relativt enkel.

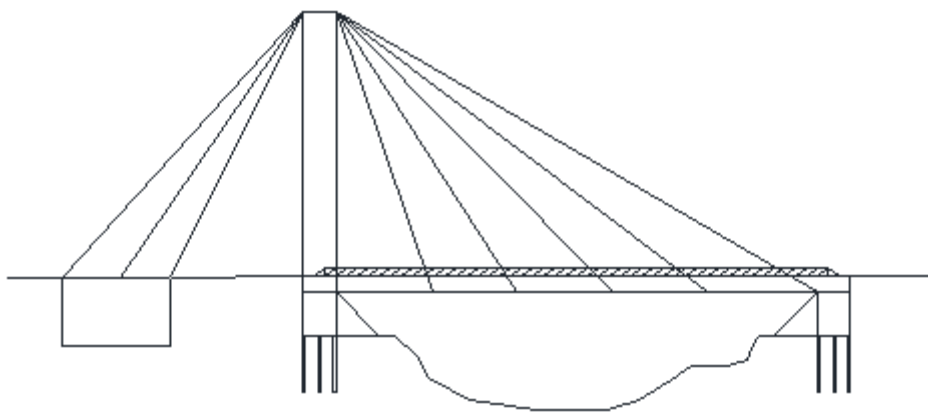
Miljöpåverkan av material: Framställningen av stål och betong är energikrävande och ger stora utsläpp av koldioxid. Vid nedmontering kan stålet återanvändas eller smältas om, betongen kan krossas till fyllnadsmaterial.

Beständighet, inspektioner och underhåll: Stål korroderar lätt i fuktiga och förorenade miljöer, därför krävs mycket inspektioner och underhåll. Alla infästningar, men speciellt de mellan båge och längsgående balkar, är viktiga att inspektera och underhålla. Ommålning av stålet försvåras av att bron går över Ätran då flagor av den gamla färgen inte får förorena naturen. På grund av att bågen är hög medförs extra risker för dem som arbetar med inspektions- och underhållsarbeten.

Livscykelkostnad: Stål är dyrt och är kostsamt att underhålla, men och byggkostnaderna hålls nere genom effektiv byggnation.

4.3.7 Snedkabelbro med pyloner på en sida

Nedan följer en kort beskrivning av Brokoncept 7 med principiell skiss, se Figur 28, och beskrivning utifrån kriterierna.



Figur 28: Skiss från sidan på Brokoncept 7, snedkabelbro med betongpyloner, längs- och tvärgående balkar i stål och brobana i betong.

Utseende: Snedkabelbroar är ofta spektakulära och tilltalande att se, inte minst i detta fall då pylonerna placeras på en sida av Ätran. Bron sticker upp ur landskapet och kan ses på långt håll.

Okonventionell design: Snedkabelbroar är ovanliga i Sverige och drar därför uppmärksamhet till sig, än mer ovanligt vid så korta broar som 46 m. Genom att tänka nyskapande vid placering och utformning av pyloner har konceptet potential att bli ett kännetecken för Ulricehamn.

Produktionsmetod: Först gjuts pyloner och motvikter i betong, när de har härdat kan stålbalkarna lanseras och fästas i de sneda kablarna. Slutligen gjuts brobanan.

Byggnationstid: I och med de omfattande betonggjutningarna, av pyloner och motvikter, blir produktionstiden lång. När betongarbetena är avslutade går resterande arbete relativt fort.

Teknisk utmaning: Det är en tekniskt avancerad konstruktion, då dimensioneringen består av flera moment: dimensionering av pyloner, motvikter, infästningar, brobana, långsgående balkar med mera.

Grundläggning: Pylonerna måste förses med mothållande kablar som förankras i en motvikt. Motvikten måste ta upp både vertikala och horisontella krafter, vilket också försvårar grundläggningen av dem. Vid pylonernas stöd ger bron endast upphov till vertikala reaktionskrafter varvid grundläggningen blir relativt enkel för pylonerna.

Miljöpåverkan av material: Framställningen av stål och betong är energikrävande och ger stora utsläpp av koldioxid. Vid nedmontering kan stålet återanvändas eller smältas om, betongen kan krossas till fyllnadsmaterial.

Beständighet, inspektioner och underhåll: Stål korroderar lätt i fuktiga och förorenade miljöer, därför krävs mycket inspektioner och underhåll. Infästningarna mellan kablar och balkar är viktiga att inspektera och underhålla. Ommålning av stålet försvåras av att bron går över Ätran då flagor av den gamla färgen inte får förorena naturen. På grund av att en del av inspektions- och underhållsarbetena sker på hög höjd medförs extra risker för dem som utför arbetena.

Livscykelkostnad: Betong är ett billigt material att bygga i och underhålla, men i pylonerna behövs det också mycket armering som är dyrt. Kostnaderna ökar även på grund av att platsgjutning är tidskrävande.

4.4 Viktning av kriterier och brokoncept

De olika kriterierna väger olika tungt, för att det ska ge utslag i viktningen mellan brokoncepten görs först en viktning mellan kriterierna. Kriterier som är viktiga får högre poäng och får därav större genomslagsförmåga.

När kriterierna har viktats mot varandra används en beslutsmatris för att bestämma vilket koncept som lämpar sig bäst för det aktuella projektet. De krav som ställts från Trafikverket och Ulricehamns kommun kommer att speglas i viktningen mellan brokoncepten.

4.4.1 Viktning mellan kriterierna

För att kunna göra en rättvis viktning behövs ett objektiva tillvägagångssätt. Först och främst ska kriterier väljas som på ett rättvist sätt kan bedöma de olika brokoncepten. Kriterierna ska väljas i överrensstämmelse med projektets mål och inte så att de gynnar ett visst koncept. Dessutom kan olika kriterier ges olika tyngd beroende på hur väl de kopplar till projektets syfte.

I det aktuella projektet har en matris ställts upp för att bedöma vilka kriterier som är viktigast, se Tabell 4. Alla kriterier har ställts inbördes mot varandra. Det kriterium som för projektet anses viktigast ges 3 poäng, det andra kriteriet ges 1 poäng. Om kriterierna bedöms var lika viktiga ges båda 2 poäng. Sedan summeras poängen för varje kriterium och divideras med den totalt utdelade poängsumman. Procenttalet som erhålls visar hur viktigt kriteriet anses vara i projektet och används sedan vid viktningen mellan brokoncepten.

Kategori	Kriterie	A	B	C	D	E	F	H	I	J	Poäng	Resultat %
Estetik	A Utseende	0	2	3	3	3	3	3	3	3	23	15,97%
	B Okonventionell design	2	0	3	3	3	3	3	3	3	23	15,97%
Genomförbarhet	C Byggnadsmetod	1	1	0	3	2	3	3	1	3	17	11,81%
	D Byggnationstid	1	1	1	0	1	1	1	1	2	9	6,25%
	E Teknisk utmaning	1	1	2	3	0	1	2	1	3	14	9,72%
	F Grundläggning	1	1	1	3	3	0	3	1	3	16	11,11%
Miljö och förvaltning	H Miljöpåverkan av material	1	1	1	3	2	1	0	1	3	13	9,03%
	I Beständighet, inspektioner och underhåll	1	1	3	3	3	3	3	0	3	20	13,89%
Ekonomi	J Livscykelkostnad	1	1	1	2	1	1	1	1	0	9	6,25%
											144	100,00%

1= Mindre viktigt 2= Lika viktigt 3=Mer viktigt

Tabell 4: Tabellen visar viktningen mellan kriterierna. Kriterierna har ställts inbördes mot varandra och tilldelas 3,2 eller 1 poäng. Högre poäng innebär att det är ett viktigare kriterium. Poängen summeras för varje kriterium och divideras med totalt utdelad poängsumma. Procentsatsen som erhålls visar hur viktigt kriteriet anses vara.

I tabellen kan utläsas att *Utseende* och *Okonventionell design* får högst procent, medan *Byggnadstid* och *Livscykelkostnad* får lägst procent.

4.4.Viktning mellan brokoncepten

För viktningen har en modell använts som jämför brokoncepten kollektivt mot varandra, se Tabell 5. Den eller de brokoncept som anses bäst inom varje kriterium ges 4 poäng. Den eller de brokoncept som anses sämst inom varje kriterium ges 1 poäng. De övriga broarna ges 2 eller 3 poäng, beroende på hur de förhåller sig till de bästa och sämsta brokoncepten. Bedömningen görs utifrån [KAPITEL 4.3 BESKRIVNING AV KVARVARANDE BROKONCEPT UTIFRÅN VIKTNINGSKRITERIER](#).

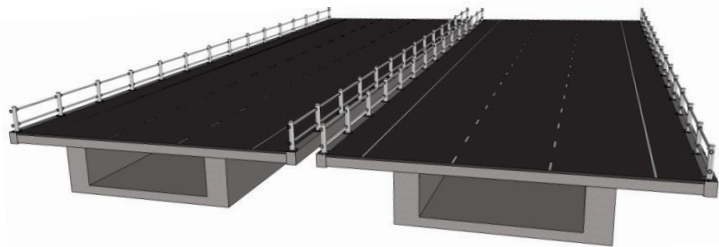
Kategori	Kriterie	Vikt	Spännarmerad betongbalkbro med lådtvärsnitt	Samverkansbro med I-tvärsnitt	Bågbro i trä	Bågbro i stål	Langerbalkbro i trä	Langerbalkbro i stål	Snedkabelbro
Estetik	Utseende	15,97%	2	1	3	3	3	3	4
	Okonventionell design	15,97%	1	1	4	3	4	4	4
Genomförbarhet	Byggnadsmetod	11,81%	2	4	2	2	1	1	1
	Byggnationstid	6,25%	2	4	2	2	2	2	1
	Teknisk utmaning	9,72%	3	4	2	2	1	1	1
	Grundläggning	11,11%	4	4	1	1	4	4	1
Miljö och förvaltning	Miljöpåverkan av material	9,03%	3	3	4	2	4	2	1
	Beständighet, inspektioner och underhåll	13,89%	4	2	1	2	1	2	2
Ekonomi	Livscykelkostnad	6,25%	4	3	3	1	3	1	1
			2,65	2,61	2,47	2,15	2,59	2,42	2,10

Tabell 5: Tabellen visar viktningen mellan de återstående brokoncepten. De olika brokoncepten har tilldelats poäng i varje kriterium, poängen multipliceras med vikten(%) och erhåller en viktad poäng (som dock inte syns). Den viktade poängen för samtliga kriterier adderas och summan kan läsas i den nedersta raden. Som kan utläsas erhåller brokonceptet *Spännarmerad betongbalkbro med lådtvärsnitt* högst poängsumma.

I tabellen kan utläsas att brokonceptet *Spännarmerad betongbalkbro med lådtvärsnitt* får högst viktad poängsumma, men tätt följd av både *Samverkansbro* och *Langerbalkbro i trä*. *Snedkabelbro* får tillsammans med *Bågbro i stål* klart lägst poäng, på grund av *Genomförbarhet* samt *Miljö och förvaltning*.

5. Det vinnande konceptet: spännarmerad betongbalkbro med lådtvärsnitt

Brokoncepten som väljs är en spännarmerad betongbalkbro med lådtvärsnitt, se Figur 29, grundlagd på betongpålar till berg. Konceptet väljs på grund av att det fick högst poäng i viktningen mellan brokoncepten. Bron kommer uppföras som två parallella broar då det för med sig flera fördelar, såsom möjlighet att kunna stänga av en bro vid reparationer och enklare dimensionering.



Figur 29: Bilden visar en förenklad skiss på bron som valts. Balkliven antas vara raka och broplattan antas ha konstant tjocklek för att förenkla dimensioneringen. I verkligheten är liven sneda och broplattan har minskande tjocklek mot kantbalkarna.

För att få förståelse för konceptet som helhet, beskrivs i kapitlet konceptets genomförande, hur detaljer utformas, förvaltning, åtgärder vid ökad trafikbelastning samt ekonomi.

5.1 Produktionsplan

I följande avsnitt presenteras en övergripande produktionsplan för projektet. Nödvändiga arbetsmoment som utförs på platsen behandlas i kronologisk ordning och hela processen har för tydlighetens skull delats in i olika faser. Faserna kan i stort beskrivas som *Förberedelser*, *Grundläggning*, *Bygghfas* och *Efterarbete*. Kapitlet bygger på [KAPITEL 3.2 GRUNDLÄGGNINGSMETODER FÖR BROAR](#) och [KAPITEL 3.5 PRODUKTIONSMETODER FÖR BROAR](#).

5.1.1 Förberedelse av platsen

I ett första skede måste goda logistiska förhållanden upprättas på platsen, både vad gäller externa förbindelser såväl som interna. Då närliggande väg passerar nära inpå arbetsplatsen fås en god förbindelse till och från byggområdet. Inte heller de interna transporter utgör något problem då byggarbetsplatsen inte begränsas av omkringliggande byggnation eller andra hinder.

Som en del i det förberedande arbetet måste verktygsbod, personalbod och en administrativ enhet placeras ut. Dessa måste inte ligga i direkt anslutning till byggarbetsplatsen om platsbrist skulle bli ett problem. Ett materialupplag för kortvarig förvaring av material som inte kan direktmonteras måste uppföras och en eventuell uppställningsyta för maskiner bör finnas tillgänglig. Dessa ska ligga i direkt anslutning till arbetsplatsen för att få så effektiva transporter som möjligt.

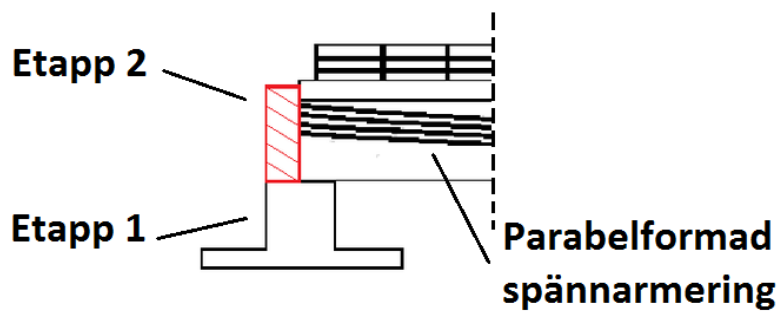
För att kunna påbörja arbetet med bron, och då i första hand grundläggningen, inleds markarbeten. Då grundläggningen ska ske i torrhet består markförberedelserna i att schakta bort jordmassor samt slå ned spontar för att hindra vatteninträngning och hålla schakten öppna. Eventuellt kan pumpar bli nödvändiga för att pumpa bort vatten i schakterna.

5.1.2 Grundläggning med pålar till berg

Markförhållandena på platsen är relativt dåliga och bron kommer ha stor egenvikt. För att inte få sättningar i stöden är det därför nödvändigt att stödpålar till fast. Med hänsyn till platsens markförhållanden är betongpålar mest lämpligt. Pålarna kommer främst slås ner direkt under brostöden, men en mindre mängd slås också ner för det planerade påldäcket som ska jämna ut sättningarna mellan bron och anslutande vägbana. Pålningen kan förväntas bli kostsam på grund av det stora avståndet ner till fast berg.

5.1.3 Bygghfas

Då grundläggningen är färdig kan bygghfasen påbörjas. En grundplatta gjuts samman med de betongpålar som slagits ner i marken, plattans underkant måste ligga på ett tjälsäkert djup. För platsen gäller att tjälsäkert djup nås cirka 1,5–1,6 m under befintlig markyta. Brons ändstöd gjuts sedan på grundplattan. För att det ska vara möjligt att efterspanna konstruktionen gjuts ändstödet i två etapper, etapp 2 gjuts när efterspänningen är gjord, se Figur 30.



Figur 30: Bilden visar anslutningen mellan lådbalkens ände och ändstödet. Stöden gjuts i två etapper för att möjliggöra efterspänning.

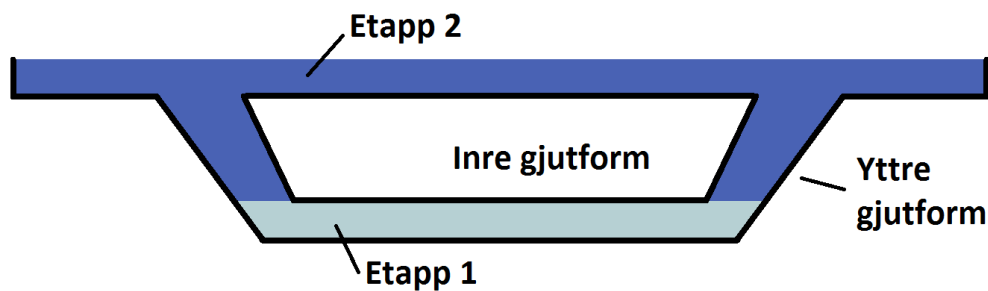
Parallellt med uppförandet av ändstöden påbörjas montaget av ställningen som ska hålla uppe bron under byggnationen. Ställningen kan inte placeras i eller för nära Ätran. Därför läggs horisontellt liggande stålbalkar över vattendraget som fungerar som underlag för den del av ställningen som måste placeras över vattnet.

När ställningen står klar påbörjas bygget av gjutformen för bron. För att få till lådtvärsnittet erfordras först en yttre form som sedan under gjutprocessen kompletteras med en inre form, med syfte att skapa hålrummet i lådans mitt.

I samband med formbygget läggs den beräknade armeringen in och spännkablar monteras i brons längsled. Dessa läggs in med en parabelform över brons längd för att på ett så effektivt sätt som möjligt lyfta det fältmoment som uppstår av egentyngd och trafiklast.

Nästa steg i byggnationen är gjutningen av bron. Den planeras att ske i två etapper där den första innefattar att gjuta lådans botten. Efter en viss härdningstid placeras den inre formen på botten och

gjutning av liv och broplatta sker sedan i en gemensam etapp, se Figur 31.



Figur 31: Bilden visar gjutformen för lådtvårsnitt med sneda liv och etappindelningen. I etapp 1 gjuts lådans botten. När den har härdat placeras spännarmering i livan, den inre gjutformen ställs på botten och broplattans armering placeras. Sedan gjuts livan och broplattan i etapp 2.

5.1.4 Efterarbete

Spännarmeringen kommer efterspännas, vilket innebär att armeringen spänns efter att betongen har gjutits och uppnått viss hållfasthet. Uppspänningen är ett kritiskt moment, eftersom en för kraftig uppspänning kan resultera i dragsprickor i ovankant. Därför måste ställningarna sänkas samtidigt som uppspänningen görs för att kompensera för den pålagda spänningen. Om ställningarna sänks för kraftigt finns risk att bron spricker i underkant, vilket inte får ske.

Då bron spänts upp och betongen har uppnått tillräcklig hållfasthet kan formen rivas och ställningen demonteras.

I ett avslutande skede måste arbetsplatsen återställas efter de direktiv som ställts upp för platsen. Eventuella jordmassor planas ut och ska, i den mån det är möjligt, användas för att upprätta slänter och brokoner i anslutning till brostöden. Konerna ska mot Åtran förses med ett permanent erosionsskydd bestående av 500 mm naturgrus.

Efterarbetet innefattar också utförande av diverse detaljarbeten i form av ett dräneringssystem för bron samt färdigställande av de sidoräcken som skruvas fast i brons kantbalk.

5.1.5 Risker under produktionen

På en byggarbetsplats finns en mängd risker som måste beaktas. En livlig aktivitet råder på platsen med stora maskiner och fordon. Dåligt säkrade kranlyft

På en byggarbetsplats råder en livlig aktivitet som kan innebära många säkerhetsrisker. Till exempel är det många stora maskiner, fordon och kranar i rörelse. Kranarna utför mycket arbete som ställer krav på att materialen som lyfts är ordentligt säkrade.

Ställnings- och gjutformsbyggnationen innebär risker då det kräver mycket arbete över ån och på höga höjder, samma sak kan sägas om gjutningen av bron.

För att minimera riskerna ska skyddsutrustning finnas tillgänglig för alla på arbetsplatsen, provisoriska skyddsräcken placeras vid höga höjder och på gjutformen.

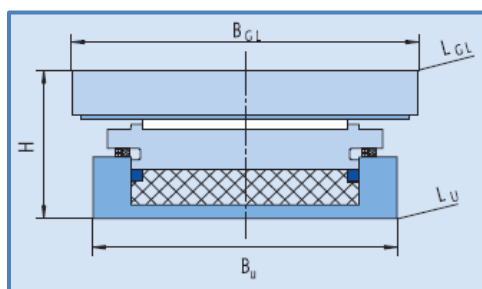
5.2 Lager, broräcken och avvattningsystem

Utöver den bärande konstruktionen tillkommer utformning av brodetaljer, som är viktiga för att säkerställa brons funktion och uppfylla ställda krav. Detta innefattar val av lager, val av broräcken samt utformning av avvattningsystem.

5.2.1 Val av lager

Enligt tekniska beskrivningen ska bron utrustas med Topflager (pot bearing) i ändstöden. Den kraft som lagren kommer att utsättas för motsvarar reaktionskrafter i ändstöden som uppgår till 8.4MN, för beräkning se [BILAGA 8](#). För att åstadkomma en stabil konstruktion kommer det användas två lager på vardera stödet, vilket innebär 4.2MN på varje lager. För att klara av rörelser i alla riktningar kommer det att på ena stödet placeras två allsidigt rörliga lager, på det andra stödet kommer det vara två fasta lager för att säkerställa att bron inte flyttar sig ur sitt läge. Lager kommer väljas utifrån tillverkaren Maurer Söhnes sortiment.

Som allsidigt rörligt lager väljs TGa-5, se Figur 32 och Tabell 6.

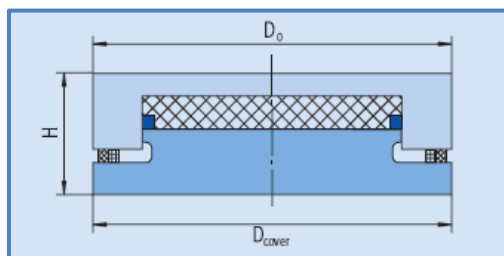


Figur 32: Skiss över det allsidigt rörliga lagret med måttförklaringar (Maurer Söhne,2013).

type of bearing	load V kN	H mm	B _U L _U mm	B _{GL} mm	ex = ±50 mm		ex = ±100 mm		ex = ±150 mm	
					L _{GL} mm	weight kg	L _{GL} mm	weight kg	L _{GL} mm	weight kg
TGa - 5	5000	129	530	580	700	264	815	296	930	328

Tabell 6: Tabellen visar specifikationer för det allsidigt rörliga lagret (Maurer Söhne,2013).

Som allsidigt lager väljs TF-5, se Figur 33 och Tabell 7.



Figur 33: Skiss över det fasta lagret med måttförklaringar (Maurer Söhne,2013).

type of bearing	load V kN	H mm	D _{cover} mm	D _O mm	weight kg
TF- 5	5000	101	550	550	155

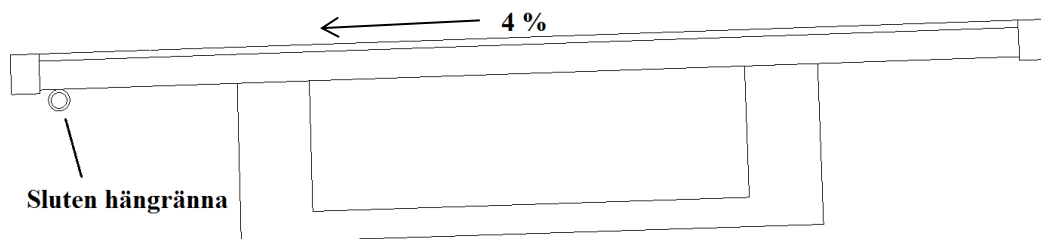
Tabell 7: Tabellen visar specifikationer för det fasta lagret (MaurerSöhne,2013).

5.2.2 Krav för broräcken

Räcken som används ska uppfylla funktionskrav, vara CE-märkt samt uppfylla material och utförandekrav enligt Svensk standard (SS). Räcken skruvas fast i kantbalken, det är viktigt att skruvarna inte kommer i kontakt med kantbalkens armering.

5.2.3 Utformning av avvattningsystem

Avvattningsystem anläggs för att inte riskera försämrade stabilitet eller skred samt för att inte förorena Ätran. Bron ligger i en vertikalkurva samt i en horisontalkurva med 4 % tvärfall, därmed kommer vattnet rinna mot norra kantbalken och mot västra stödet. Därför placeras en brunn i mitten av spannet samt en vid brons västra ände, båda med avståndet 0,2m från norra kantbalken. En sluten hängränna placeras längsmed kantbalken under broplattan, se Figur 34, och leder vattnet till kommunens dagvattensystem.



Figur 34: Bilden visar bron i tvärsnitt. Tvärfallet är 4 % mot norra kantbalken, den slutna hängrännan lutar mot brons västra ände.

5.3 Förvaltningsplan: Inspektioner och underhåll

För att bron ska klara av livslängden på 80 år krävs det att bron inspekteras och underhålls regelbundet. Nedan kommer en preliminär inspektions och underhållsplan redovisas. Kapitlet bygger på [KAPITEL 3.6 INSPEKTIONER OCH UNDERHÅLL AV BROAR](#)

5.3.1 Inspektionsplan för bron

De ställda kraven på inspektioner måste följas. En huvudinspektion ska ske minst vart 6:e år. Inspektionen ska utföras på "handnära avstånd" för alla konstruktionens delar, vilket innebär att det krävs en "underbrolift". Liften kan inte stå på marken, på grund av Ätran, utan ställs på bron. Det innebär både en säkerhetsrisk och försämrade framkomlighet då minst ett körfält måste stängas av.

På grund av att alla delar ska inspekteras kan det vara fördelaktigt att börja från grunden och arbeta sig uppåt. Innan en huvudinspektion sker ska konstruktionens delar rengöras, så att skador lättare kan upptäckas. Upptäcks några skador eller brister ska en noggrannare inspektion göras för att få reda på vilket tillstånd skadan är i.

Det som är viktigt att tänka på när en spännarmerad lådbalkbro i betong ska inspekteras är att kontrollera eventuella sprickor. Bedömningskriterierna för sprickor är hårdare för spännarmerade än för slakarmerade betongbroar. Spännarmeringen i sig går inte att kontrollera.

Lådan är 1,8 m invändigt, vilket ger tillräckligt bra arbetsmiljö vid invändiga inspektioner.

De risker som finns vid inspektioner är hög höjd och fordonstrafik. För att öka säkerheten mot fordonstrafiken krävs det lämpliga skyddsanordningar, i regel behövs det flera skyddsfordon på motorvägar. Vanligtvis används cirka 2-4 TMA-skydd.

5.3.2 Underhållsplan för bron

Underhållet av bron delas in i allmänt (tidsstyrd) underhåll och tillståndsstyrt underhåll.

Det allmänna underhållet innefattar en årlig spolning av ytavlopp, rännor, kantbalkar, räcken och övergångskonstruktioner för att avlägsna vägsalt, smuts och andra föroreningar. Om övergångskonstruktionen håller tätt kommer inte lagerna utsättas för vägsalt och behöver därmed inte lika mycket underhåll som andra detaljer.

Vid inspektioner fastställs vilket tillståndsstyrt underhåll som behöver göras. Grovt uppskattade tider för tillståndsstyrt underhåll är²⁵:

- År 35: Byte tätskikt och övergångskonstruktioner, allmän betongreparation
- År 60: Byte kantbalk+ räcke+ tätskikt + lager + betongreparation av stöd/låda
- År 80: Byte övergångskonstruktion
- År 100: Byte tätskikt och betongreparationer

Impregnering för att öka beständigheten bör utföras flera gånger under brons livslängd.

Inget specifikt underhåll för spännarmeringen sker, då det inte går att komma åt den.

De risker som finns vid underhåll är hög höjd och fordonstrafik. För att öka säkerheten mot fordonstrafiken krävs det lämpliga skyddsanordningar, i regel behövs det flera skyddsfordon på motorvägar. Vanligtvis används cirka 2-4 TMA-skydd.

Vid allt underhåll är det viktigt att utföra det så att miljön påverkas så lite som möjligt.

5.4 Åtgärder vid en ökad framtida trafikbelastning

Bron ska klara en eventuell ökning av trafikbelastningen i framtiden. De krav som ställs är då att konstruktionen ska hålla för ökad trafiklast samt att bron ska ha plats för ökad trafikmängd. Bron har tre filer i vardera riktningen, vägren och stödremsa, vilket gör att bron har stor kapacitet. Bron är dimensionerad för last över hela brobanan vilket medför att den kommer klara ökad trafiklast. Bedömningen som görs är att inga åtgärder för bron behöver vidtas för att klara en ökad framtida trafikbelastning.

För att bibehålla en hög trafiksäkerhet och bra flöde i trafiken kan dock åtgärder behövas för att förbättra kapaciteten vid anslutande av- och påfarter. Två alternativ är antingen att på- och avfart till motorvägen flyttas längre österut, se Figur 35, eller att vägen öster om bron vid på- och avfarten breddas.



Figur 35: Bilden visar en alternativ åtgärd vid ökad trafikbelastning, av- och påfart har flyttats längre österut (Trafikverket, 2001).

²⁵ Fredrik Olsson, Förvaltningsledare underhåll bygnadsverk Trafikverket. Mailkontakt (2013-03-28)

5.5 Ekonomi

Vid beräkningar av produktionskostnaden har schablonvärden från [KAPITEL 3.7 EKONOMI](#) använts. En enkel överslagsberäkning över kostnaderna för byggnation, inklusive material, visar att kostnaderna uppgår till 2,2 miljoner SEK per lådbalkbro, beräkningarna redovisas i [BILAGA 4](#). Bron förväntas dock bli dyrare, då varken schaktningsarbeten eller grundläggning är med i den beräknade kostnaden. I beräkningarna har spännarmeringen antagits kosta lika mycket som slakarmering, men spännarmering är egentligen dyrare.

Kostnader för förvaltning tillkommer.

Som en jämförelse kan produktionskostnaderna för lådbalkbron ställas mot produktionskostnaderna för motsvarande bro men utförd som samverkansbro med I-balkar i stål. Kostnaderna för en sådan bro uppskattas uppgå till cirka 7,9 miljoner SEK. Kostnader utöver byggnation och material förväntas dock bli lägre än för lådbalkbron i betong. Det antagandet grundar sig på att samverkansbron förväntas få lägre egenvikt och därmed billigare grundläggning, samt kortare produktionstid.

6. Dimensionering av bron

Dimensionering av bron består av flera moment och kan delas in i tvärledsberäkningar och längsledsberäkningar. Tvärledsberäkningar görs för att dimensionera broplattan och tvärgående armering, längsledsberäkningar görs för att dimensionera lådan, spänn- och slakarmering i lådliven samt längsgående slakarmering i broplattan.

Dimensioneringen av bron är preliminär, flera moment återstår innan slutliga dimensioner fås. I samtliga beräkningar tas ingen hänsyn till vridning av lådan och horisontella krafter, så som vind- och bromslaster. För den slutgiltiga dimensioneringen måste även fler lastfall beaktas.

6.1 Betongproportionering

Valet av betong är en viktig del av dimensioneringsprocessen. För att ta fram en passande hållfastklass och vct definieras exponeringsklasser.

6.1.1 Exponeringsklasser.

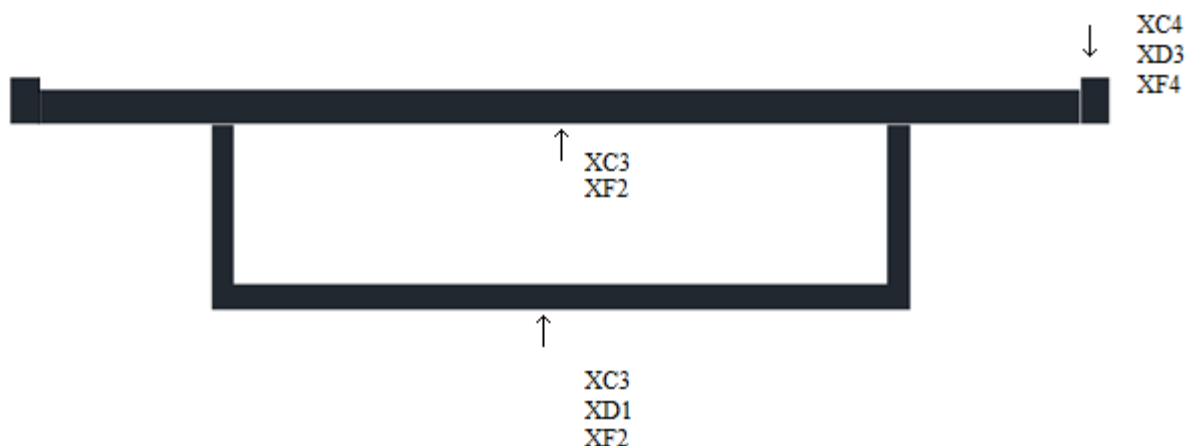
Det första steget vid betongproportionering är att identifiera exponeringsklasser, detta görs utifrån tabell, se [BILAGA 11](#).

Förhållandena vid brons olika delar varierar, därför delas den in i olika områden, se Figur 36:

Inuti bron: Miljön är skyddad från regn och klorider dock är där hög luftfuktighet och det finns risk för karbonatisering.

Under bron: Miljön är skyddad från regn men finns risk för karbonatisering och lite luftburna klorider finns.

Kantbalk: Hög risk för kloridattacker då salt kan ackumuleras vid kanterna, även stor risk för karbonatisering och frostsador då det är cykliskt vått och torrt.



Vägbanan: Betongen på vägbanan är skyddad av vägbeläggningen och är därför försumbar.

Figur 36: Tvärsnitt av den valda bron med definierade exponeringsklasser.

Med hjälp av detta fås begränsningar vid utformningen av bron och de är de mest kritiska värdena som blir dimensionerande.

För kantbalk:

	XC4 Karbonation	XD3 Klorider, vägsalt	XF4 Frysning/ upptining	Används i konstruktionen
Lägsta hållfasthetsklass	C40/50	C45/55	C40/50	C45/55
Max vct	0.45	0.35	0.45	0.35
Minsta cementinnehåll [kg/m ³]	340	380	340	380
Minsta täcksikt [mm]	30	55	-	55
Tillåten sprickbredd w_k [mm]	0.3	-	-	0.3
Cementtyp	CEM 1	CEM 1	CEM 1	CEM 1

För lådan:

	XC3 Karbonation	XD1 Klorider, vägsalt	XF2 Frysning/ upptining	Används i konstruktionen
Lägsta hållfasthetsklass	C40/50	C45/55	C32/40	C45/55
Max vct	0.45	0.40	0.55	0.55
Minsta cementinnehåll [kg/m ³]	340	380	300	380
Minsta täcksikt [mm]	30	30	-	30
Tillåten sprickbredd w_k [mm]	0.3	0.2	-	0.2
Cementtyp	CEM 1	CEM 1	CEM 1	CEM 1

6.2 Dimensionering av broplattan i tvärled

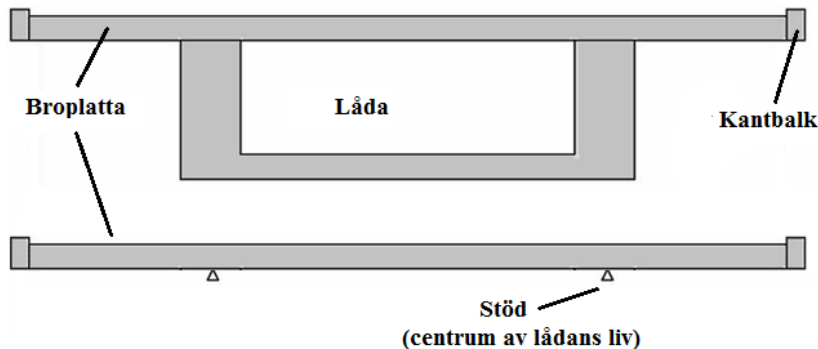
Dimensioneringen är en iterationsprocess, där tvärsnittskonstanter inledningsvis antas och revideras under beräkningarnas gång. För att kunna dimensionera broplattan i tvärled behöver laster tas fram för att kunna beräkna moment och tvärkrafter. Beräknade moment och tvärkrafter används för att kontrollera antagna dimensioner samt dimensionera och placera armering.

6.2.1 Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för broplattan i brott- och bruksgräns

Lastframtagningen görs enligt *Eurokod 1: Laster på bärverk- Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2*. För broar tillämpas vanligtvis säkerhetsklass 3, en säkerhetsfaktor tillkommer då som är 1,0.

6.2.1.1 Tvärsnittskonstanter för broplatta

För att förenkla beräkningarna antas betonglådan vara rektangulär, se Figur 37, i verkligheten är lådans liv sneda. Ytterligare en förenkling som görs är att brobanans tjocklek antas vara konstant, i verkligheten minskar brobanans tjocklek ut mot kanterna. Beräkningarna görs för ett en meter, i längsled, brett segment av broplattan. Lådans liv antas fungera som stöd för broplattan, vilket medför att lådans egenvikt försummas vid beräkningar i tvärled.



Figur 37: Bilden visar ett förenklat tvärsnitt av lådbalkbron och hur livet antas fungera som stöd för broplattan. Lådan antas vara rektangulär och broplattan antas ha konstant tjocklek.

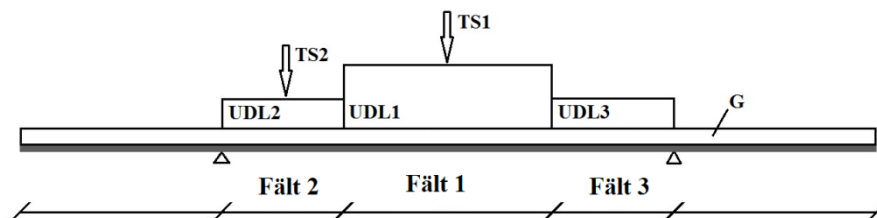
Antagna dimensioner gjordes i samråd med Joosef Leppänen, Senior lecturer Chalmers. Tvärsnittskonstanterna användes inledningsvis för att beräkna segmentets egenvikt, som är nödvändigt vid lastframtagning. Beräknade laster används för att ta fram moment- och tvärkraftsdiagram, som i sin tur används för att kontrollera antagna dimensioner.

För tvärsnittets dimensioner, egenvikt för betong och asfalt samt beräkning av segmentets egenvikt se [BILAGA 5 KAPITEL 1.1](#).

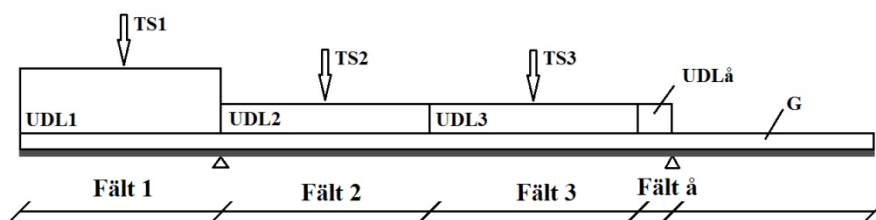
6.2.1.2 Lastfall enligt Lastmodell 1

LM1 är en lastmodell enligt *Eurokod 1: Laster på bärverk- Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2*. Med hjälp av axellaster (TS) och utbredda laster (UDL) täcker modellen in de flesta effekterna av trafik med last- och personbilar. Modellen används för samtliga lastberäkningar i tvärled. Principen för LM1 är att dela in brobanan i lastfält, vanligtvis 3 m breda, som belastas med axellaster och utbredda laster. Lastfält 1 belastas med störst laster, Lastfält 2 med näst störst laster och så vidare.

De två lastfall som antas vara dimensionerande är last koncentrerad till mitten av broplattan (Lastfall 1) och last koncentrerad till sidan (Lastfall 2), se Figur 38 och Figur 39.



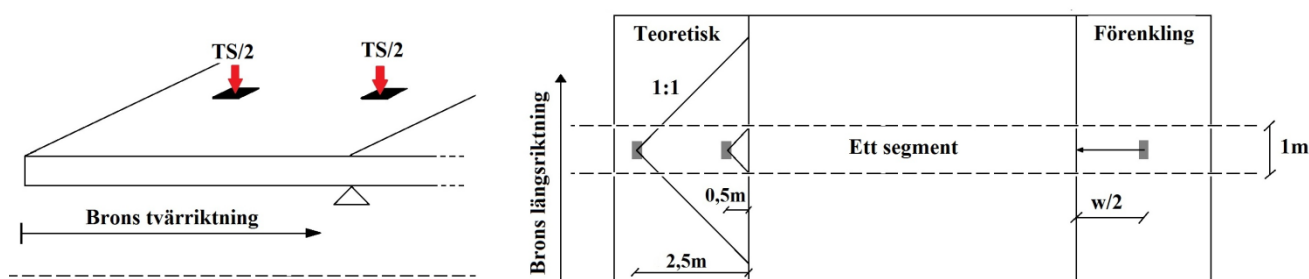
Figur 38: Bilden visar Lastfall 1, last koncentrerad till mitten av broplattan. TS3 är 0 och utelämnas därför.



Figur 39: Bilden visar Lastfall 2, last koncentrerad till sidan. TS är 0 för återstående lastfält och utelämnas därför.

6.2.1.3 Reducering av axellaster på grund av lastspredning

En axel som belastar en brobana gör det som två punktlaster. När en punktlast belastar en konsolplatta kommer lasten spridas över stödet i längsled, enligt Figur 40. Belastningen på stödet över segmentet kan alltså reduceras. Det har förenklats till en dubbelt så stor, centrerad punktlast som inte reduceras. Det innebär att hela punktlasten antas belasta stödet över segmentets bredd, vilket innebär att förenklingen på den säkra sidan.



Figur 40: Till vänster visar bilden en axellast som belastar broplattan. Till höger visar bilden den teoretiska lastspredningen och det förenklade antagandet.

6.2.1.4 Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Framtagning av maximala korttidsmoment och korttidsvärkrafter görs för att kontrollera broplattan och dimensionera armeringsmängd i brottgräns. Beräkningar görs för Lastfall 1 och Lastfall 2 för att få maximala moment och tvärkrafter i fält och över stöd.

Enligt Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990, beaktas två lastkombinationer, 6.10a och 6.10b. Lastkombinationerna använder olika säkerhetsfaktorer för att skapa det minst gynnsamma fallet, som också blir dimensionerande. Säkerhetsfaktorerna påverkar permanenta och variabla laster. 6.10b förväntas bli dimensionerande.

För varje lastfall och lastkombination (ex Lastfall 1, formel 6.10a) görs beräkningarna enligt följande:

- Reducering med hänsyn till lastkombinationens säkerhetsfaktorer
- Reaktionskrafter i stöden beräknas med momentjämvikt och global jämvikt
- Segmentet snittas för att beräkna moment och tvärkrafter
- Moment- och tvärkraftsdiagram plottas, maximala värden tas ut

Beräkningarna finns redovisade i [BILAGA 5](#).

Lastfall 1, 6.10.a: [KAPITEL 1.4](#).

Lastfall 1, 6.10.b: [KAPITEL 1.4](#).

Lastfall 2, 6.10.a: [KAPITEL 1.5](#).

Lastfall 2, 6.10.b: [KAPITEL 1.5](#).

6.2.1.5 Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Framtagning av maximala långtidsmoment och långtidstvärkrafter görs för att kontrollera nedböjning och sprickor i tvärled för broplattan. Beräkningar görs för Lastfall 1 och Lastfall 2 för att få maximala långtidsmoment och långtidstvärkrafter i fält och över stöd.

6.2.1.5.1 Moment och tvärkrafter för sprickberäkning

Enligt Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990, beaktas lastkombinationen 6.16b vid sprickberäkning i bruksgräns.

Beräkningsgången är samma som för brottgräns.

Beräkningarna finns redovisade i [BILAGA 5 KAPITEL 1.5](#).

6.2.1.5.2 Moment och tvärkrafter för beräkning av nedböjning

Enligt Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990, beaktas lastkombinationen 6.15b vid beräkning av nedböjning i bruksgräns.

Beräkningsgången är samma som för brottgräns.

Beräkningarna finns redovisade i [BILAGA 5 KAPITEL 1.6](#).

6.2.1.6 Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled

Resultatet för moment- och tvärkraftsberäkningarna redovisas med diagram och maximala moment och tvärkrafter. För detaljerade beräkningar se [BILAGA 5 KAPITEL 1.7](#).

6.2.1.6.1 Brottgräns (korttid), dimensionerande formel: 6.10b

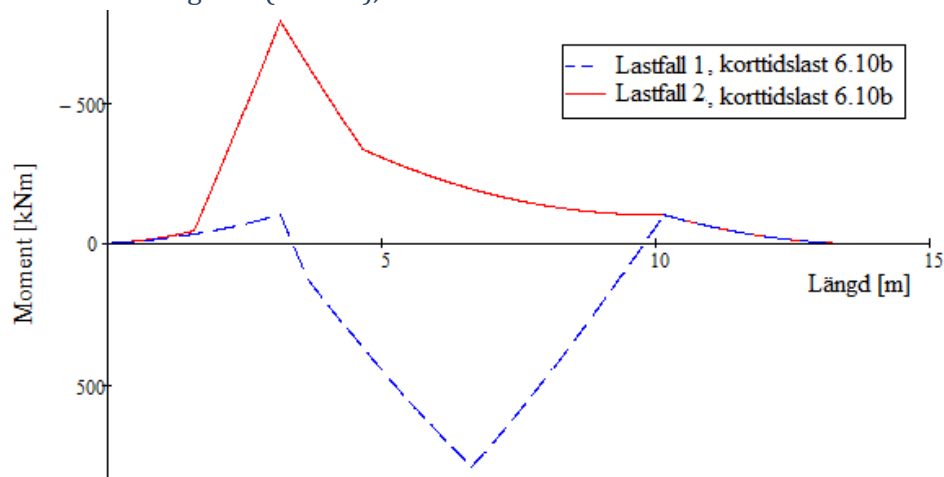


Diagram 1: Momentdiagram för brottgräns (korttid) lastfall 1 och 2. Formel 6.10b är dimensionerade, därför redovisas inte 6.10a. För beräkningar se [BILAGA 5 KAPITEL 1.4](#).

Maximalt moment över stöd: $M = -787 \text{ kNm}$

Maximalt moment i fält: $M = 789 \text{ kNm}$

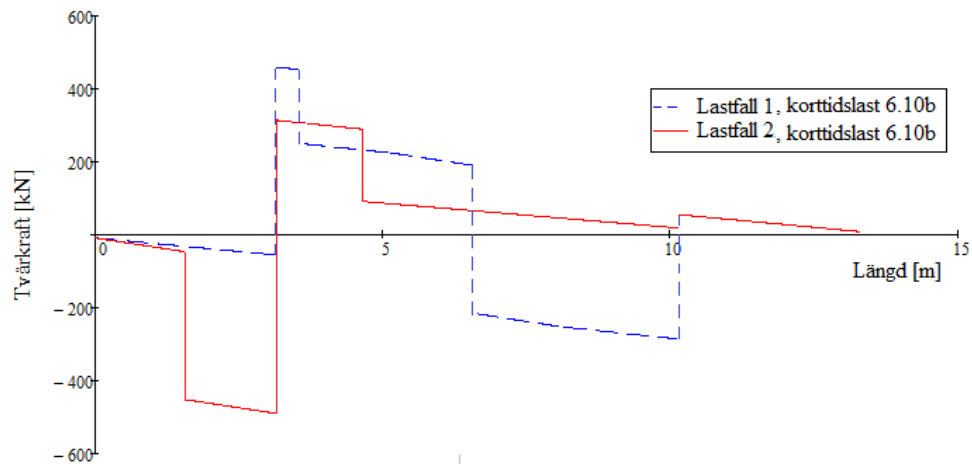


Diagram 2: Tvärkraftsdiagram för brottgräns (korttid) lastfall 1 och 2. Formel 6.10b är dimensionerade, därför redovisas inte 6.10a. För beräkningar se [BILAGA 5 KAPITEL 1.4.](#)

Maximal tvärkraft till höger om stöd: $V = 459 \text{ kN}$

Maximal tvärkraft till vänster om stöd: $V = -490 \text{ kN}$

6.2.1.6.2 Bruksgräns (långtid), formel för sprickberäkning 6.16b

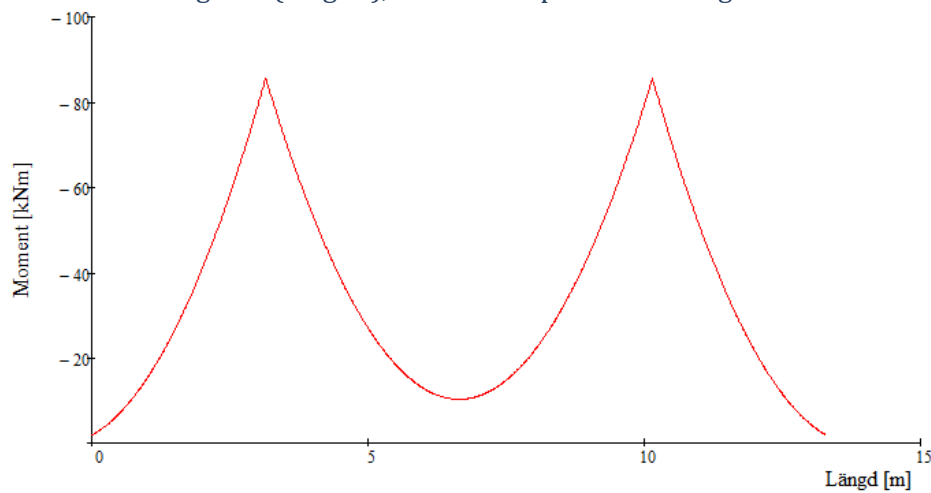


Diagram 3: Momentdiagram för bruksgräns (långtid) lastfall 1 och 2. Formel 6.16b används, endast egentyngden belastar segmentet enligt 6.16b varvid lastfallen blir samma. För beräkningar se [BILAGA 5 KAPITEL 1.5.](#)

Maximalt moment över stöd: $M = -86 \text{ kNm}$

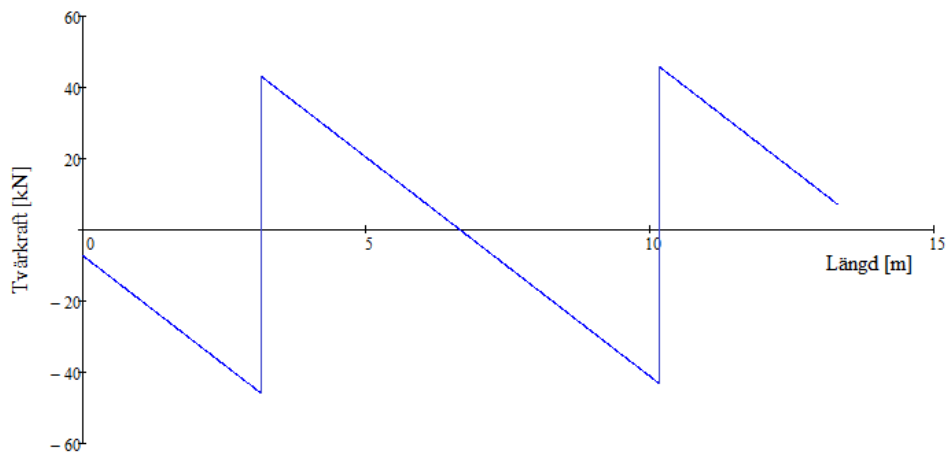


Diagram 4: Tvärkraftsdiagram för bruksgrens (långtid) lastfall 1 och 2. Formel 6.16b används, endast egentyngden belastar segmentet enligt 6.16b varvid lastfallen blir samma. För beräkningar se [BILAGA 5 KAPITEL 1.5](#).

Maximal tvärkraft över stöd: $V = 46 \text{ kN}$

6.2.1.6.3 Bruksgrens (långtid), formel för nedböjning 6.15b

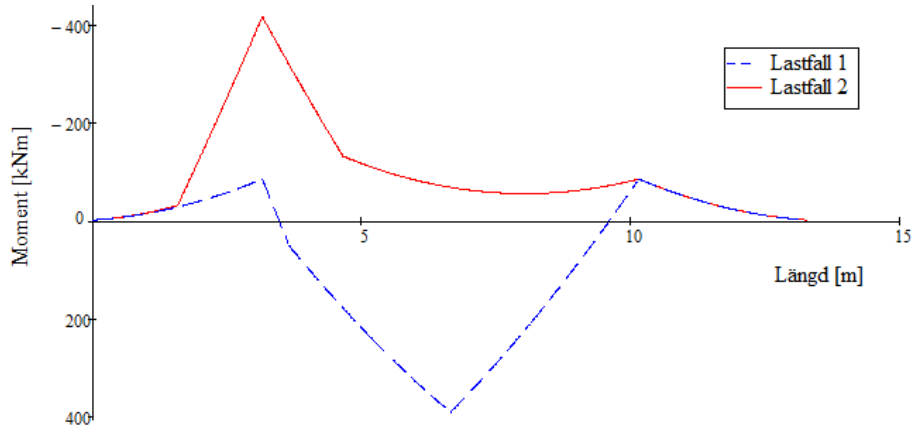


Diagram 5: Momentdiagram för bruksgrens (långtid) lastfall 1 och 2. Formel 6.15b används. För beräkningar se [BILAGA 5 KAPITEL 1.6](#).

Maximalt moment över stöd: $M = -417 \text{ kNm}$

Maximalt moment i fält: $M = 390 \text{ kNm}$

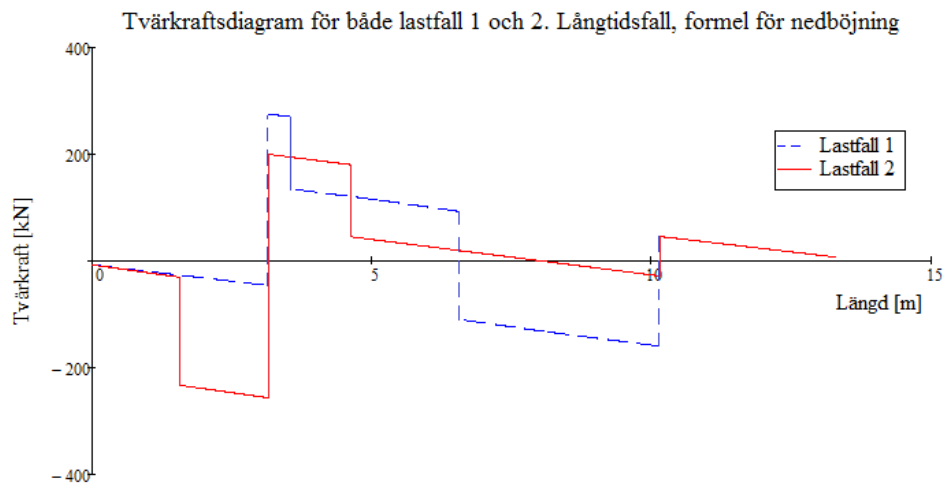


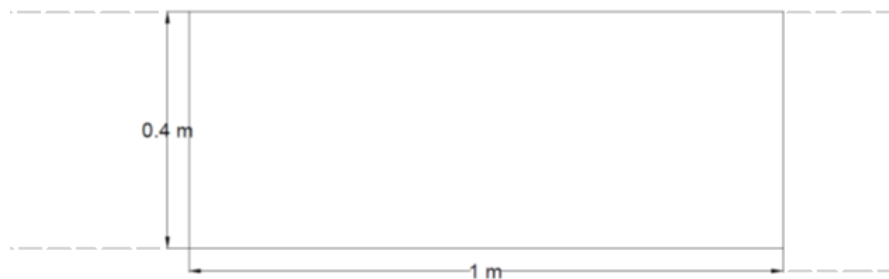
Diagram 6: Tvärkraftsdiagram för bruksgräns (långtid) lastfall 1 och 2. Formel 6.15b används. För beräkningar se [BILAGA 5 KAPITEL 1.6](#).

Maximal tvärkraft till höger om stöd: $V = 275 \text{ kN}$

Maximal tvärkraft till vänster om stöd: $V = -256 \text{ kN}$

6.2.2 Kontroll av antagna dimensioner samt dimensionering och placering av armering

Plattan i bron kommer att utsättas för stora laster på grund av trafiken. Eftersom den är bred ger det upphov till stora moment i tvärled som broplattan måste klara av utan att gå till brott i konsolerna eller i mittspannet över lådan. Vid dimensionering av plattan i tvärled ses den precis som i lastframtagningen som ett statiskt bestämt balksegment med dimensioner enligt Figur 41.



Figur 41: Balksegment av broplattan med dimensioner

Kontroller av detta tvärsnitt kommer att genomföras enligt dimensioneringsgången i böckerna Bärande konstruktioner Del 1 och 2, som alla följer Eurokod 2. De kontroller som kommer genomföras behandlar momentkapacitet, segt verkningssätt, tvärsnittsstadium och sprickbredd.

För utförliga beräkningar se [BILAGA 6](#).

6.2.2.1 Analys av tvärsnittet i brottgränstillstånd

Först kontrolleras broplattan i brottgränstillstånd, vilket görs för att beräkna hur mycket armering som kommer att krävas i både drag och tryck. Från lastframtagningen, se Diagram 1, [KAPITEL 6.2.1.5](#), fås de värsta lastfallen och vilka maxmoment de ger upphov till, i brottgräns är det korttidslasterna som blir dimensionerande.

Vid lastfall 1 när lasten är koncentrerad till mittspannet kommer tvärsnittet bli draget i underkant, medan i lastfall 2 när lasten är koncentrerad till vänstra konsolen bli dragen i överkant vid stöden. Detta leder till att det krävs två dimensioneringar, en för fält och en för stöd. Vid beräkningarna över stöd roteras tvärsnittet 180° för att få identiska modeller.

Att ta fram erforderlig armeringsmängd är en iterativ process där antalet stänger först uppskattas och placeras ut enligt krav på fria avstånd och täcksikt. Detta tvärsnitt kontrolleras sedan i en noggrann analys och antalet stänger och deras position justeras till momentkapaciteten för tvärsnittet är tillräckligt. När kapaciteten är tillräckligt stor görs den viktigaste kontrollen, segt verkningssätt, för att se så inte plattan går direkt till brott då den spricker.

Det uppstår även tvärkrafter i plattan som måste kunna föras vidare till stöden, om betongen får tvärkraftsbrott krävs det tvärkrafts armering för att föra den vidare. De är två typer av brott som kontrolleras, livtryck- och skjuvglidbrott. Enligt beräkningarna i [BILAGA 6 KAPITEL 1.2](#), fås att det finns risk för skjuvglidbrott vid stöden och tvärkraftsarmering kommer att krävas. De beräkningar som utförts för tvärkraftskapaciteten har dock alla gjorts med en mycket väl tilltagen lastpåkänning vilket ger resultat med en stor inbyggd säkerhetsfaktor. Då säkerhetsfaktorn kan anses vara mycket stor, samt utifrån erfarenheter om att tvärkraftsarmering mycket sällan används i broplattans tvärledd, tas beslut om att ingen tvärkraftsarmering dimensioneras för det här fallet.

6.2.2.2 Analys av tvärsnittet i brukgränstillstånd

För att kontrollera om broplattan verkligen kommer spricka upp och hur mycket görs dimensionering även i bruksgräns. Det första som görs att är att räkna ut det kritiska momentet då broplattan kommer att spricka och kontrollera i vilket stadium den befinner sig i.

Stadium 1

- tvärsnittet är osprucket
- såväl betong som armering har elastisk respons

Stadium 2

- tvärsnittet är böjsprucket
- såväl betong som armering har elastisk respons
- inverkan av dragen betong under neutrala lagret försummas

Stadium 3

- tvärsnittet är böjsprucket (eller osprucket vid tryckbelastning)
- elasticitetgränsen har passerats för betong eller armeringsstål
- inverkan av dragen betong under neutrala lagret försummas i böjsprucket tvärsnitt

Från beräkningarna i bruksgräns, [BILAGA 6 KAPITEL 1.3](#), fås att $M_{Cr} = 89.397 \text{ kNm}$ vilket jämförs med de mest kritiska momenten och då visar det sig att nästan hela balken är uppsprucken och befinner sig i Stadium 2. För att förenkla dimensioneringen antas att hela balken är uppsprucken, detta antagande är på den säkra sidan.

Sedan beräknas påverkan av krympning och krypning under lång tid i plattan, den påverkan tillsammans med långtidsmomentet för sprickberäkningar, se Diagram 3, [KAPITEL 6.2.1.5](#), ger sprickbredden och sprickavstånden över stöd.

Sprickorna i fält kommer att försummas då de uppstår av korttidlasten, men när sprickbredd och sprickavstånd beräknas används långtidmomentet och då blir den tidigare dragda delen av tvärsnittet tryckt, jämför Diagram 1 och Diagram 3 i [KAPITEL 6.2.1.6](#). Det leder till att sprickorna inte kommer att vidgas utan kommer att stängas av den tryckande kraften. Det hade kunnat bli problem med ny sprickbildning i ovankant fält, men detta är inte fallet då momentet aldrig överstiger M_{Cr}

6.2.2.3 Beräkning av plattans nedböjning samt armeringens avkortning

Då armeringsmängden som beräknats i brottgräns är dimensionerad för maxmomentet vilket endast är i ett visst snitt av broplattan, kan dragarmeringen kortas av på flera ställen i broplattan för att spara material. Dessa beräkningar genomfördes med hjälp av MathCAD och för hand, se [BILAGA 6 KAPITEL 1.3.5](#).

Beräkningar av nedböjningen av plattan genomfördes genom att skapa en strukturmekanisk beräkningsmodell och sedan lösa den med hjälp av programpaketet CALFEM i Matlab se [BILAGA 7](#).

6.3 Dimensionering av bron i längsled

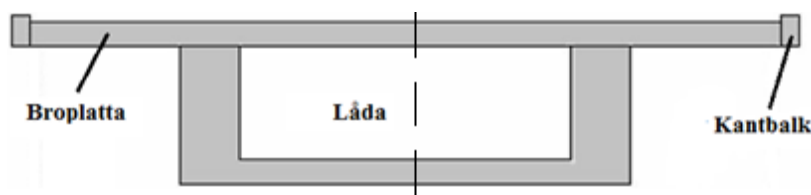
Dimensioneringen är en iterationsprocess, där tvärsnittskonstanter inledningsvis antas och revideras under beräkningarnas gång. För att kunna dimensionera bron i längsled behöver laster tas fram, för att kunna beräkna moment och tvärkrafter. Beräknade moment och tvärkrafter används för att kontrollera antagna dimensioner samt dimensionera och placera armering.

6.3.1 Beräkning i längsled: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för balken i brott- och bruksgräns

Lastframtagningen görs enligt *Eurokod 1: Laster på bärverk- Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2*. För broar tillämpas vanligtvis säkerhetsklass 3, en säkerhetsfaktor tillkommer då som är 1,0.

6.3.1.1 Tvärsnittskonstanter för broplatta, kantbalk och låda

För att förenkla beräkningarna antas betonglådan vara rektangulär, se Figur 42, i verkligheten är lådans liv sneda. Ytterligare en förenkling som görs är att brobanans tjocklek antas vara konstant, i verkligheten minskar brobanans tjocklek ut mot kanterna. Beräkningarna görs för halva tvärsnittet och använder filfaktorer för att bestämma hur stor andel av lasten som går ner i varje liv.



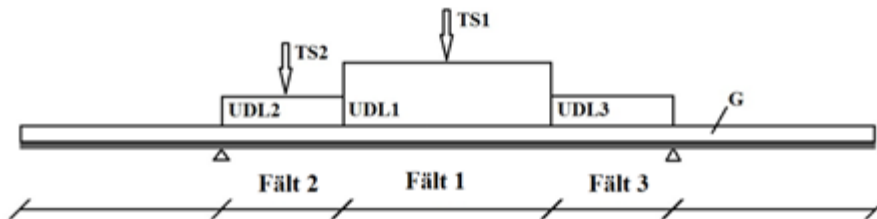
Figur 42: Bilden visar ett förenklat tvärsnitt av lådbalkbron samt indelningen för beräkningen filfaktorer

Dimensioneringen är en iterationsprocess, där tvärsnittskonstanter inledningsvis antas och revideras under beräkningarnas gång. De första antagandena gjordes i samråd med Joosef Leppänen, Senior lecturer Chalmers. Tvärsnittskonstanterna används inledningsvis för att beräkna segmentets egenvikt, som är nödvändigt vid lastframtagning. Beräknade laster används för att ta fram moment- och tvärkraftsdiagram, som i sin tur används för att kontrollera om antagna dimensioner är ok.

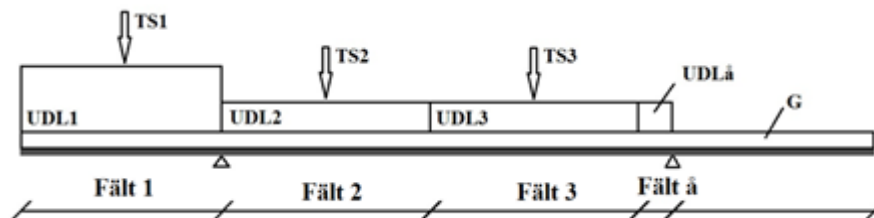
För tvärsnittets dimensioner, egenvikt för betong och asfalt samt beräkning av segmentets egenvikt se [BILAGA 8 KAPITEL 1.1](#).

6.3.1.2 Beräkning av filfaktorer med hjälp av lastfall enligt Lastmodell 1

Filfaktorer används för att beräkna hur stor del av lasten i tvärled som bärs av ett liv i längsled. Filfaktorerna beräknas med hjälp av LM1, en lastmodell enligt *Eurokod 1: Laster på bärverk- Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2*. Axellaster (TS) och utbredda laster (UDL) placeras på bron i tvärled i olika lastfält för att skapa olika lastfall. Filfaktorerna beräknas för två lastfall, se Figur 43 och Figur 44.

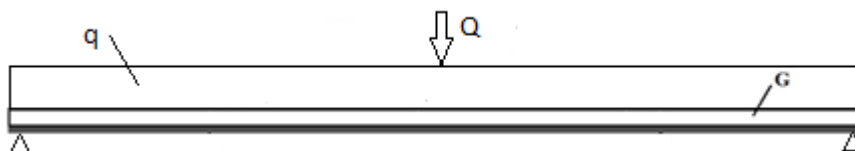


Figur 43: Bilden visar Lastfall 1, last koncentrerad till mitten av broplattan. TS3 är 0 och utelämnas därför.



Figur 44: Bilden visar Lastfall 2, last koncentrerad till sidan. TS är 0 för återstående lastfält och utelämnas därför.

För att beräkna filfaktorerna görs två momentberäkningar kring stöden (liven) i tvärled, en för punktlaster och en för utbredda laster. Detta medför två olika reaktionskrafter som sedan divideras med UDL och TS1. Dessa används sedan tillsammans med säkerhetsfaktorena för att beräkna en dimensionerande punkt- och utbreddlast som verkar på ett liv i brons längsled, se Figur 45.



Figur 45: Principskiss som visar hur den utbredda lasten q och punktlasten Q verkar på ett liv i brons längsled. Q och q beräknas med hjälp av filfaktorer.

6.3.1.3 Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Framtagning av maximala korttidsmoment och korttidsvärkrafter görs för att kontrollera balken och dimensionera armeringsmängd i brottgräns. Beräkningar görs för Lastfall 1 och Lastfall 2 för att få maximala moment och tvärkrafter i fält och över stöd.

Enligt *Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990*, beaktas två lastkombinationer, 6.10a och 6.10b. Lastkombinationerna använder olika säkerhetsfaktorer för att skapa det minst gynnsamma fallet, som också blir dimensionerande. Säkerhetsfaktorena påverkar permanenta och variabla laster. Lastkombination 6.10b förväntas bli dimensionerande.

För varje lastfall och lastkombination (ex Lastfall 1, formel 6.10a) görs beräkningarna enligt följande:

- Framtagning av filfaktorer
- Reducering med hänsyn till lastkombinationens säkerhetsfaktorer
- Reaktionskrafter i stöden beräknas med momentjämvikt och global jämvikt
- Segmentet snittas för att beräkna moment och tvärkrafter
- Moment- och tvärkraftsdiagram plottas, maximala värden tas ut

Beräkningarna finns redovisade i [BILAGA 8](#).

Lastfall 1, 6.10.a: [KAPITEL 1.3.1](#).

Lastfall 1, 6.10.b: [KAPITEL 1.3.1](#).

Lastfall 2, 6.10.a: [KAPITEL 1.3.2](#).

Lastfall 2, 6.10.b: [KAPITEL 1.3.2](#).

6.3.1.5 Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Framtagning av maximala långtidsmoment och långtidstvärkrafter görs för att kontrollera nedböjning och sprickor i balken, samt sedan kunna beräkna den dimensionerande uppspänningskraften i spännarmeringen. Beräkningar görs för Lastfall 1 och Lastfall 2 för att få maximala långtidsmoment och långtidstvärkrafter i fält. Beräkningsgången är samma som för brottgräns, men enligt *Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990*, används ekvation 6.16b vid beräkning av sprickbredd och 6.15b vid beräkning av nedböjning.

6.3.1.6 Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i längsled

Resultatet för moment- och tvärkraftsberäkningarna redovisas med diagram och maximalt moment och tvärkraft i Diagram 7 och Diagram 8. För detaljerade beräkningar se [BILAGA 8 KAPITEL 1.4](#).

Momentfördelning lastfall 2, korttidsfall, formel 6.10b

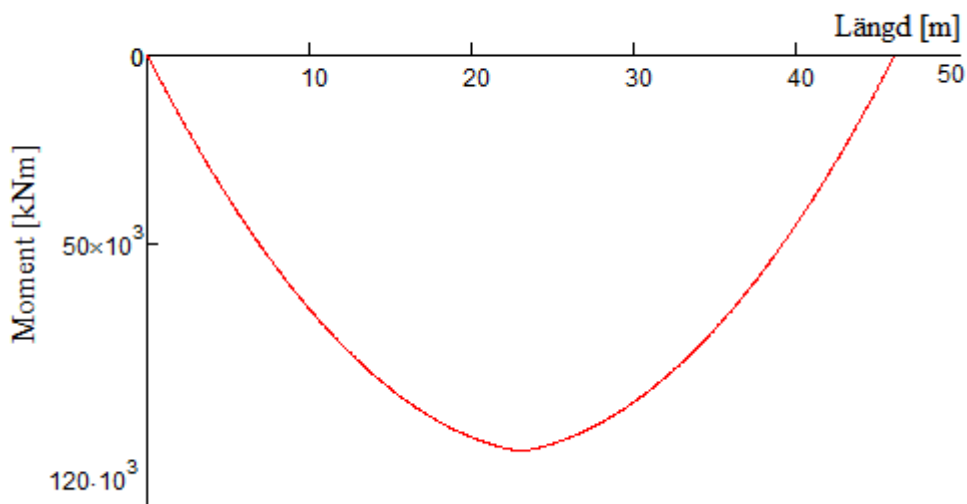


Diagram 7: Momentdiagram för brottgräns (korttid) lastfall 2. Formel 6.10b är dimensionerade, därför redovisas inte 6.10a. För beräkningar se [BILAGA 8 KAPITEL 1.4](#).

Maximalt moment: 104.823 MNm

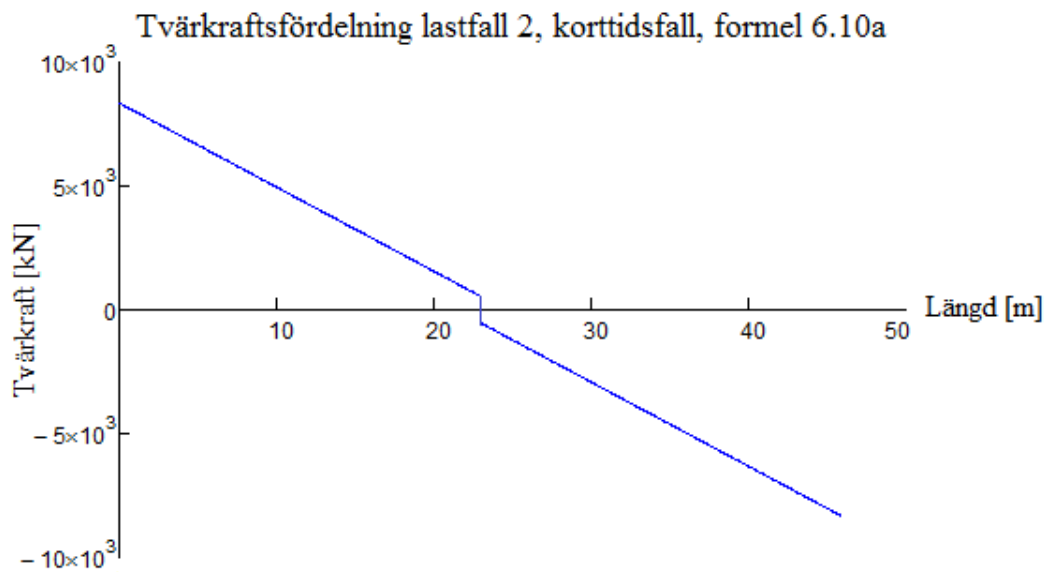


Diagram 8: Tvärkraftsdiagram för brottgräns (korttid) lastfall 2. Formel 6.10a är dimensionerade, därför redovisas inte 6.10b. För beräkningar se [BILAGA 8 KAPITEL 1.4](#).

Maximal tvärkraft: 8.397 MN

6.3.2 Dimensionering av spännarmering

Med hjälp av spännarmering motverkas sprickbildning vid normal användning. Detta ger fördelar såsom ökad styvhet och bättre beständighet i bruksstadiet. Däremot påverkas inte konstruktionens verkningssätt i brottstadiet nämnvärt.

Valet av spännkraft i armeringen begränsas av några avgörande gränser. En övre gräns är att det vid uppspanning finns risk för sprickor i ovkant, då egentyngden inte kan motverka spännverkan innan gjutformarna har tagits bort. En annan övre gräns för spännkraften är att tryckspänningen inte får överskrida betongens tryckhållfasthet, detta för att undvika krossning. Den undre gränsen sätts av att betongen inte får spricka upp vid normal användning.

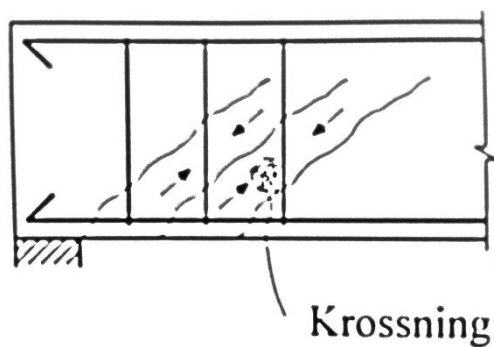
Vid dimensionering av spännarmeringen har Exempel 4 ur *Betonghandbok – Konstruktion, avsnitt 6.2:7* följts.

Valet av passande dimensioner har gjorts ur Freyssinets sortiment, en av de större leverantörerna på spännsystem.

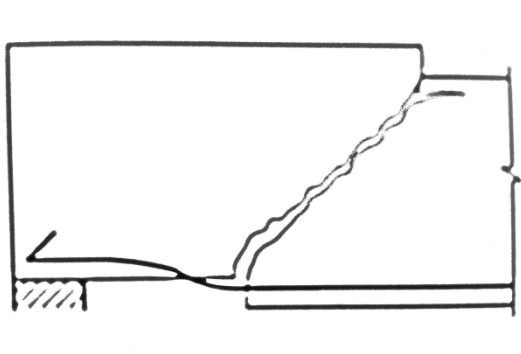
6.3.3 Tvärkraftskapacitet

De tvärkrafter som uppstår i balken måste kunna föras ner i stöden. Vid för stora laster kan betongen spricka, vilket medför att tvärkraftsarmering erfordras. I spännarmerade konstruktioner förs det in en tryckande normalkraft vilket reducerar behovet av eventuell tvärkraftsarmering. Dimensionering av tvärkraftsarmering har gjorts enligt *Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner, SS-EN 1992-1-1*.

Två olika typer av brott kontrolleras, livtryck- och skjuvglibbrott se Figur 46 och Figur 47.



Figur 46:Principskiss över livtryckbrott



Figur 47:Principskiss på skjuvglidbrott

6.3.4 Beräkning av minimiarmering i tvärsnittet longitudinell riktning

För att undvika sprickbildning i ytskiktet av betongen så läggs det alltid in ett lager med minimiarmering runt om i hela tvärsnittet. Minimiarmeringen skall uppfylla kravet från *Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner, SS-EN 1992-1-1*, samt de krav som Trafikverket ställer i *TRVK Bro 11*.

6.3.5 Temperaturrörelser

Brons rörelser på grund av temperaturförändringar har beräknats och redovisas i [BILAGA 9 KAPITEL 1.4](#). De reaktionskrafter som uppstår på grund av temperaturrörelser har dock försummats vid dimensioneringen.

6.4 Återstående dimensionering

Dimensioneringen av bron är preliminär där flera moment återstår innan slutliga dimensioner fås. Kapitlet tar upp beräkningar och detaljutformningar som återstår innan ett komplett förslag kan presenteras.

I samtliga beräkningar tas ingen hänsyn till vridning av lådan och horisontella krafter, så som vindlaster, bromslaster och temperaturväxlingar. Inför den slutliga dimensioneringen måste dessa beaktas.

Utmattning är ett fenomen som kan uppstå efter lång tid med upprepade lastvariationer (Utmattning, 2013). När materialet utmattas uppstår små sprickor, som med tiden kan leda till utmattningsbrott. Tusentals fordon passerar bron dagligen och ger upphov till stora lastvariationer,

därför finns risk för utmattningsbrott. På grund av detta måste bron dimensioneras mot utmattning enligt Eurokoderna SS-EN 1990, SS-EN 1991-2, SS-EN 1992-1 och SS-EN 1992-2.

Ytterligare ett lastfall i tvärled som ska kontrolleras är att placera lasterna vid båda sidorna, men låta mitten vara obelastad. Det skulle ge upphov till stora dragspänningar i broplattans ovankant och troligtvis leda till större armeringsbehov i mitten.

För optimerad materialanvändning bör spännarmeringen kortas av där kapacitetsbehovet är mindre. Avkortning skulle även reducera antalet kablar som behöver förankras vid upplagen med en mindre ankringsyta och slankare liv vid upplag som följd.

Grundläggningen har beskrivits kortfattat, men dimensionering av pålning och ändstöd återstår. Pålningsberäkningar är en viktig del, då sättningar kan leda till förödande konsekvenser. Beräkningar av grundläggning görs enligt Eurokod SS-EN 1997-1.

Vid byggnationen ska ställningar och gjutform bära brons egenvikt innan betongen har härdat. Beräkningar måste utföras för att kontrollera att gjutform, ställningar och marken klarar belastningarna.

Tvärkraftsarmeringen i lådans liv har endast dimensionerats för maximal och minimal lastpåkänning. Livet blir därmed överdimensionerat då byglarnas intensitet inte avtar med minskande behov. Ytterligare beräkningar bör utföras för en mer anpassad tvärkraftsarmering.

För att förhindra erosion av vägbanken måste vingmurar dimensioneras för detta ändamål.

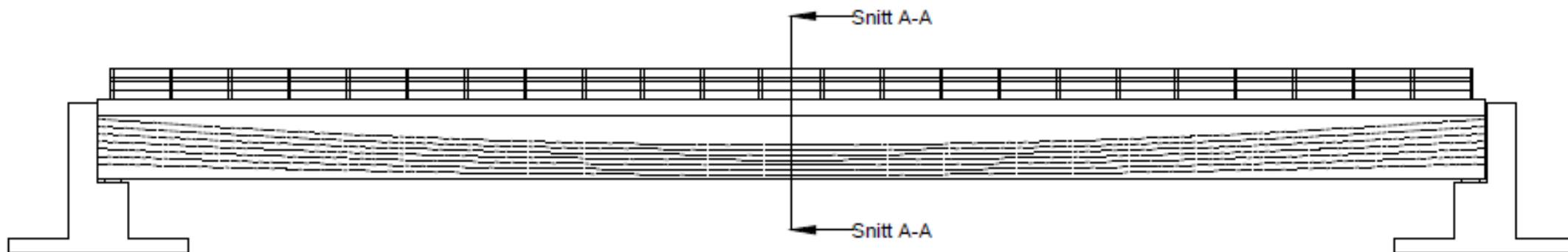
Dimensionering med hänsyn till extrema fall, såsom brand och kollisioner har inte utförts.

7. Resultat och skisser utifrån preliminärdimensionering

Nedan följer preliminära skisser för utformning och armeringsinläggning för en av de parallella broarna, den andra är identisk. Samtliga skisser finns mer utförliga i [BILAGA 10](#).

7.1 Bron i längsled

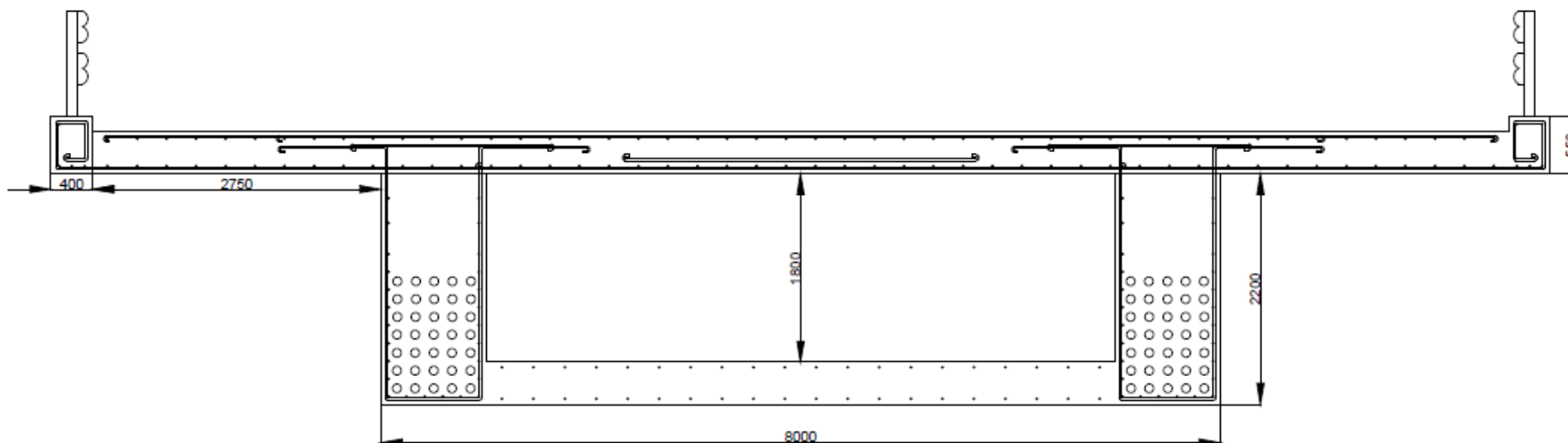
Figur 48 visar bron i längdled upplagd på lager som i sin tur är placerade på ändstöden. Brons totala längd uppgår till 47 meter med ett fritt spann, mätt från lagrens mitt, på 46 meter. Vägräcket är placerat på kantbalken överst i figuren och den parabelformade spännarmeringen är synlig i brons låda. Ett snitt har gjorts i mitten av bron för att visa på armeringsinläggning.



Figur 48: Preliminär utformning av bron i längdled med synlig parabelformad spännarmering

7.2 Brons tvärsnitt i Snitt A-A

Snitt A-A



Figur 49: Preliminär skiss av brons tvärsnitt med inlagd armering

Snitt A-A visar tvärsnittet av bron med dimensioner och armeringens inläggning, se Figur 49. Bron får en total bredd på 14.3 m och armeringsmängderna i tvärsnittet uppgår till:

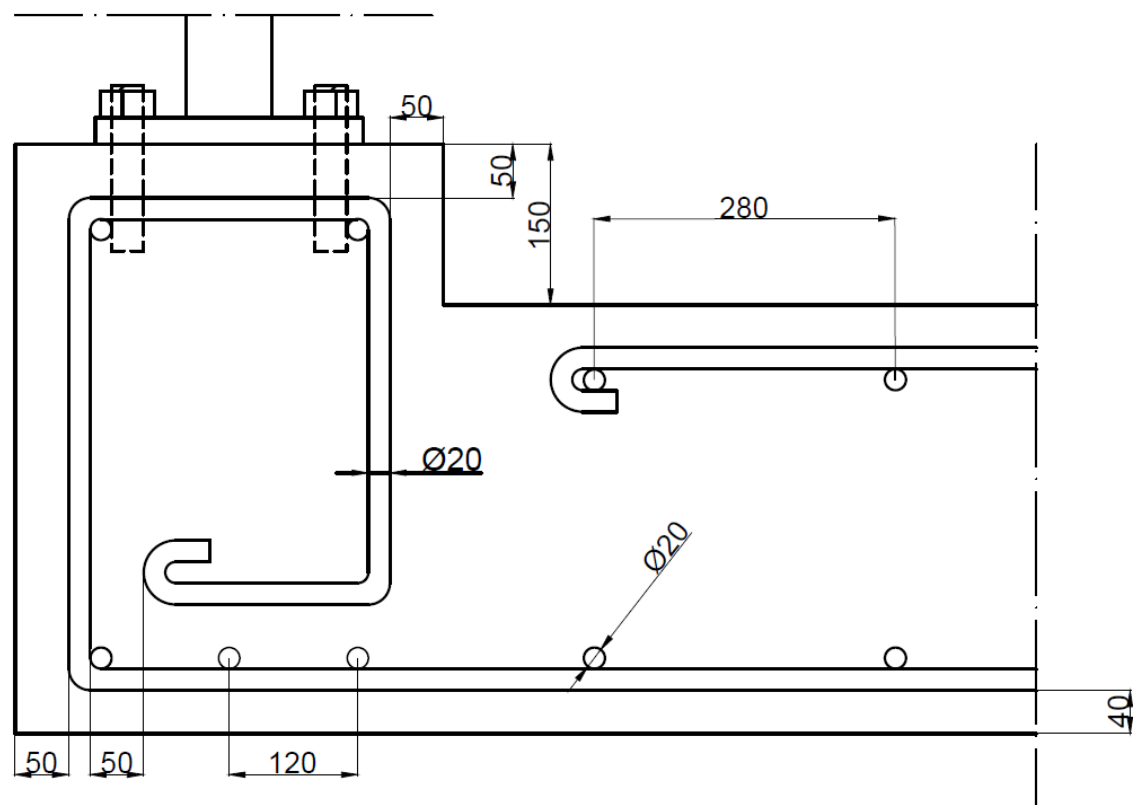
198 $\varnothing 20$ i längdled, då dessa går genom hela bron kommer de behövas skarvas var tolfte meter med en skarvlängd på 670mm.

70 $\varnothing 85$ urspänningsrör som spänner genom hela bron med 12C15 efterspänningskablar.

68 $\varnothing 20$ per breddmeter i tvärled av plattan med varierande längder, de längsta järnen skarvas var tolfte meter med en skarvlängd på 480mm för de nedersta stängerna i plattan och 680mm för de övre stängerna i plattan.

Slutligen tillkommer två stycken T-byglar för att ta hand om tvärkrafterna i konstruktionen, de återkommer med en intensitet på 600mm i närhet till stöd och 1.2 i mitten av bron.

7.3 Detaljskiss för kantbalk

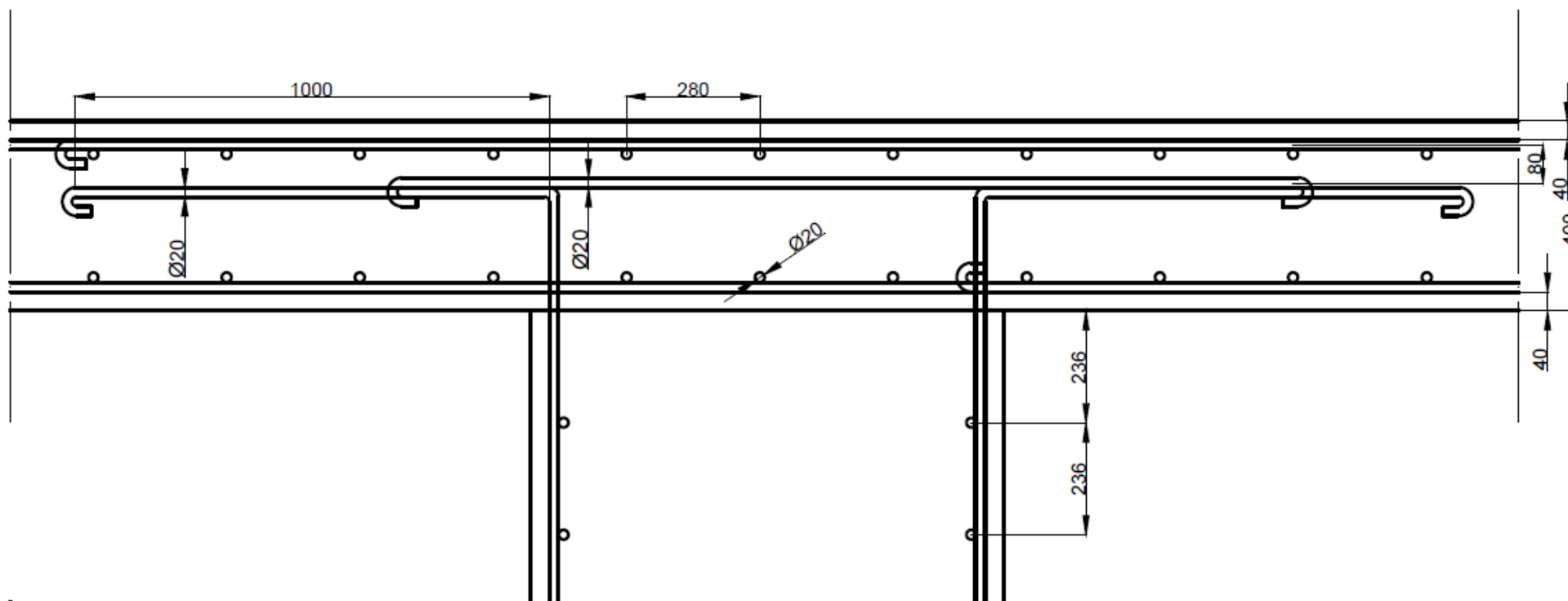


Figur 50: Preliminär detaljskiss av kantbalken med inlagd armering och principiell fast buntning av vägräcke.

I kantbalken sker armering genom att minimiarmeringen i plattan kommer att fortsätta ut i kantbalken för att sedan bockas i form av en LX-bygel. Bron är symmetrisk kring mitten vilket innebär att avstånden i denna figur är de samma i andra änden. Avståndet för den längsgående armeringen, 280mm, är den samma i hela plattan.

I Figur 50 är även principiell bultning av vägräcket synlig.

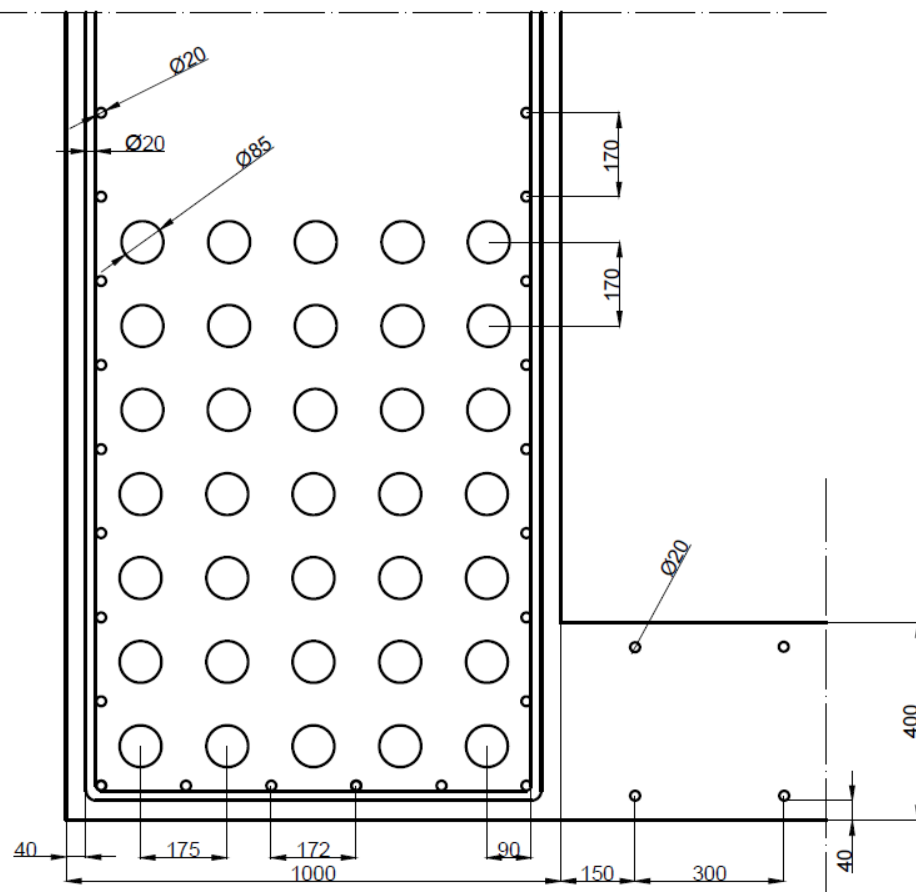
7.4 Detaljskiss över lådliv



Figur 51: Detaljskiss av brons tvärsnitt över stöd med inlagd slakarmering och tvärkraftsarmering

Över livet kommer tvärarmeringen gå upp i plattan och bockas av i formen av en T-bygel med förankringslängden 1000mm. I överkant liv syns fyra armerings järn, de är placerade symmetriskt i livets tryckta zon. Plattan är dragen i överkant över livet därför tillkommer ett extra lager med armering i tvärled, för avkortning av dessa se Figur 51.

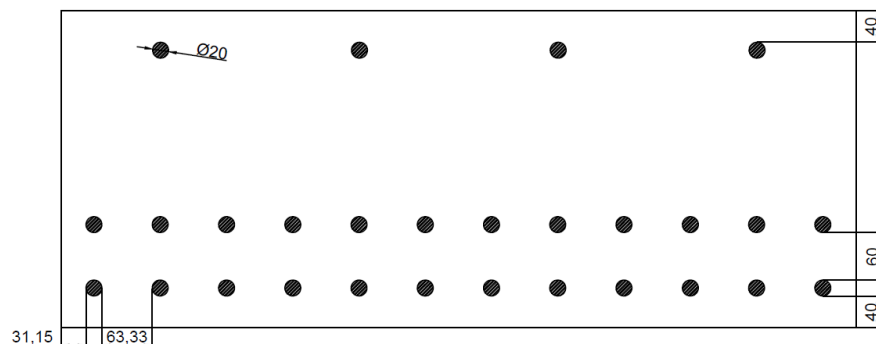
7.5 Detaljskiss för lådans liv



Figur 52: Detaljskiss över lådans livs med placering av slakarmering och ursparningsrör

Spännarmeringen är placerad i lådans liv på avstånden som beskrivs i Figur 52. Armering i botten av plattan är fördelad symmetriskt över hela tvärsnittet. All armering som syns i figuren är dragen

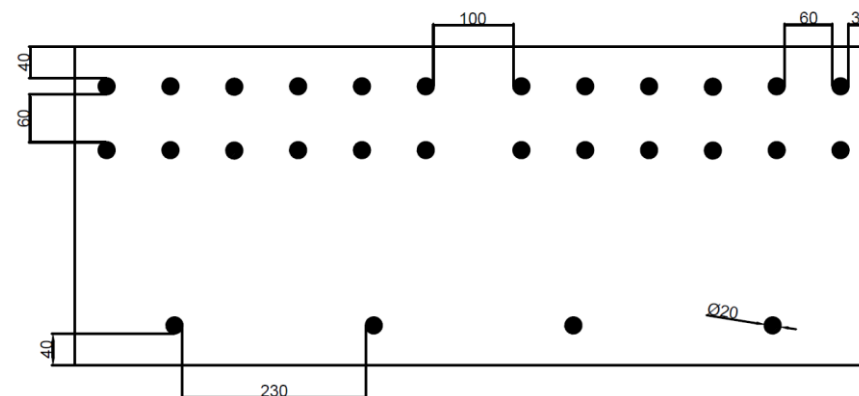
7.6 Skiss för ett segment av plattan i tvärled



Figur 54: Skiss för ett segment av plattan i tvärled mitt över lådan

Analys av de två mest kritiska tvärsnitten visar att dragarmeringsbehovet uppgår till 24st $\phi 20$ stänger samt 4st $\phi 20$ stänger i tryckzonen. Stängernas placering framgår av Figur 53 och Figur 54.

De kritiska snitten med avseende på moment är belägna direkt över stöd och i mitten av fältet. Den identiska armeringsinläggningen för de båda tvärsnitten beror på att lasteffekterna här uppgår till nästan lika stora värden.



Figur 53: Skiss för ett segment av plattan i tvärled över lådans liv

7.6.1 Resultat för brukgränsberäkningar i tvärled, sprickavstånd och sprickbredd

Plattan spricker upp över stöd och i fält. För båda fallen gäller att sprickorna uppstår i en skyddad miljö vilket medför att en något större sprickbredd kan tillåtas än vad som annars anses acceptabelt. Över stöd skyddas det spruckna området av vägbansans beläggning och i fält sker sprickbildningen inne i lådan där risken för korrosion är låg.

Sprickbildningen i fält kan dessutom försummas av den anledningen att de där endast uppkommer på grund av korttidsmomentet. Då beräkningarna enligt norm baseras på långtidsmomentet för konstruktionens egenvikt fås den effekt att den av korttidsmomentet uppspruckna undersidan istället blir tryckt och därmed sluts sprickorna, jämför Diagram 1 och Diagram 3 i [KAPITEL 6.2.1.6](#). Den för långtidsfallet dragna ovansidan i fält kommer inte spricka upp då momentpåkänningarna där aldrig överstiger sprickmomentet M_{cr} .

Beräkningsresultaten över stöd visas nedan.

Avstånd mellan sprickor: 188 mm

Sprickbredd: 0,29 mm

7.6.2 Resultat från beräkningar längsgående riktning

Nedböjning samt sprickor

Spännarmeringen är dimensionerad så att det inte uppkommer några sprickor och nedböjningen hålls så liten som möjligt. Enligt beräkningar i [BILAGA 9 KAPITEL 1.2](#), så behövs 70 stycken spännkablar som ligger parabelformade genom balken och placeras in i tvärsnittet enligt Figur 48 i [KAPITEL 7.1](#). Det spännarmeringssystem som använts är Freyssinet 12C15. Spännkraften i kablarna uppgår till 109 MN, vilket medför att det inte uppkommer några sprickor i tvärsnittet. Nedböjningen på balken kommer uppgå till 0.094m vid maximal last, för beräkningar se [BILAGA 9 KAPITEL 1.3](#).

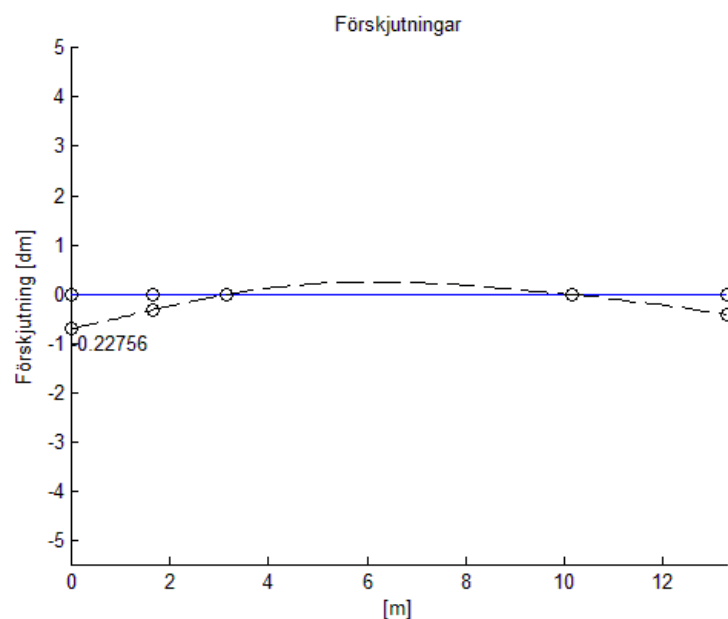
Tvärkraftsarmeringen förankras på längden $l_{bd} 50 \cdot \Phi$

Förlängningen på grund av temperaturförändringen har beräknats mellan två extremvärden, -20°C och 40°C och gav en förlängning på 2.5cm i longitudinellt.

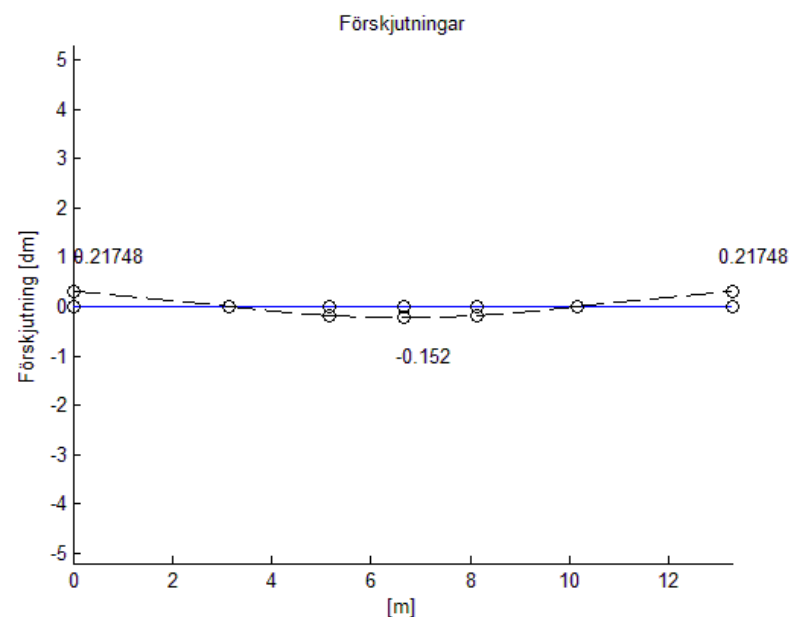
7.6.2 Resultat för brukgränsberäkningar i tvärläng, plattans nedböjning med CALFEM

Beräkning av plattans nedböjning har utförts både i fält och längst ut på konsolen. I dessa beräkningar har de dimensionerande lasterna reducerats för att beakta den lastspridning som sker i plattan. De nedböjningar som fås kan anses vara acceptabla då beräkningsmodellen baseras på ett en meter brett balksegment som plockats ut ur plattan. I det verkliga fallet fås en betydande gynnsam effekt på nedböjningarna då hela plattan är styvare än det enskilda balkelementet som beräkningarna baseras på.

För deformationsfigurer se Figur 55 och Figur 56.

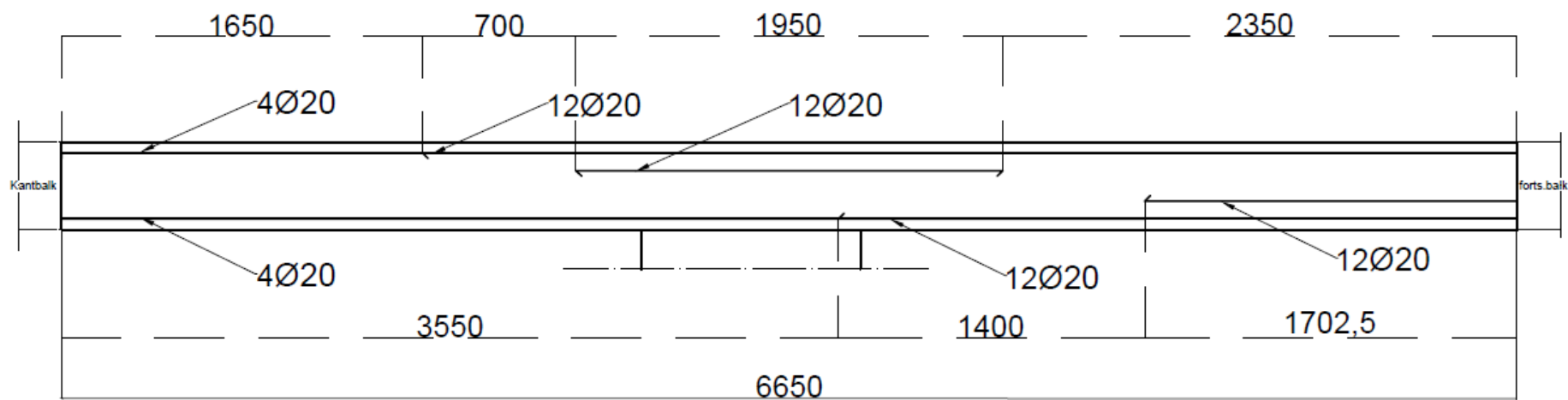


Figur 55: Nedböjning för lastfall 1



Figur 56: Nedböjning lastfall 2

7.6.3 Armeringsavkortning i tvärled



Figur 57: Avkortning av armeringen i plattans tvärled, kantbalken är belägen till vänster och snittet till höger är i mitten av plattan.

Armeringen i plattan har kortats på följande sätt och är symmetriskt runt mitten, se Figur 57.

8. Diskussion

Nedan följer ett resonemang om antaganden, genomförandet och resultatet av rapporten.

8.1 Inledande antaganden

De avgränsningarna som görs i början av rapporten har till stor del styrt rapporten då krav som ekonomi i verkligheten skulle fått stor inverkan på valet av bron. Det var dock rättfärdigat att bortse från detta under framställning av brokonceptet då inga krav på kostnader hade angivits och det hade begränsat valfriheten. Dock utfördes några överslagsberäkningar av kostnader i rapporten då det anses viktigt att skapa sig en uppfattning av kostnaden att bygga en bro.

Byggtiden av bron bortses från, då det som för ekonomin inte angivits några krav på maximal byggtid. Detta innebar det att valfriheten ökade och fokus kunde läggas på andra aspekter.

De geotekniska avgränsningarna gjordes då detta ansvar ansågs ligga mer hos geotekniker än hos konstruktörer, dock fördes vissa resonemang kring ämnet och en grundläggningsmetod valdes.

De horisontella lasterna avgränsades bort då kunskap ansågs fattas för att göra en fullständig dimensionering av dessa.

8.2 Litteraturstudien

Litteraturstudien ligger som grund för framtagandet av ett lämpligt brokoncept. Dess upplägg och struktur syftar till att ge läsaren en god uppfattning om vilka faktorer som påverkar valet av bro och ska dessutom motivera poängfördelningen i den senare matrisviktningen.

Tanken bakom studiens upplägg är att först gå igenom olika aspekter på detaljnivå för att sedan titta mer övergripande på olika broalternativ. En fråga som lätt dyker upp i sammanhanget är då om alla texter verkligen är relevanta och bidrar till att ge en grund för valet av koncept. I en verklig broutrledning förklaras till exempel inte möjliga materialval eller hur en huvudinspektion utförs på plats. Då arbetet riktas till studenter som inte är insatta i ämnet anses dock texterna vara relevanta och bidra till ett väl avvägt resultat.

En annan viktig fråga är texternas trovärdighet, framförallt för de texter som är av beskrivande karaktär och redogör för olika utförandesätt och metoder. I några stycken, främst de som beskriver de kvarvarande brokoncepten innan viktning samt produktionsmetoder, har en hel del egna antaganden tagits som komplement till källor om hur det fungerar i praktiken. Slutsatserna bedöms rimliga men måste ifrågasättas. Även beskrivningar som stöds direkt med en källa skulle kunna innehålla felaktigheter, på grund av begränsade erfarenheter av hur det fungerar vid en brobyggnation.

8.3 Viktning av kriterier

Metoden att först vikta kriterier mot varandra ger bra förutsättningar för en rättvis viktning mellan brokoncepten. Det ger de kriterier, som anses viktiga utifrån syftet med projektet, större påverkan i den slutgiltiga viktningen. Poängsystemet som används är bra då det inte lägger stor värdering i hur viktigt något kriterium är, utan enbart bedömer om det är viktigare eller mindre viktigt än något annat.

Ett av de stora problemen med denna metod är subjektiviteten som inte går att undvika när till exempel kriterium som miljö, ekonomi och utseende jämförs. Då det inte finns någon fakta att basera poängsättningen på måste det baseras helt på författarnas egna åsikter om vad som är viktigt. Vissa av dessa problem löstes genom att redan i syftet fastställa att ekonomi skulle vara av underordnad betydelse medan utseendet av bron skulle vara mer viktigt.

Ytterligare en nackdel med metoden är att rätt kriterier måste väljas för att få en objektiv viktning. Om för få kriterier väljs kan obetydliga kriterier få för stor genomslagskraft i viktningen, men väljs för många kriterier kan viktiga kriterier få för liten genomslagskraft.

Ett alternativt sätt att göra viktningen hade till exempel varit att ge alla kriterier poäng, 1-10, beroende på hur viktiga de anses vara. Ett sådant genomförande hade kanske blivit mer rättvist sinsemellan kriterierna men problemet är att det då kommer in ännu mer värderingar och personliga åsikter vilket försvårar och försämrar metoden.

8.4 Viktning av brokoncept

Metoden som används har fördelen att relativt lite utrymme ges till subjektiva bedömningar, den kan dock anses orättvis i de fall då skillnaden mellan den sämsta och bästa bron är liten men poängskillnaden ändå blir stor. Detta kan ge felaktiga utslag i resultatet om det inträffar för betydelsefulla kategorier. En utvärdering av viktningen visar dock att brokoncepten skiljer sig mycket åt i samtliga kategorier, därmed bedöms viktningsmetoden vara bra.

Noterbart är att *Lådbalkbron i betong* fick högst poäng i viktningen trots mycket låga poäng i de viktiga kriterierna *Utseende* och *Okonventionell design*. Därmed kan lådbalkbron anses vara ett mycket bra koncept ur övriga aspekter.

Det finns även andra modeller som kan användas vid viktningen. Viktningen kan ske i relation till en utomstående bro, där hög poäng ges till broar som är bra jämfört med referensbron. Till exempel: bro A kräver lite underhåll jämfört med referensbron och får därför hög poäng. Viktningen kan även ske i relation till ett väldefinierat önskemål, där hög poäng ges till broar som uppfyller önskemålen väl. Till exempel: bro B uppfyller inte önskemålet om kort byggnationstid och får därför låg poäng. Svårigheterna med dessa modeller ligger i att ställa upp väldefinierade och relevanta ramar att jämföra med och sedan göra en konsekvent bedömning. Vid dessa två metoder finns även stort utrymme för subjektiva bedömningar.

8.5 Beräkningar

I kapitlen nedan följer en diskussion kring beräkningarnas rimlighet. Diskussionen handlar framförallt om giltigheten i förenklingar och antaganden.

8.5.1 Lastframtagning och framtagning av moment och tvärkrafter i tvärled

Vid lastframtagning en görs ett flertal antaganden som påverkar resultatet, bland annat antas broplattan ha konstant tjocklek och axellasterna antas verka som en centrerad punktlast. Båda dessa antaganden är dock på säkra sidan, alltså resulterar i större dimensionerande moment och tvärkrafter, och bedöms därför inte orsaka någon säkerhetsrisk. Säkerheten är alltid det viktigaste och därmed är antagandena godtagbara. Av samma anledning anses det godtagbart att försumma reducering av axellaster på grund av lastspredning. Då breda stöd används ska momentet över stöd reduceras, detta har inte gjorts, utan momenten har antagits oreducerade.

En stor felkälla som dock inte är på säkra sidan är att endast två lastfall har undersökts. För att täcka in samtliga kritiska moment och tvärkrafter bör fler lastfall användas vid lastframtagningen.

8.5.2 Dimensionering av broplattan i tvärled

Vid dimensioneringen av broplattan i tvärled har ett segment av plattan lyfts ut och därefter betraktats som ett en meter brett balkelement. Det har resulterat i en lätthanterlig beräkningsmodell i vilken all samverkan med den övriga plattan har bortsetts ifrån. Utan en gynnsam samverkan med den övriga plattan har beräkningarna utförts med en modell som redan från start underskattar den verkliga konstruktionens förmåga att ta upp laster. Ett mer verklighetsnära resultat hade uppnåtts om broplattan modellerats som en platta, men det hade också inneburit en mer komplicerad beräkning. Eftersom förenklingen ger resultat på säkra sidan är det ett acceptabelt antagande.

Då de dimensionerande lastfallen inte har tagit hänsyn till punktlasters spridning i en platta fås mycket stora dimensionerande laster, det här i kombination med den förenklade balkmodellen och det faktum att stödets utbredning har försummats vid momentanalysen leder troligtvis till att plattan är något överdimensionerad.

I beräkningarna har ingen hänsyn tagits till horisontella laster, olyckslaster samt broms- och vindlaster. Det här innebär att dimensioneringen inte är fullständig.

8.5.3 Dimensionering av bron i längsled

Antagande om att det neutrala lagret sammanfaller med bruttotvärsnittets tyngdpunkt överensstämmer inte med verkligheten. Med all inlagd armering stämmer detta inte riktigt varför en mer noggrann analys bör ingå i den fortsatta dimensioneringen. Neutrala lagret bör rimligtvis ligga längre ner i tvärsnittet vilket påverkar inre hävarmen för all armering. Det i sin tur kan ge utslag på brons nedböjning och armeringsbehov.

Att varken spännarmeringen har avkortats eller tvärkraftsarmeringen har mängdoptimerats gör att bron har givits en onödig överkapacitet. Nackdelar med detta är dels de onödiga kostnaderna för extra armering samt den ökade risken för sprödare brott.

På grund av bristande erfarenhet av spännarmerade konstruktioner är det svårt att bedöma rimligheten i de framtagna dimensionerna för tvärsnittet samt spännarmeringens omfattning. Osäkerheten har medfört att alla beräkningar har utförts på säker sida vilket har bidragit till att bron är överdimensionerad för både moment och tvärkraft.

8.6 Resultat och skisser

De skisser som redovisas i [BILAGA 10](#) är ett resultat av den preliminära dimensioneringen i längsled och tvärled. Diskussion kring dessa dimensioneringar finns i Kapitel 8.5. Skisserna är inte kompletta då delar så som stöd, vägräcke och inplacering av tvärarmering inte är utförd. Dock har delarna valts att vara med i skisserna med uppskattade dimensioner för att ge en uppfattning av hur den slutgiltiga konstruktionen kommer att se ut.

Slakarmeringen i Snitt A-A är inplacerad för att ligga symmetriskt runt mitten och uppfylla kraven på minimiarmering och inte krocka med varandra. På sina ställen kan det leda till lite konstiga placeringar, men då det är en skiss för att ge en uppfattning om mängder och ungefärlig placering fungerar det bra. Förutom dessa förenklingar och antaganden fungerar skisserna bra för att få en uppfattning om hur de slutgiltiga tvärsnitten kommer att se ut.

Bron har dimensionerats med ett fritt spann på 46 m. Enligt den tekniska beskrivningen är det dock den totala brolängden som ska uppgå till nämnda längd. Avvikelsen från kravet grundar sig inte i ett aktivt beslut utan beror på en feltolkning av uppgifterna i arbetets inledande fas.

Brons nuvarande utformning uppfyller inte fullt ut de estetiska förhoppningar som uttrycks i syftet. Med små åtgärder så som voter, lutande liv och avsmalnande platta kan dock det visuella intrycket förbättrats.

För att skisserna ska bli kompletta krävs även att de placeras in enligt platsens förutsättningar, det vill säga med lutning i vertikal- och horisontalled

8.7 Källkritik

De källor som har använts i studien betraktas som trovärdiga. De består mestadels av direkta kontakter med experter inom branschen och utgivna böcker på området. Fakta som lyfts fram är främst beskrivande och redogör för olika tillvägagångssätt vid arbeten, egenskaper hos material och verkanssätt hos konstruktioner. Den sortens information ger mycket lite utrymme för vinklade åsikter, vilket medför att den typen av källkritik inte blir aktuell. Information har till viss del även hämtats från inriktade intresseorganisationer, de kan lätt lägga in åsikter i det som påstås vara fakta vilket måste tas i beaktning.

9. Slutsats

Rapportens resultat anses uppfylla de mål som ställdes i syftet. Samarbetet mellan de tre expertisgrupperna har fungerat väl och lett fram till ett väl fungerande koncept som utifrån dimensionering och kontroller enligt Eurokod klarar av att bära lasterna under hela sin livslängd. De tekniska kraven som ställdes av trafikverket möttes, med vissa undantag. Målet om att skapa en estetiskt tilltalande bro nås i nuvarande utförande inte riktigt, men i en fullständig dimensionering kan små åtgärder göras för att få en vackrare konstruktion.

Överlag anser författarna att arbetet har resulterat i en rimlig brokonstruktion, en lyckad rapport och ser fram emot att i framtiden få möjligheten att utföra fullständiga dimensioneringar av liknande koncept.

Källförteckning

Textkällor

1994-09 Publ1994:1 *Allmän teknisk beskrivning för broar* BRO 94. Borlänge, Vägverket.

2007-03-26 BVH 583.20 *Broprojektering*. Borlänge, Banverket.

Al-Emrani, M., et al. (2011) *Bärande konstruktioner Del 1*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Rapport: 2011:11)

Al-Emrani, M., et al. (2011) *Bärande konstruktioner Del 2*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Rapport: 2011:11)

Blank, S. A., Blank, M. M., Luberas, L.R. (2000) "Concrete Bridge Construction." [Elektronisk] *Bridge Engineering Handbook*. Ed. Chen, W-F., Duan, L., Boca Raton: CRC Press.

Burström, P-G. (2007) *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Upplaga 2. Lund: Studentlitteratur AB.

Brockenbrough, R. A. (2009) "Highway Engineering Handbook : Building and Rehabilitating the Infrastructure." [Elektronisk] *Upplaga tre*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Domone, P. L. J., Illston, J. M. (2010) *Construction materials – Their Nature and Behavior*. Fjärde upplagan. New York: Spon Press.

Duan, L., Chen, K., Tan, A. (2000) "Prestressed Concrete Bridges." [Elektronisk] *Bridge Engineering Handbook*. Ed. Chen, W-F., Duan, L., Boca Raton: CRC Press.

Durkee, J. (2000) "Steel Bridge Construction" [Elektronisk] *Bridge Engineering Handbook*. Ed. Chen, W-F., Duan, L., Boca Raton: CRC Press.

Fagerlund, G. (2011a) *Inverkan av salter på betong*. Stockholm: Elforsk. (Elforsk Rapport 12:29)

Fagerlund, G. (2011b) *Ytreparationer av betongkonstruktioner*. Lund: Lunds tekniska högskola.

International Federation for Structural Concrete (fib). (2000) *Guidance for good bridge design*. Stuttgart: Sprint-Druck.

Fox, G.F. (2000) "Arch Bridges." [Elektronisk] *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press.

Fridley, K.J. (2000) "Timber Bridges" [Elektronisk] *Bridge Engineering Handbook*. Ed. Chen, W-F., Duan, L., Boca Raton: CRC Press.

Jernkontoret. (2013a) *Processernas miljöpåverkan*, www.jernkontoret.se.
http://www.jernkontoret.se/stalindustrin/staltillverkning/processernas_miljopaverkan/index.php. (2013-05-07)

Jernkontoret. (2013b) *Användning*, www.jernkontoret.se.
<http://www.jernkontoret.se/stalindustrin/staltillverkning/anvandning/index.php>. (2013-05-07).

Johnson, S., Leon, R T. (2002) *Encyclopedia of Bridges and Tunnels*. New York: Facts on File.

Lagerblad, B. (2009) Betong tar upp koldioxid under hela sin livstid. *Husbyggaren*, vol. 2009, nr. 6, ss. 36-37.

Lerslag. (2013) I *Nationalencyklopedin*. <http://www.ne.se/lerslag>. (2013-02-28).

Utmattning. (2013) I *Nationalencyklopedin*. <http://www.ne.se/lang/utmattning>. (2013-05-17).

Pousette, A., Fjellström, P-A. (2004) *Broinspektion - träbroar*. Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. (SP Rapport 2004:41).

Reuterswärd, P. (2010) *Optimal skötsel av stålbroar*. Stockholm: Swerea KIMAB. (KIMAB rapport: 2010-130).

Ryall, M.J. (2010) *Bridge Management*. [Elektronisk]. Upplaga 2. Oxford: Elsevier Ltd.

Pålkommisionen. (2007) Pålgrundläggning – grundinformation för projektörer. <http://www.palkommissionen.org/getfile.ashx?cid=256323&cc=3&refid=1>. (2013-03-02).

Saleh, Y., Duan, L. (2000) "Conceptual Bridge Design." [Elektronisk] *Bridge Engineering Handbook*. Ed. Chen, W-F., Duan, L., Boca Raton: CRC Press.

Sehlå, B. (2013) Konstruktionsstål. www.sbi.se.
http://www.sbi.se/omraden/o_dokument.asp?mId=9&kId=44&subKId=0&mgrp=0&dId=36. (2013-04-08).

SIS: Eurokod 1 - Laster på bärverk- Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2.

SIS: Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990.

Skogsindustrierna. (2004) *Att välja trä*. Stockholm: Skogsindustrierna.

SMHI. (2013) Västergötlands klimat. www.smhi.se.
<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/vastergotlands-klimat-1.4902>. (2013-04-16).

Stålbyggnadsinstitutet. (2013) Tillverkning/Montering/Kontroll. www.sbi.se.
http://www.sbi.se/omraden/o_kat_dokument.asp?mId=3&kId=70&subKId=0&mgrp=0 (2013-01-27).

Svenskt trä. (2013) Miljöskäl. www.traguiden.se.
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/GeneralPage.aspx?id=950>. (2013-02-19).

Trafikverket. (2001) Väg 40 delen Dällebo – Hester Vägutredning. www.trafikverket.se. (2013-02-12).

Trafikverket. (2010) Fastställelsebeslut för arbetsplan. www.trafikverket.se.
<http://www.trafikverket.se/PageFiles/5767/TRV2010-17612OPR40%20D%c3%a5llebo-Hester.pdf>. (2013-02-12).

Trafikverket. (2012a) Väg 40 Ulricehamn ska byggas ut till motorväg – Bakgrund. www.trafikverket.se. (2013-02-12).

Trafikverket. (2012b) Utbyggnad av väg 40 Ulricehamn till motorväg – Projektinformation februari 2013. www.trafikverket.se. (2013-02-12).

Trafikverket. (2012c) Drift och underhåll av broar och tunnlar. [YouTube] <http://www.youtube.com>. (2013-05-09).

Trafikverket. (2013a) *Mätning/bedömning*. <https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/M%C3%A4tningBed%C3%B6mning.aspx>. (2013-03-20).

Trafikverket. (2013b) *Särskild inspektion*. [https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/Inspektion_Särskildinspektion.aspx](https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/Inspektion_S%C3%A4rskildinspektion.aspx). (2013-03-20).

Trafikverket. (2013c) *Allmän inspektion*. [https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/Inspektion_allmäninspektion.aspx](https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/Inspektion_allm%C3%A4ninspektion.aspx). (2013-03-20).

Vinayagamoorthy, M. (2000) *"Maintenance, Inspection and Rating."* [Elektronisk] *Bridge Engineering Handbook*. Ed. Chen, W-F., Duan, L., Boca Raton: CRC Press.

Ulricehamns kommun. (2006) Skyddsföreskrifter. www.ulricehamn.se.
http://www.ulricehamn.se/upload/miljo_bygg/miljo_halsa_privat/vattenskyddsomr/U-hamns%20kommun/skyddsforeskrifter/ulricehamn_foreskrift.pdf (2013-05-06)

Ulricehamns kommun. (2013a) Ulricehamns vattentäkt. www.ulricehamn.se.
http://www.ulricehamn.se/upload/miljo_bygg/miljo_halsa_privat/vattenskyddsomr/U-hamns%20kommun/ulricehamn.pdf. (2013-04-16).

Ulricehamns kommun. (2013b) Vad gäller för mig som har ett upplag inom Ulricehamns kommuns egna vattenskyddsområden?. www.ulricehamn.se. (2013-04-16).

Ulricehamns kommun. (2013c) Vad gäller om jag gräver och schaktar inom Ulricehamns kommuns egna vattenskyddsområden?. www.ulricehamn.se. (2013-04-16).

Ulricehamns kommun. (2013d) Vad gäller för mig som hanterar kemikalier inom Ulricehamns kommuns egna vattenskyddsområden?. www.ulricehamn.se. (2013-04-16).

Ulricehamns kommun. (2013e) Vad gäller för mig som har cistern inom Ulricehamns kommuns egna vattenskyddsområden?. www.ulricehamn.se. (2013-04-16).

Vägverket. (1996) *Broprojektering – En handbok*. Borlänge: Vägverkets tryckeri.

Vägverket. (1998) *Förebyggande underhåll – allmän teknisk beskrivning (ATB) för broar*. Borlänge.

Åstedt, B. (2013) Stålets egenskaper. www.sbi.se.
http://www.sbi.se/omraden/o_dokument.asp?mId=9&kId=44&subKId=0&mgrp=0&dId=118. (2013-04-08).

Bild- och figurkällor

Civertan. (2010) Megyeri bridge, m [www.wikipedia.com](http://en.wikipedia.org/wiki/Megyeri_Bridge).
http://en.wikipedia.org/wiki/Megyeri_Bridge (2013-05-13).

Ellgaard, H. (2010) Lager (Byggnadsteknik). [www.wikipedia.se](http://sv.wikipedia.org/wiki/Lager_%28byggnadsteknik%29).
http://sv.wikipedia.org/wiki/Lager_%28byggnadsteknik%29 (2013-05-08).

Frico. (2013) Rudsølv bru, Norge

- Gastin, G. (2013) Forth Bridge. *www.wikipedia.com*.
http://en.wikipedia.org/wiki/Forth_bridge (2013-05-13).
- Keibr. (2008) Sandö Bridge. *www.wikipedia.com*.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Sand%C3%B6bron> (2013-05-13).
- Lannér, G et al. (2000) *Kurskompendium "Väg- och Gatuutformning"*. Göteborg
- Luen. (2011) Partihallsförbindelsen. *www.wikipedia.se*.
<http://sv.wikipedia.org/wiki/Partihallsf%C3%B6rbindelsen> (2013-05-13).
- Maurer Söhne (2013) Maurer Pot Bearings Technical information, dimensions and weights.
http://www.maurer-soehne.com/files/bauwerkschutzsysteme/pdf/en/brochure/MAURER_Pot_Bearings.pdf (2013-05-18)
- Niewiroski Jr, R. (2007) Golden gate bridge, *www.wikipedia.com*.
http://en.wikipedia.org/wiki/Golden_Gate_Bridge (2013-05-13).
- Skogsindustrierna. (2004) *Att välja trä*. Stockholm: Skogsindustrierna.
- Sundström, T. (2013) Broingenjör Vectura. Mailkontakt (2013-03-07)
- Trafikverket. (2001) Väg 40 delen Dällebo – Hester Vägutredning. *www.trafikverket.se*. (2013-02-12).
- Trafikverket. (2010) BaTMan Bro och tunnel management – handbok.
https://batmanhandbok.vv.se/Handboken_Bilder/Plattbro_Bild3.JPG (2013-05-08)
- Trafikverket. (2012b) Utbyggnad av väg 40 Ulricehamn till motorväg – Projektinformation februari 2013. *www.trafikverket.se*. (2013-02-12).

Bilagor

Bilaga 1	Teknisk beskrivning
Bilaga 2	Förslagsritning
Bilaga 3	Beräkning av konstruktionshöjd
Bilaga 4	Överslagsberäkning för materialkostnader
Bilaga 5	Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment-och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott-och bruksgräns
Bilaga 6	Dimensionering av betongfarban i tvärled
Bilaga 7	Beräkningar av nedböjning
Bilaga 8	Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobana i brott- och bruksgräns
Bilaga 9	Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering
Bilaga 10	Ritningar
Bilaga 11	Exponeringsklasser

Bilaga 1

Teknisk beskrivning



**TRAFIKVERKET
PROJEKT VÄG 40 DÄLLEBO-ULRICEHAMN**

DELEN DÄLLEBO-HESTER, ETAPP 2

VÄSTRA GÖTALANDS LÄN

TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVERK

avseende

15-1760-1 (SÖDRA) OCH -2 (NORRA)

SAMT ANSLUTANDE PÅLDÄCK -3 (PÅLDÄCK VÄST) OCH -4 (PÅLDÄCK ÖST)

BRO ÖVER ÄTRAN I ULRICEHAMN, KM 13/930

OBJEKTNR 85 43 60 30

CHAOSNR 2K110003

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	10
C2. Befintliga konstruktioner	10
C2. Befintliga konstruktioner/ Elledning	10
D. VÄGANLÄGGNING	11
DB. Vägkonstruktion	13
DB2. Underbyggnad/ Vägbro	13
DC. Vägbro	14
DC1. Bärverk i vägbro	14
DC12. Balk/ Kantbalk	14
DC13c. Upplagsanordningar	14
DC13cb. Lager	14
DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning	15
DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning	15
DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta	15
DC3. Komplettering i vägbro	15
DC31. Beläggning	16
DC33. Tätskikt, skyddslager	16
DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt	16
DC33. Tätskikt, skyddslager/ Skyddslager	16
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa	16
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningdubb	16
DC4. Slänt eller kon	16
DC41. Slänt	16
DC42. Kon	17
DC43. Erosionsskydd vid vattendrag / Tillfälligt	17
DC44. Erosionsskydd vid vattendrag / Permanent	17
DE. Avvattningssystem	17

DE2. Dränvattensystem	17
DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro	17
DF. Trafikskyddsanordning	18
DF2. Räcke	18
DF21. Sidoräcke	18
DF21. Sidoräcke/ Broräcke	18
X. DOKUMENTATION	19
X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering	19
XB. Projekteringshandling	19
XB. Projekteringshandling/ Design basis	19
XC. Arbetshandling	19
XC. Arbetshandling/ Vägbro	19
XD. Relationshandling	20
XD. Relationshandling/ Vägbro	21

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
15-1760-1 och -2 Bro över Ätran samt anslutande påldäck -3 och -4

Dokumentslag: 2K110003, 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. Brobaneplatta/ Platsgjuten brobaneplatta" där brobaneplatta är konstruktion och platsgjuten brobaneplatta är typ av sådan konstruktion.

Kravhierarkier

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

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

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

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

Förteckning över okodade underrubriker

Under okodade underrubriker anges krav indelade enligt följande.

De okodade underrubrikerna är:

- Omfattning
- Funktion
- Teknisk lösning
- Kontroll

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

Under "Funktion" hanteras följande:

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

Under "Teknisk lösning" hanteras följande:

- Material
- Vara
- Konstruktion
- Utförande
- Märkning

Under "Kontroll" hanteras följande:

- Provning (inklusive mätning)
- Beräkning
- Besiktning

B. TRAFIK

B1. Vägtrafik

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

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

C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER

Omfattning

De befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar, som berörs eller behöver 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 245G1101, 245G1201 och 201G13BL–201G13BP.

C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden

Omfattning

Bron med påldäck kommer att uppföras kring Ätrons åfåra. På ömse sidor om åfåran består terrängen av åker- och ängsmark. Strandbrinkarna är trädbevuxna. Ungefär 50m öster om Ätran sträcker sig Väg 46 i syd-nordlig riktning. Ätran är nedskuren till botten nivå +161. Åker- och ängsmarken ligger ungefär på nivån +166 på västra sidan och på +167 på östra sidan.

C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden

Omfattning

Västra sidan om Ätran

Djupet till berg varierar mellan 66 (+100) och 69m (+98).

Överst består jordlagren av postglaciala svämsediment av siltig sand med mycket låg relativ fasthet till ungefär 2m djup (+164,5). Svämsedimenten vilar på finkorniga sediment bestående av växelvisa varvade lager av sand/torv och siltig finsand till ungefär 9m djup (+157) där relativa fastheten är mycket låg. Därunder förekommer siltig lera till ungefär 12m djup

(+154) med mycket låg relativ fasthet vilande på silt och finsand till ungefär 31m djup (+135) där relativa fastheten är medelhög - hög. Därunder bedöms jordlagren bestå av glaciala grovkorniga sediment av stenig sand och grus till ungefär 62m djup (+104) med en hög- mycket hög relativ fasthet vilande på en mycket blockig bottenmorän på berg med mycket hög relativ fasthet. I moränen har 2 st 0,6m och ett 1,2m stort block genomborrats.

Den naturliga vattenkvoten är uppmätt till mellan 30 och 50% i sand/torv, mellan 85 och 114% i siltig torv, mellan 40-55% i siltig finsand, 30 % i finsand, 25% i silt och till mellan 30 och 45 i siltig lera. Konflytgränsen är uppmätt till 50% i den siltiga leran.

Den siltiga lerans karakteristiska skjuvhållfasthet sätts till 40 kPa och sensitiviteten till mellan 15 och 20.

Bedömda värden på karakteristisk inre friktionsvinkel Φ'_k . Värdena har korrigerats för siltig jord.

Mycket låg relativ fasthet $\Phi'_k = 28^\circ$

Låg relativ fasthet $\Phi'_k = 30^\circ$

Medelhög relativ fasthet $\Phi'_k = 33^\circ$

Hög relativ fasthet $\Phi'_k = 35^\circ$

Mycket hög relativ fasthet $\Phi'_k = 39^\circ$

Östra sidan om Ätran

Djupet till berg varierar mellan 61 (+92) och 72m (+105).

Överst består jordlagren av postglaciala svämsediment av siltig finsand med mycket låg relativ fasthet till ungefär 1,5 till 2,5m djup (+165). Svämsedimenten vilar på finkorniga sediment bestående av varvade lager av sandig silt, siltig torv, torvig siltig finsand och siltig finsand med växtdelar till ungefär 8m (+159) djup. Relativa fastheten är här mycket låg. Därunder består jordlagren av finkorniga sediment av silt och finsand till ungefär nivån +117 med en relativ fasthet som är mycket låg till nivån +156, låg till nivån +151, medelhög till nivån +144, hög till nivån +131 och mycket hög därunder. Därunder bedöms jordlagren bestå av glaciala grovkorniga sediment av stenig sand och grus till ungefär nivån +105 och därunder en blockig bottenmorän på berg. Relativa fastheten är här mycket hög.

Den naturliga vattenkvoten är uppmätt till 70 % i siltig finsand/torv, mellan 91 och 141% i siltig torv, till 35% i sandig silt med växtdelar/torv, mellan 30-35% i siltig finsand, mellan 35-50% i finsand med växtdelar, 30% i silt och till 55 % i siltig finsand med växtdelar, till 40% i sand med växtdelar.

Bedömda värden på karakteristisk inre friktionsvinkel Φ'_k . Värdena har korrigerats för siltig jord.

Mycket låg relativ fasthet $\Phi'_k = 29^\circ$

Låg relativ fasthet $\Phi'_k = 30^\circ$

Medelhög relativ fasthet $\Phi'_k = 33^\circ$

Hög relativ fasthet $\Phi'_k = 35^\circ$

Mycket hög relativ fasthet $\Phi'_k = 39^\circ$

Teknisk lösning

Schakt för väg kommer att utföras enligt TB/väg.

C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden

Omfattning

Grundvattennivån inom området närmast Ätran följer i stort åns vattenstånd med en viss fördröjning.

Dimensionerande vattenstånd (höjdsystem RH 70) för Ätran vid det aktuella broläget framgår av följande tabell:

Högsta högvatten	HHW-100år	+167,0
	HHW-50år	+166,9
	MHW	+165,5
	MW	+164,4
	MLW	+163,6
	LLW-50år	+163,1

Dimensionerande vattenstånd avser förhållanden efter uppräknig för klimatförändringar.

C2. Befintliga konstruktioner

C2. Befintliga konstruktioner/ Elledning

Omfattning

Befintlig elledning i anslutning till område för bro över Ätran i km 13/930 omläggs öster om bro över Ätran, se ritningar 200W5115-16. Omläggning utförs enligt handling 10.1 MF väg40.

D. VÄGANLÄGGNING

Omfattning

Denna tekniska beskrivning byggnadsverk omfattar 15-1760-1 och -2 Bro över Ätran i Ulricehamn med anslutande påldäck -3 och -4.

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/ Vägbro

Teknisk lösning

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.

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 förslagsritning 2 45 K 2001.

Formgivningsvillkor framgår av förslagsritning.

Bron och anslutande påldäck ska ha en dimensionerade 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, sidoskärmar eller ändstöd.

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 vingmurar som formsätts med lutande överform.

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

DC1. Bärverk i vägbro

Teknisk lösning

För kantbalk skall basmåttet vara minst 50 mm. Måttet ska innehållas även vid droppnäsor. För övriga byggnadsverksdelar skall basmåttet 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 245K2001.

DC13c. Upplagsanordningar

DC13cb. Lager

Teknisk lösning

Bron ska förutsättas med topflager. 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

Schaktnings- och fyllningsarbeten för bottenplattor skall ske i torrhet. Arbetena skall ske inom tillfällig spont.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska utföras genom besiktning.

DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning

Omfattning

Grundläggning av bron inklusive påldäck 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”.

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 (bro inklusive påldäck) 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 ändstöd och vingar. 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 och anslutande påldäck försees med tätskikt av isoleringsmatta på MMA-primer.

DC33. Tätskikt, skyddslager/ Skyddslager

Teknisk lösning

Påldäck försees med skyddslager av 15 mm ABT 4 / B 160/220.

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/ Avvägningdubb

Teknisk lösning

Bron ska försees avvägningsdubbar 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.

DC43. Erosionsskydd vid vattendrag / Tillfälligt

Teknisk lösning

Tillfälligt erosionsskydd ingår i brobyggnadsarbetet och ska dimensioneras enligt VV publ 1987:18 "Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad" för under byggnadstiden uppkommande vattenhastigheter.

DC44. Erosionsskydd vid vattendrag / Permanent

Teknisk lösning

Brokoner ska förses med erosionsskydd bestående av 500 mm naturgrus 0-50, $d_{50} > 36$ upp till nivå +167.0

DE. Avvattningsystem

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 samt anordnas längs de norra kantbalkarna. Grundavloppsrör och tratt skall utföras av syrafast 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 undergjas.

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.

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, avdelning 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, avdelning 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 byggnadsverk 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
- 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, lod- och avvagningsdubbar
- provningsintyg
- pålningsprotokoll och pålplan
- redovisning av kvarlämnad spont i plan och höjd med inmätta värden
- arbetsbeskrivningar upprättade av entreprenören
- verifikat och certifikat enligt SS-EN standard alternativt YE i handling 11.1, TB Väg
- drift- och underhållsplan.

På originalexemplaret av sammanställningsritningen ska redovisas

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

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

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

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

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

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

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

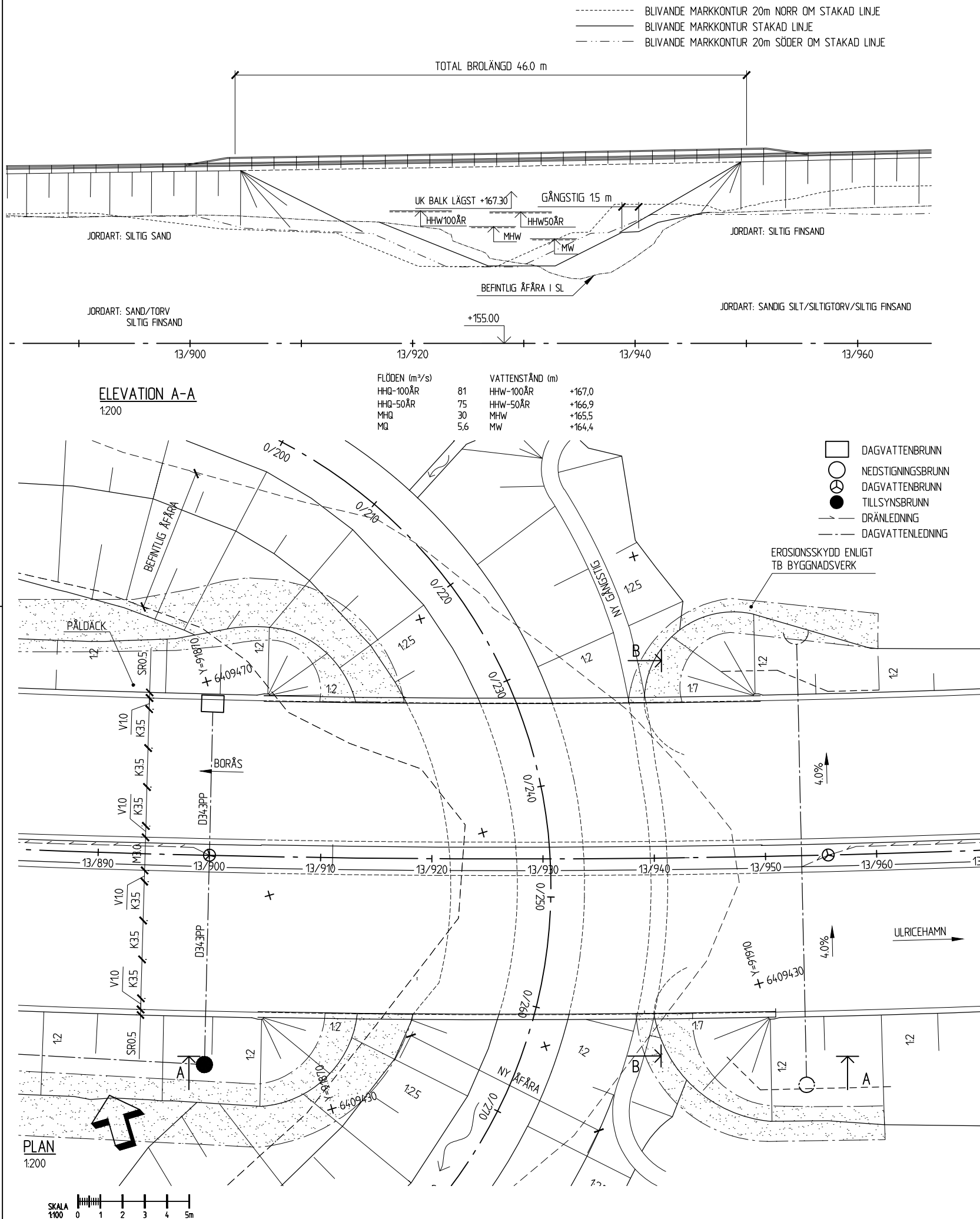
Konstruktionshandlingar för konstruktioner som ska omfattas av TK Bro ska registreras i Trafikverkets digitala register över broar och tunnlar, BatMan.

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:

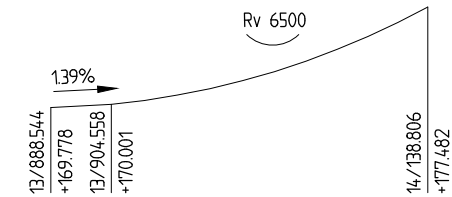
- underhållsmålning

Bilaga 2

Förslagsritning



PROFIL VÄG 40



PLANDATA VÄG 40

SEKTION	X	Y	ANM.
13/783.308	6409495.744	91757.240	R=1150
14/597.285	6409451.244	92553.088	

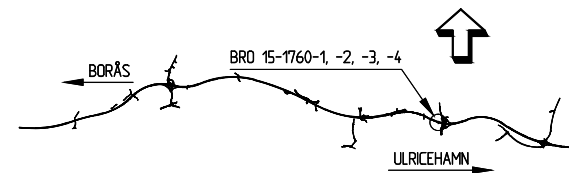
ALLMÄNA ANVISNINGAR

HÖJDSYSTEM:	RH 70
HÖJDFIX:	ENLIGT MÄTPÄRM
KOORDINATSYSTEM:	RT 90 5 gon V 0-1
POLYGONPUNKTER:	ENLIGT MÄTPÄRM

NORMER, FÖRESKRIFTER OCH BESKRIVNINGAR: BRON SKALL DIMENSIONERAS OCH UTFÖRAS ENLIGT TK BRO (PUBL 2009:7) SAMT ENLIGT BREV "ÄNDRINGAR AV TK BRO" DATERAT 2010-11-01 OCH TK GEO (PUBL 2008:49) SAMT TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK 2K110003 UPPRÄTTAD AV COWI AB, DATERAD 2011-09-15.

HÄNVISNINGAR

LEDNINGAR ENLIGT RITNING 200W5115 OCH 16
YTTSKIKT ENLIGT RITNING 200L1906
ÅDMGRÄVNING ENLIGT RITNING 282W0901-09



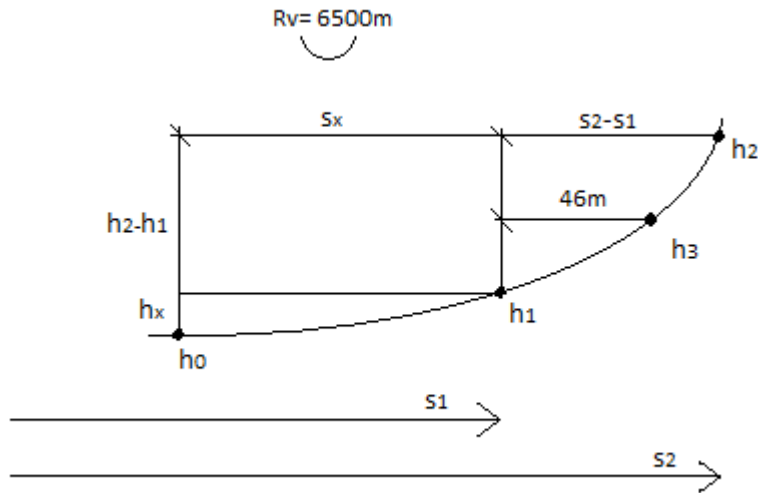
REV		ANT		ÄNDRINGEN AVSER		GÖCK		DATUM		VV DATUM		VV ÖVERNUMMER									
BYGGHANDLING						FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG															
 TRAFIKVERKET						VÅG 40 BORÅS-ULRICEHAMN DELEN DÄLLEBO - HESTER ETAPP 2 BRO ÖVER ÅTRAN I ULRICEHAMN															
						KM 13/910 FÖRSLAGSRITNING															
Cowi AB Skårgårdsgatan 1 BOX 12076 Göteborg						010-850 10 00 www.cowi.se		PLAN, ELEVATION, SEKTION													
TEKANSVÄR A BERGHOLTZ						UPPRÄTTAD 161925															
KONTROLLERAD C KIVILÖD		GRANSAD M BÄCKSTRÖM				INSTRUKTIONSDOK 15-1760-1 - 2, -3, -4								FORMAT A1		SKALA ENLIGT FIGUR					
GÖTEBORG						2011-09-15								REKAST NR 85436030				RITNINGSR 245K2001		REV	
A BERGHOLTZ																					

Bilaga 3

Beräkning av konstruktionshöjd

Beräkning av konstruktionshöjd

På grund av trafikverketskrav finns det en begränsning på konstruktionshöjden både i över- och underkant. I överkant får profilhöjden inte förändras och i underkant finns det krav på att fria höjden över vatten drag ska vara 0.3m över HHW100år.



Med hjälp av ritningen kan denna modell för plushöjder längsmed vägsträckan tas fram.

Givna värden:

Brons startpunkt Kurvans slutpunkt

$h_1 := 170.001\text{m}$ $h_2 := 177.482\text{m}$

$s_1 := 13904.558\text{m}$ $s_2 := 14138.806\text{m}$

Vertikal kurvradie:

$R_v := 6500\text{m}$

Begränsning

HHW := 167.3m

Utifrån figur fås ekvationerna:

$$h_x := \frac{s_x^2}{2 \cdot R_v}$$

$$h_x + (h_2 - h_1) = \frac{(s_2 - s_1 + s_x)^2}{2 \cdot R_v}$$

För att lösa ekvationerna antas ett värde på s_x och sedan kombineras och löses ekvationerna

$$s_x := 0\text{m}$$

Given

$$\frac{s_x^2}{2 \cdot R_v} + (h_2 - h_1) = \frac{(s_2 - s_1 + s_x)^2}{2 \cdot R_v}$$

$$s_x := \text{Find}(s_x) = 90.462\text{ m}$$

Nu när s_x är hittad löses ekvationen för h_x

$$h_x := \frac{s_x^2}{2 \cdot R_v} = 0.629\text{ m}$$

Höjd vid kurvans start:

$$h_0 := h_1 - h_x = 169.372\text{ m}$$

Plushöjd vid brons slutpunkt

$$h_3 := h_0 + \frac{(s_x + 46\text{m})^2}{2 \cdot R_v} = 170.804\text{ m}$$

Eftersom brons plushöjd ökar hela tiden blir den lägsta nivån +170.001

$$\text{Konstruktionshöjd} := h_1 - \text{HHW} = 2.701\text{ m}$$

Bilaga 4

Överslagsberäkning för materialkostnader

Överslagsberäkningar för materialkostnader för en samverkansbro samt en lådbalkbro

Dessa beräkningar är bara en uppskattning för att kunna jämföra två stycken bro alternativ

- Betong inklusive form och gjutning: 2500kr/m³
- Armering, bockad och inlagd: 15 000kr/ton
- Svetsade stål balkar inklusive ytbehandling och dylikt: 60 000kr/ton

Tvärsnittskonstanter

$$A_{\text{tvärsnitt}} = 7.81 \text{m}^2$$

$$A_{\text{platta}} := b_{\text{fläns}} \cdot h_{\text{fläns}} = 2.66 \text{m}^2$$

$$A_{\text{tvärsnittstål}} := (1.5 \text{m} \cdot 0.11 \text{m}) \cdot 2 + 0.1935 \text{m} \cdot 0.035 \text{m} = 0.337 \text{m}^2$$

Kostnadsberäkning för samverkansbro

total stålmängd i kubik

$$\text{kubik}_{\text{stål}} := A_{\text{tvärsnittstål}} \cdot 46 \text{m} = 15.492 \text{m}^3$$

stålets vikt

$$\text{stål}_{\text{vikt}} := \text{kubik}_{\text{stål}} \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1.216 \times 10^5 \text{kg}$$

mängd btg

$$\text{kubik}_{\text{btg}} := A_{\text{platta}} \cdot 46 \text{m} = 122.36 \text{m}^3$$

Kostnad btg

$$\text{kostnad}_{\text{btg}} := \text{kubik}_{\text{btg}} \cdot 2500 \frac{1}{\text{m}^3} = 3.059 \times 10^5$$

kostnad stål

$$\text{kostnad}_{\text{stål}} := \frac{\text{stål}_{\text{vikt}}}{1000} \cdot 60000 \frac{1}{\text{kg}} = 7.297 \times 10^6$$

Uppskattning av armeringsmängd i samverkansbro

100ϕ 20 cirka

$$A_{\text{armering}} := 100 A_{\phi 20} = 0.031 \text{ m}^2$$

$$\text{kubik}_{\text{arm}} := A_{\text{armering}} \cdot 46 \text{ m} = 1.445 \text{ m}^3$$

$$\text{vikt}_{\text{arm}} := \text{kubik}_{\text{arm}} \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1.134 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$\text{kostnad}_{\text{arm}} := \text{vikt}_{\text{arm}} \cdot 15000 \frac{1}{\text{ton}} = 1.876 \times 10^5$$

total kostnad

$$\text{tot}_{\text{kost}} := \text{kostnad}_{\text{arm}} + \text{kostnad}_{\text{btg}} + \text{kostnad}_{\text{stål}} = 7.79 \times 10^6$$

Kostnads beräkning lådbalkbro

Beräkning av antal järn

Järn som är 46m långa

$$\text{lång}_{\text{arm}} := 302 + 262 + 162 = 144$$

$$\text{antal}_{\text{bygel}} := 8 \cdot 46 = 368$$

Järn i plattan

$$\text{antal}_{\text{platt.arm}} := 24 \cdot 46 + 12 \cdot 46 = 1.656 \times 10^3$$

medel längd på armering i plattan

$$\text{medel}_{\text{längd}} := \frac{6.2 \text{ m} + 10 \text{ m} + 1.950 \text{ m} + 3.450 \text{ m}}{4} = 5.4 \text{ m}$$

Area på armering

$$A_{\text{arm.lång}} := 144 A_{\phi 20} = 0.045 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{arm.bygel}} := 368 A_{\phi 20} = 0.116 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{arm.platta}} := \text{antal}_{\text{platt.arm}} \cdot A_{\phi 20} = 0.52 \text{ m}^2$$

Armeringen i kubik

$$k_{\text{arm.lång}} := A_{\text{arm.lång}} \cdot 46\text{m} = 2.081\text{m}^3$$

$$k_{\text{arm.bygel}} := A_{\text{arm.bygel}} \cdot 25\text{m} = 2.89\text{m}^3$$

$$k_{\text{arm.platta}} := A_{\text{arm.platta}} \cdot \text{medel} \cdot \text{längd} = 2.809\text{m}^3$$

$$k_{\text{arm.spänn}} := 0.068\text{m}^2 \cdot 46\text{m} = 3.128\text{m}^3$$

total mängd

$$\text{tot}_{\text{arm}} := k_{\text{arm.lång}} + k_{\text{arm.bygel}} + k_{\text{arm.platta}} + k_{\text{arm.spänn}} = 10.909\text{m}^3$$

$$\text{vikt}_{\text{arm}} := \text{tot}_{\text{arm}} \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 8.563 \times 10^4 \text{ kg}$$

Kostnad armering

$$\text{total}_{\text{kost.arm}} := \left(\frac{\text{vikt}_{\text{arm}}}{1000} \right) \cdot 15000 \frac{1}{\text{kg}} = 1.284 \times 10^6$$

Kostnaden för spännarmeringen antas vara samma som för vanlig armering då inga prisuppgifter på spännarmering fanns tillgängliga

Kostnad betong

$$A_{\text{tvärsnitt}} = 7.81\text{m}^2$$

$$k_{\text{btg}} := A_{\text{tvärsnitt}} \cdot 46\text{m} - \text{tot}_{\text{arm}} = 348.351\text{m}^3$$

$$\text{total}_{\text{kost.brg}} := k_{\text{btg}} \cdot 2500 \frac{1}{\text{m}^3} = 8.709 \times 10^5 \text{ kr}$$

Bilaga 5

– Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Beteckningar för beräkningar för lastframtagning i tvärled

Versala latinska tecken

a_{konsol}	– avståndet mellan centrum på lådans liv och den utnyttjningsbara vägbanans ytterkant (1 dm innanför kantbalken)
$a_{\text{stöd}}$	– avståndet mellan lådans två liv, centrum till centrum
$b_{\text{betong.liv}}$	– bredd på lådans liv
$b_{\text{hål}}$	– lådans invändiga bredd
b_{kantbalk}	– kantbalkens bredd
$b_{\text{vägbana}}$	– den del av vägbanan som kan utnyttjas till att ta laster
cc	– bredd på segmentet som används vid beräkningar, 1 m
$h_{\text{beläggning}}$	– beläggningens höjd
$h_{\text{hål}}$	– lådans invändiga höjd
h_{kantbalk}	– kantbalkens höjd
$h_{\text{konstruktion}}$	– den totala konstruktionshöjden
$h_{\text{konstruktion.tillgänglig}}$	– den tillgängliga konstruktionshöjden
$h_{\text{vägbana}}$	– broplattans höjd
q_{ik}	– jämnt utbredd fillast för lastfält i
$t_{\text{betong.liv}}$	– tjockleken på lådans sidor, även kallat liv då lådan betraktas som två T-balkar vid dimensionering
$w_{\text{falli.i}}$	– bredd på lastfält i, fall i
$y_{\text{falli.i}}$	– intervall för plottning av moment- och tvärkraftsdiagram, fall i och intervall i

Gemena latinska tecken

$A_{\text{beläggning}}$	– beläggningens tvärsnittsarea i tvärled
-------------------------	--

A_{kantbalk}	– kantabalkens tvärsnittsarea i tvärled
$A_{\text{vägbana.transversell}}$	– broplattans tvärsnittsarea i tvärled
$M_{\text{falli.i.0.a}}$	– momentfunktion för snitt för fallet falli.i.0.a, där falli är lastfall i (lastfall 1 eller 2), i är lastfält i, 0 är lastvaraktighet (0- kort, 2- lång) och a är beräkningsformel 6.10a respektive 6.10 b
$M_{\text{max.fält.korttid}}$	– maximalt moment i fält vid korttid
$M_{\text{max.fält.långtid.nedböjning}}$	– maximalt moment i fält vid långtid, vid beräkning av nedböjning
$M_{\text{max.stöd.korttid}}$	– maximalt moment i stöd vid korttid
$M_{\text{max.stöd.långtid.nedböjning}}$	– maximalt moment i stöd vid långtid, vid beräkning av nedböjning
$M_{\text{max.stöd.långtid.sprickor}}$	– maximalt moment i stöd vid långtid, vid beräkning av sprickor
P	– avstånd från vänstra kanten till punkten där maximal tvärkraft eller maximalt moment uppstår
P_{kant}	– egenvikt av kantbalk, inklusive räcke och 1dm av broplattan
$P_{\text{kant.falli.0.a}}$	– egenvikt av kantbalk för fallet falli.i.0.a, där falli är lastfall i (lastfall 1 eller 2), 0 är lastvaraktighet (0- kort, 2- lång) och a är beräkningsformel 6.10a respektive 6.10 b
$Q_{\text{egenvikt.platta}}$	– egenvikt för broplattan (per meter i tvärled)
$Q_{\text{egenvikt.platta.falli.0.a}}$	– egenvikt för broplattan (per meter i tvärled), för fallet falli.i.0.a, där falli är lastfall i (lastfall 1 eller 2), 0 är lastvaraktighet (0- kort, 2- lång) och a är beräkningsformel 6.10a respektive 6.10 b
Q_{ik}	– axellast för lastfält i
$R_{A.falli.0.a}$	– stödreaktion vid stöd A för fallet falli.i.0.a, där falli är lastfall i (lastfall 1 eller 2), 0 är lastvaraktighet (0- kort, 2- lång) och a är beräkningsformel 6.10a respektive 6.10 b
$R_{B.falli.0.a}$	– stödreaktion vid stöd B för fallet falli.i.0.a, där falli är lastfall i (lastfall 1 eller 2), 0 är lastvaraktighet (0- kort, 2- lång) och a är beräkningsformel 6.10a respektive 6.10 b
TS_i	– enligt svensk standard reducerad axellast för lastfält i

$TS_{falli.i.0.a}$	– enligt svensk standard reducerad axellast för fallet falli.i.0.a, där falli är lastfall i (lastfall 1 eller 2), i är lastfält i, 0 är lastvaraktighet (0- kort, 2- lång) och a är beräkningsformel 6.10a respektive 6.10 b
UDL_i	– enligt svensk standard reducerad jämnt utbredd fillast för lastfält i
$UDL_{falli.i.0.a}$	– enligt svensk standard reducerad jämnt utbredd fillast för fallet falli.i.0.a, där falli är lastfall i (lastfall 1 eller 2), i är lastfält i, 0 är lastvaraktighet (0- kort, 2- lång) och a är beräkningsformel 6.10a respektive 6.10 b
$V_{0.9d.höger.om.stöd}$	– tvärkraften 0.9*d till höger om stöd för korttid
$V_{0.9d.vänster.om.stöd}$	– tvärkraften 0.9*d till vänster om stöd för korttid
$V_{falli.i.0.a}$	– tvärkraftfunktion för snitt för fallet falli.i.0.a, där falli är lastfall i (lastfall 1 eller 2), i är lastfält i, 0 är lastvaraktighet (0- kort, 2- lång) och a är beräkningsformel 6.10a respektive 6.10 b
$V_{max.höger.om.stöd.korttid}$	– maximal tvärkraft till höger om stöd vid korttid
$V_{max.höger.om.stöd.långtid}$	– maximal tvärkraft till höger om stöd vid långtid, vid beräkning av nedböjning
$V_{max.stöd.långtid.sprickor}$	– maximal tvärkraft till höger om stöd vid långtid, vid beräkning av sprickor
$V_{max.vänster.om.stöd.korttid}$	– maximal tvärkraft till vänster om stöd vid korttid
$V_{max.vänster.om.stöd.långtid}$	– maximal tvärkraft till vänster om stöd vid långtid, vid beräkning av nedböjning

Gemena grekiska tecken

α_{Qi}	– anpassningsfaktor för axellast, lastfält i, nationell parameter
α_{qi}	– anpassningsfaktor för jämnt utbredd last, lastfält i, nationell parameter
γ_d	– säkerhetsfaktor för säkerhetsklass 3
$\gamma_{G.0}$	– partialkoefficient för egenvikt, vid brottgränsberäkningar (korttid)
$\gamma_{G.2}$	– partialkoefficient för egenvikt, vid bruksgränsberäkningar (långtid)
ξ_0	– reduktionsfaktor
ρ_{asfalt}	– densiteten för asfalt

ρ_{betong}

– densiteten för betong

$\rho_{\text{rärke}}$

– densiteten för rärke

$\psi_{0.\text{punkt}}$

– lastreduktionstal för axellast, vid brottgränsberäkningar (korttid)

$\psi_{0.\text{utbredd}}$

– lastreduktionstal för jämnt utbredd last, vid brottgränsberäkningar (korttid)

$\psi_{2.\text{punkt}}$

– lastreduktionstal för axellast, vid bruksgränsberäkningar (långtid)

$\psi_{2.\text{utbredd}}$

– lastreduktionstal för jämnt utbredd last, vid bruksgränsberäkningar (långtid)

Innehållsförteckning

1. Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns	1
1.1 Tvärsnittskonstanter för broplatta	1
1.2 Lastframtagning enligt LM1 och säkerhetsfaktorer	6
1.3 Reducering av axellaster på grund av lastsprindning	10
1.4 Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid, lastfall 1 och 2	11
1.4.1 Lastfall 1, last koncentrerad till mittenspannet. Moment- och tvärkraftsdiagram i brottgräns	12
1.4.2 Lastfall 2, last koncentrerad över vänstra stödet. Moment- och tvärkraftsdiagram i brottgräns	37
1.5 Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram för sprickor i bruksgräns (långtid), fall 1 och 2	60
1.5.1 Lastfall 1, last koncentrerad till mittenspannet. Moment- och tvärkraftsdiagram för sprickberäkning	61
1.6 Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid, fall 1 och 2. Moment och tvärkraft för nedböjning	75
1.6.1 Lastfall 1, last koncentrerad till mittenspannet. Moment- och tvärkraftsdiagram för nedböjning	75
1.6.2 Lastfall 2, last koncentrerad över vänstra stödet. Moment- och tvärkraftsdiagram för nedböjning.	89
1.7 Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled	102
1.7.1 Momentdiagram för korttidsfall, brottgräns	102
1.7.2 Tvärkraftsdiagram för korttidsfall, brottgräns	103
1.7.3 Momentdiagram för långtidsfall, formel för sprickberäkning (bruksgräns)	105
1.7.4 Tvärkraftsdiagram för långtidsfall, formel för sprickberäkning (bruksgräns)	106
1.7.5 Momentdiagram för långtidsfall, formel för beräkning av nedböjning (bruksgräns)	107
1.7.6 Tvärkraftsdiagram för långtidsfall, formel för beräkning av nedböjning (bruksgräns)	108

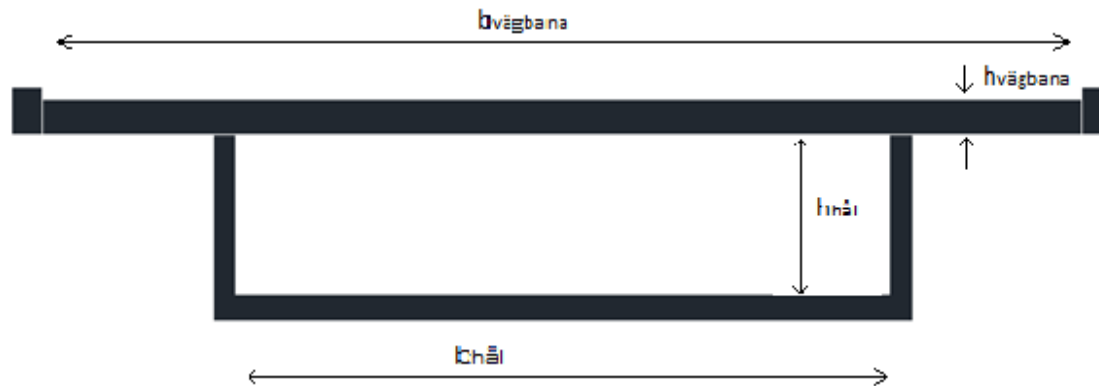
1. Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Lastframtagningen görs enligt Eurocode 1: Laster på bärverk, Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2

I verkligheten är lådans liv sneda men lådan förenklas till en rektangulär låda för att underlätta beräkningarna, se bild nedan.

I verkligheten minskas brobanans tjocklek ut mot kantbalken men den antas ha konstant tjocklek hela vägen ut, se bild nedan.

1.1 Tvärnittskonstanter för broplatta



Under lastframtagningen vid tvärledsberäkningar får inte brobanan närmast kantbalken antas kunna bära några laster. Detta gör att brobanan minskas med 100mm på vardera sida under beräkningarna.

Den tillgängliga konstruktionshöjden är 2.7m.

$$h_{\text{konstruktion.tillgänglig}} := 2.7 \text{ m}$$

Tvärnittskonstanter

Vi räknar på en 1m bred remsa av brobanan

$$cc := 1.0r$$

Vägens tvärnittskonstanter

$$b_{\text{vägbana}} := 13.5r$$

$$h_{\text{vägbana}} := 0.4r$$

$$A_{\text{vägbana.transversell}} := cc \cdot h_{\text{vägbana}} = 0.4m^2$$

Arean för kantbalken

$$h_{\text{kantbalk}} := 0.55r$$

$$b_{\text{kantbalk}} := 0.4r$$

$$A_{\text{kantbalk}} := h_{\text{kantbalk}} \cdot b_{\text{kantbalk}} = 0.22m^2$$

Lådans tvärnittsarea

Lådan kommer att utformas som en rektangulär låda.

Hålets dimensioner

$$h_{\text{hål}} := 1.8r$$

$$b_{\text{hål}} := 6.0r$$

Lådans dimensioner

$$t_{\text{betong.liv}} := 1.0r$$

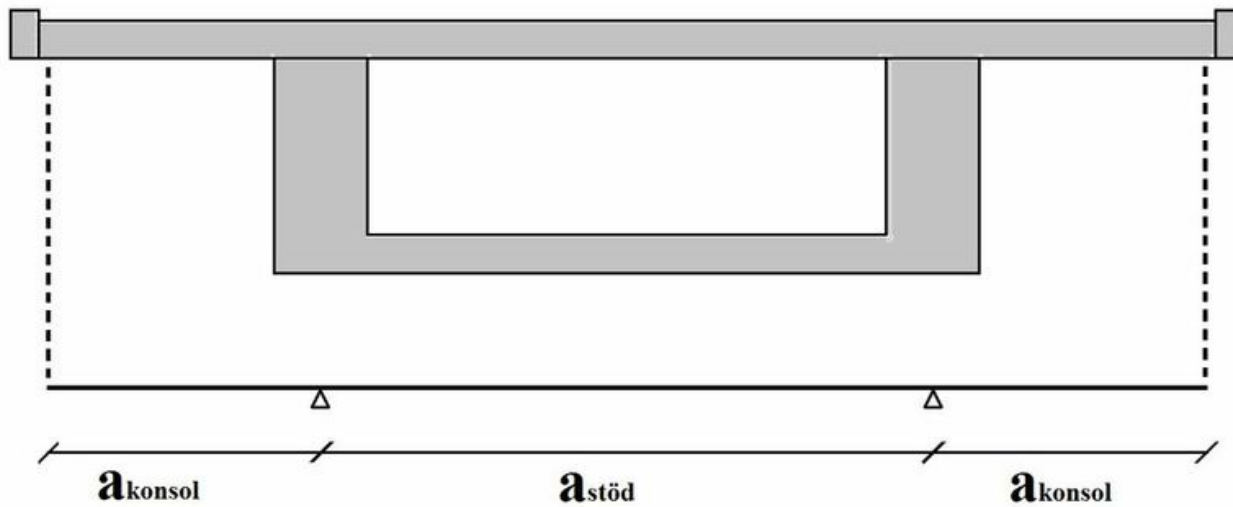
$$t_{\text{betong.fläns}} := 0.4r$$

Tvärnittskonstanter

Avstånd mellan lådans liv, c-c avstånd

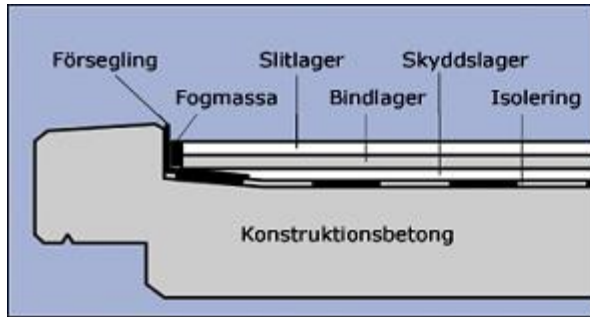
$$a_{\text{stöd}} := b_{\text{hål}} + t_{\text{betong.liv}} = 7\text{m}$$

$$a_{\text{konsol}} := \frac{b_{\text{vägbana}} - a_{\text{stöd}}}{2} - 0.1\text{m} = 3.15\text{m}$$



Tvärnittskonstanter

Arean för beläggningen



Slitlager, bindlager, skyddslager och isolering

$$h_{\text{beläggning}} := 0.1\text{m}$$

$$A_{\text{beläggning,transversell}} := h_{\text{beläggning}} \cdot b = 0.1\text{m}^2$$

Konstruktionshöjd

$$h_{\text{konstruktion}} := h_{\text{vägbana}} + h_{\text{beläggning}} + h_{\text{hål}} + t_{\text{betong,fläns}} = 2.7\text{m}$$

Tvärnittskonstanter

Egenvikter

För att kunna påbörja dimensioneringen av bron behövs en uppskattad egenvikt. Denna tas fram med hjälp av ett ungefärligt tvärnitt som sedan kommer att revideras under dimensioneringen.

Egenvikt per meter

Egenvikten för betong kan antas vara 25kN/m^3 enligt Sören Lindgrens föreläsning 22/3 2013 och egenvikten för asfalt antas vara 23kN/m^3 .

Detta ger en permanent utbredd last som kan användas vid dimensionering av bron.

$$\rho_{\text{betong}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{asfalt}} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$q_{\text{räcke}} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Egenvikt per meter i längsled för enbart plattan

$$Q_{\text{egenvikt.platta}} := A_{\text{vägbana.transversell}} \cdot \rho_{\text{betong}} + A_{\text{beläggning.transversell}} \cdot \rho_{\text{asfalt}} = 12.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Egenvikt av kantbalk, inklusive räcke och 1dm av vägbanan

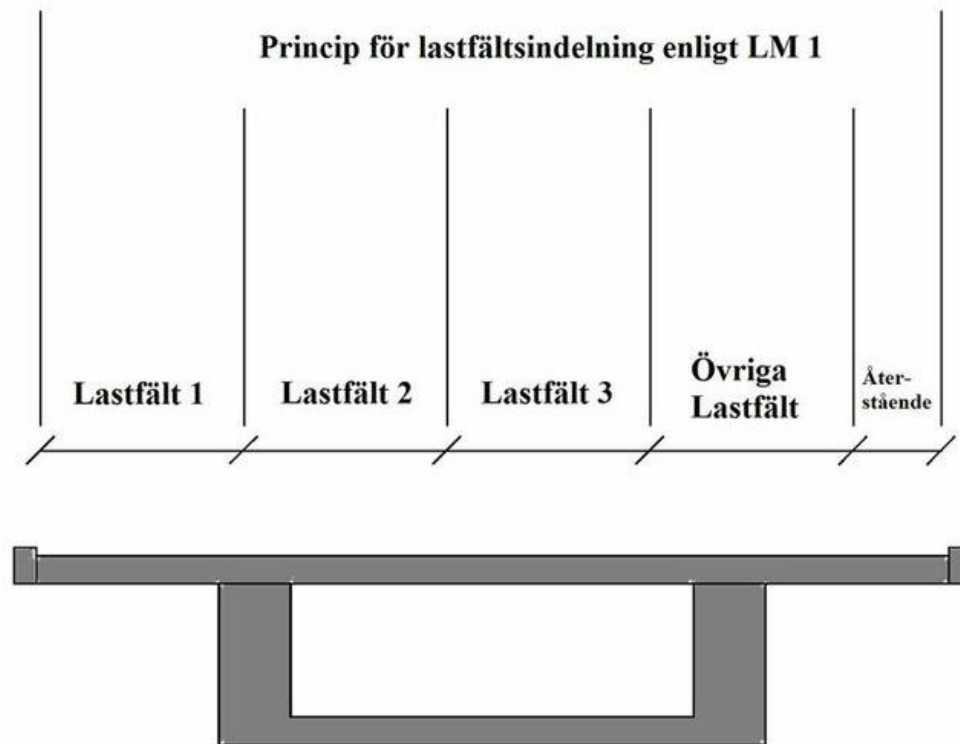
$$P_{\text{kant}} := (A_{\text{kantbalk}} \cdot \rho_{\text{betong}} + h_{\text{vägbana}} \cdot 0.1\text{m} \cdot \rho_{\text{betong}} + h_{\text{beläggning}} \cdot 0.1\text{m} \cdot \rho_{\text{asfalt}} + q_{\text{räcke}}) \cdot c = 7.23\text{kN}$$

LM1, laster och lastfall

1.2 Lastframtagning enligt LM1 och säkerhetsfaktorer

LM1 är en lastmodell enligt Eurokod 1: Laster på bärverk- Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2 som med hjälp av punktlaster (Q) och utbredda laster (q) täcker in de flesta effekterna av trafik med last- och personbilar. Modellen används för samtliga lastberäkningar i detta kapitel.

Principen för LM1 är att dela upp bron i lastfält som belastas med punktlaster och utbredda laster, lastfälten är vanligtvis tre meter breda. Lastfälten kombineras på olika sätt för att få fram det dimensionerande lastfallet.



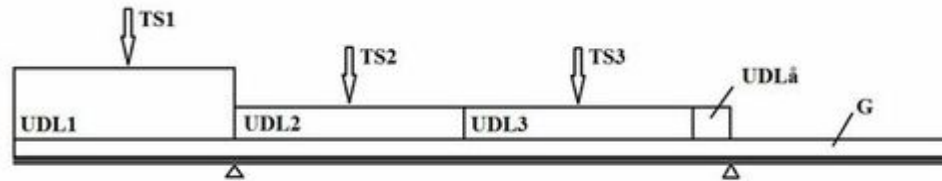
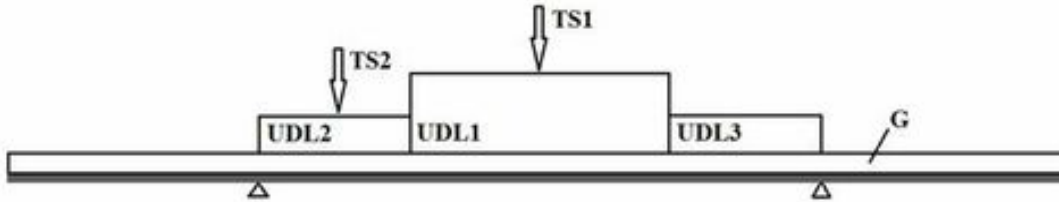
Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

LM1, laster och lastfall

Vid beräkningar används två olika lastfall, lastfall 1 (last koncentrerad till mitten) och lastfall 2 (last koncentrerad till sidan). Se bilder nedan.

Dessa två lastfall används för att skapa de värsta lastkombinationerna.

Lastfall 1:



LM1, laster och lastfall

Lastmodell 1 (LM1). Tabell över de punktlaster och utbredda laster som verkar på bronns olika lastfält

	Axellast	Jämt utbredd	Svenska förhållanden			
	TS	fillast UDL				
	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m ²]	α_{Qi}	α_{qi}	TS [kN]	UDL [kN/m ²]
Lastfält 1	300	9	0,9	0,7	270	6,3
Lastfält 2	200	2,5	0,9	1,0	180	2,5
Lastfält 3	100	2,5	0	1,0	0	2,5
Övriga	0	2,5	-	1,0	0	2,5
Återstående	0	2,5	-	1,0	0	2,5

Lastfält 1: $Q_{1k} := 300 \text{ kN}$

$$q_{1k} := 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha_{Q1} := 0.9$$

$$\alpha_{q1} := 0.7$$

$$TS_1 := Q_{1k} \cdot \alpha_{Q1} = 270 \text{ kN}$$

$$UDL_1 := q_{1k} \cdot \alpha_{q1} = 6.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastfält 2: $Q_{2k} := 200 \text{ kN}$

$$q_{2k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha_{Q2} := 0.9$$

$$\alpha_{q2} := 1.0$$

$$TS_2 := Q_{2k} \cdot \alpha_{Q2} = 180 \text{ kN}$$

$$UDL_2 := q_{2k} \cdot \alpha_{q2} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastfält 3: $Q_{3k} := 100 \text{ kN}$

$$q_{3k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha_{Q3} := 0$$

$$\alpha_{q3} := 1.0$$

$$TS_3 := Q_{3k} \cdot \alpha_{Q3} = 0$$

$$UDL_3 := q_{3k} \cdot \alpha_{q3} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

LM1, laster och lastfall

Övriga: $Q_{ök} := 0 \text{ kN}$

$$q_{ök} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha_{qö} := 1.0$$

$$TS_{\ddot{o}} := Q_{ök} = 0$$

$$UDL_{\ddot{o}} := q_{ök} \cdot \alpha_{qö} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Återstående: $Q_{\grave{a}k} := 0 \text{ kN}$

$$q_{\grave{a}k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha_{q\grave{a}} := 1.0$$

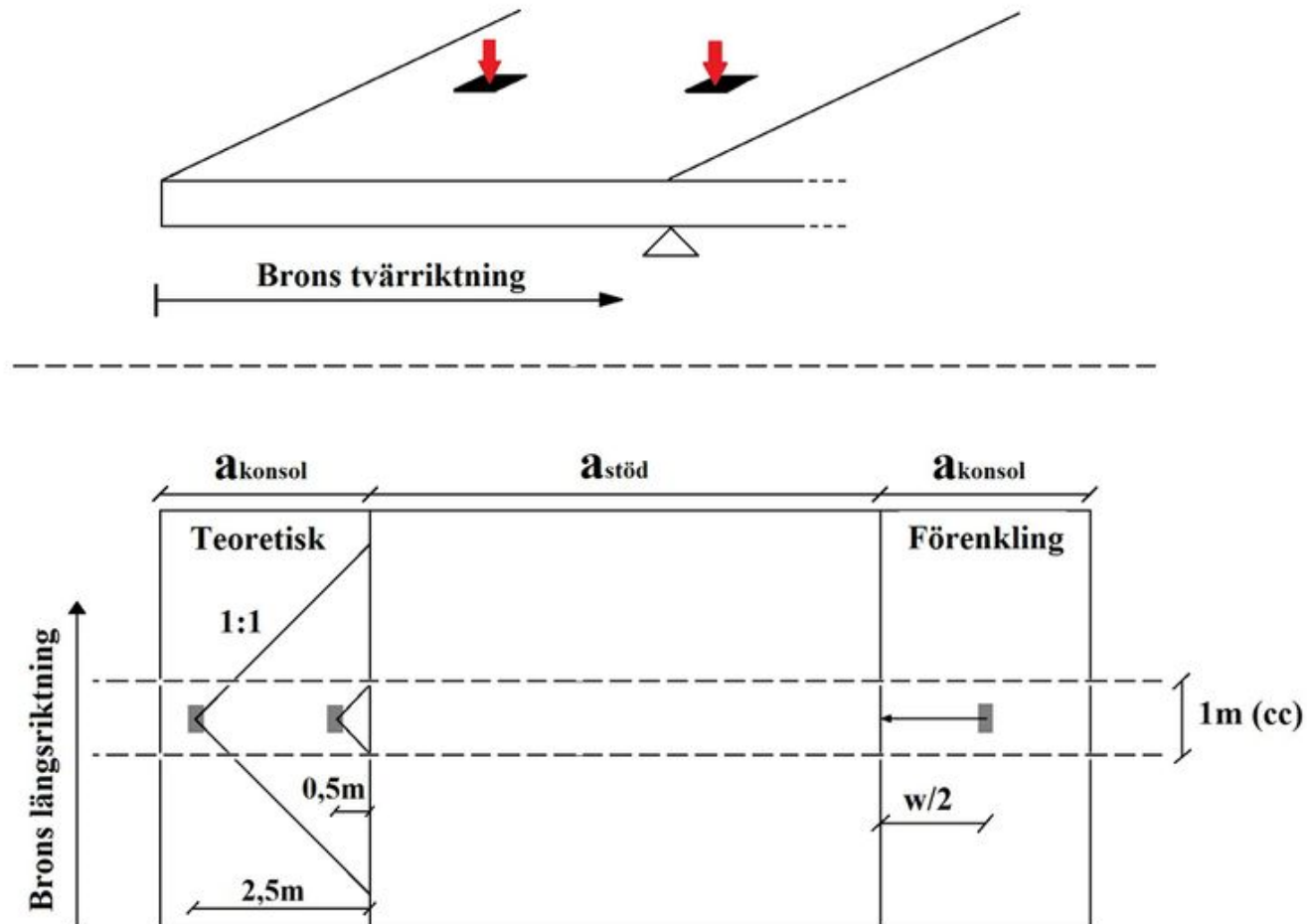
$$TS_{\grave{a}} := Q_{\grave{a}k} = 0$$

$$UDL_{\grave{a}} := q_{\grave{a}k} \cdot \alpha_{q\grave{a}} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

LM1, laster och lastfall

1.3 Reducering av axellaster på grund av lastspridning

En axel som belastar en brobana gör det som två punktlaster. När en punktlast belastar en konsolplatta kommer lasten spridas över stödet i längsled enligt figurer nedan. Belastningen på stödet över segmentet kan alltså reduceras. Vi har förenklat detta till en dubbelt så stor, centrerad punktlast som inte reduceras. Det innebär att hela punktlasten belastar stödet över segmentet, vilket innebär att förenklingen är på den säkra sidan.



1.4 Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid, lastfall 1 och 2

Framtagning av maximala korttidsmoment och korttidsvärkrafter görs för att kontrollera broplattan i brottgräns.

Enligt Eurocode 1: Laster på bärverk - Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2 beaktas lastkombinationerna 6.10a och 6.10b, det minst gynnsamma fallet används. Lastkombinationerna använder olika säkerhetsfaktorer, 6.10b förväntas bli dimensionerande.

Formel 6.10a: $\gamma_G G_k + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Qi} \psi_{0,i} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Qj} \psi_{0,j} Q_k$

Formel 6.10b: $\xi \cdot \gamma_G G_k + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Qi} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Qj} \psi_{0,j} Q_k$

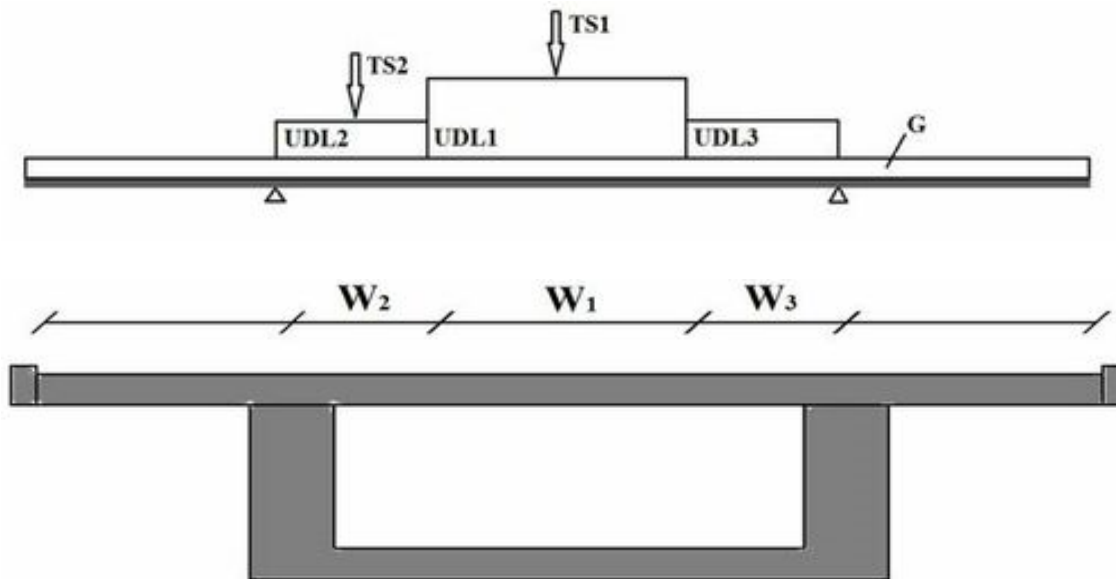
Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 och säkerhetsfaktorer

1.4.1 Lastfall 1, last koncentrerad till mittenspannet. Moment- och tvärkraftsdiagram i brottgräns

Olika lastfall används för att beräkna kritiska moment och tvärkrafter. I lastfall 1 är lasterna placerade i mitten av brobanan så att maximalt moment och tvärkraft uppstår i fält. Lastfält 2 och 3 kommer inte rymmas inom $a_{\text{stöd}}$, därför kortas deras bredd (w_2 och w_3) så att deras gynnsamma effekt inte räknas med.



$$w_{\text{fall1.1}} := 3\text{m} \quad w_{\text{fall1.2}} := \frac{(a_{\text{stöd}} - w_{\text{fall1.1}})}{2} = 2\text{m}$$

Bredd lastfält 1

Bredd lastfält 2

$$w_{\text{fall1.3}} := \frac{(a_{\text{stöd}} - w_{\text{fall1.1}})}{2} = 2\text{m}$$

Bredd lastfält 3

$$w_{\text{fall1.ö}} := 0\text{m}$$

Bredd lastfält ö

$$w_{\text{fall1.å}} := 0\text{m}$$

Bredd lastfält å

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 och säkerhetsfaktorer

Definerar intervall för att plotta moment- och tvärkraftsdiagram, $y_{fall1.1}$ - $y_{fall1.7}$

Varje steg är 1 cm

$$y_{fall1.1} := (0 \cdot m, 0.01 \cdot m \cdot a_{konsol})$$

$$y_{fall1.2} := (a_{konsol}, a_{konsol} + 0.01 \cdot m \cdot a_{konsol} + w_{fall1.2} - 1.5m)$$

$$y_{fall1.3} := (a_{konsol} + w_{fall1.2} - 1.5m, a_{konsol} + w_{fall1.2} - 1.5m + 0.01 \cdot m \cdot a_{konsol} + w_{fall1.2})$$

$$y_{fall1.4} := \left(a_{konsol} + w_{fall1.2}, a_{konsol} + w_{fall1.2} + 0.01 \cdot m \cdot a_{konsol} + \frac{a_{stöd}}{2} \right)$$

$$y_{fall1.5} := \left(a_{konsol} + \frac{a_{stöd}}{2}, a_{konsol} + \frac{a_{stöd}}{2} + 0.01 \cdot m \cdot a_{konsol} + w_{fall1.1} + w_{fall1.2} \right)$$

$$y_{fall1.6} := (a_{konsol} + w_{fall1.1} + w_{fall1.2}, a_{konsol} + w_{fall1.1} + w_{fall1.2} + 0.01 \cdot m \cdot a_{konsol} + a_{stöd})$$

$$y_{fall1.7} := (a_{konsol} + a_{stöd}, a_{konsol} + a_{stöd} + 0.01 \cdot m \cdot b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m)$$

För variabla laster tas hänsyn till följande säkerhetsfaktor

För alla variabla laster används säkerhetsfaktorn $\gamma_{Q,0} := 1.5$ Säkerhetsfaktor för korttidsfall (brottgräns).

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 och säkerhetsfaktorer

Säkerhetsfaktorer enligt lastmodell 1

$\gamma_{G,0} := 1.35$ $\psi_{0,\text{punkt}} := 0.75$ $\psi_{0,\text{utbredd}} := 0.4$ $\xi_0 := 0.85$ Lastfaktorer för korttidsfall (brottgräns).

Säkerhetsklass 3

Vi ska utgå från säkerhetsklass 3 när bron dimensioneras. Detta medför ytterligare en säkerhetsfaktor.

$\gamma_d := 1.0$

1.4.1.1 Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram, korttid med formel 6.10a

Lastberäkning med hänsyn till säkerhetsfaktorerna enligt lastkombination 6.10a

$$Q_{\text{egenvikt, platta, fall 1.0.a}} = Q_{\text{egenvikt, platta}} \cdot \gamma_{G,0} = 16.605 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Egenvikt för plattan

$$P_{\text{kant, fall 1.0.a}} = P_{\text{kant}} \cdot \gamma_{G,0} = 9.761 \text{ kN}$$

Vikt för kantbalken

Utbredda laster: $UDL_{\text{fall 1.1.0.a}} = UDL_1 \cdot \psi_{0,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} = 3.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

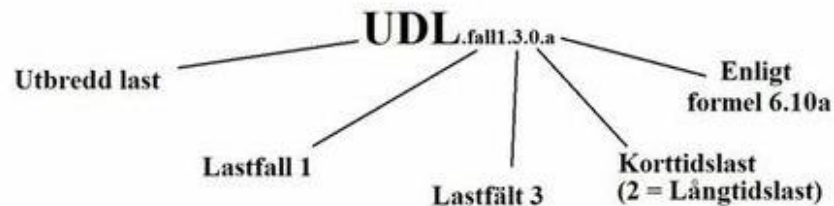
Den utbredda lasten i fält 1 för korttidsfall

$$UDL_{\text{fall 1.2.0.a}} = UDL_2 \cdot \psi_{0,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Den utbredda lasten i fält 2 för korttidsfall

$$UDL_{\text{fall 1.3.0.a}} = UDL_3 \cdot \psi_{0,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Den utbredda lasten i fält 3 för korttidsfall



Beteckningar enligt modellen till vänster används i detta kapitel

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a

Punktlaster:	$TS_{fall1.1.0.a} = TS_1 \cdot \psi_{0,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_Q \cdot Q_0 = 303.75 \text{ kN}$	Punktlasten i fält 1 för korttidsfall
	$TS_{fall1.2.0.a} = TS_2 \cdot \psi_{0,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_Q \cdot Q_0 = 202.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Punktlasten i fält 2 för korttidsfall
	$TS_{fall1.3.0.a} = TS_3 \cdot \psi_{0,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_Q \cdot Q_0 = 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Punktlasten i fält 3 för korttidsfall

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a

Jämviktsekvationer för att lösa ut stödkrafter, korttidsfall med formel 6.10a

Momentjämvikt kring stöd A:

$$R_{B,fall1.0,a} = \frac{\left[Q_{egenvikt,platta,fall1.0,a} \cdot (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) \cdot \frac{a_{stöd}}{2} + TS_{fall1.1.0,a} \cdot \frac{a_{stöd}}{2} + TS_{fall1.2.0,a} \cdot (w_{fall1.2} - 1.5m) \dots \right.}{a_{stöd}}$$

$$+ TS_{fall1.3.0,a} \cdot \left(\frac{a_{stöd}}{2} + w_{fall1.1} \right) + UDL_{fall1.1.0,a} \cdot w_{fall1.1} \cdot \frac{a_{stöd}}{2} + \left(UDL_{fall1.2.0,a} \cdot w_{fall1.2} + UDL_{fall1.3.0,a} \cdot w_{fall1.3} \right) \cdot \frac{a_{stöd}}{2}$$

$$+ P_{kant,fall1.0,a} \cdot (0.25m + a_{konsol} + a_{stöd}) - P_{kant,fall1.0,a} \cdot (0.25m + a_{konsol})$$

$$R_{B,fall1.0,a} = 295.193 \text{ kN}$$

Global jämvikt:

$$R_{A,fall1.0,a} = TS_{fall1.1.0,a} + TS_{fall1.2.0,a} + TS_{fall1.3.0,a} + w_{fall1.1} \cdot UDL_{fall1.1.0,a} + w_{fall1.2} \cdot UDL_{fall1.2.0,a} + w_{fall1.3} \cdot UDL_{fall1.3.0,a} \dots$$

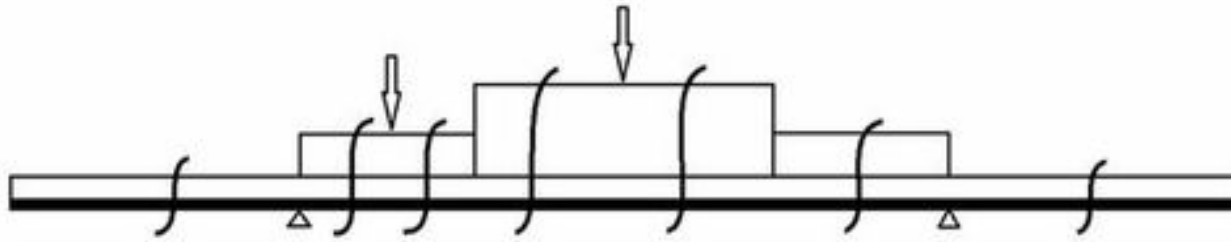
$$+ Q_{egenvikt,platta,fall1.0,a} \cdot (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) + P_{kant,fall1.0,a} \cdot 2 - R_{B,fall1.0,a}$$

$$R_{A,fall1.0,a} = 468.764 \text{ kN}$$

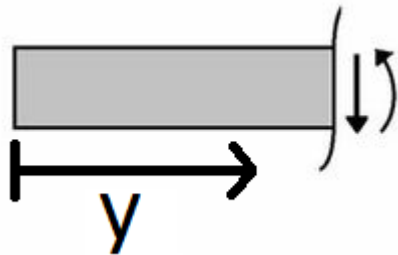
Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a

Snittning från vänster för att beräkna moment och tvärkraft:



Snittningen görs från vänster enligt bilden nedan. I bilden ovan försummas punklasten TS3 på grund av att den är noll.



Snitt 1: $0 < y_{\text{fall1.1}} < a_{\text{konsol}}$

$$V_{\text{fall1.1.0.ä}}(y_{\text{fall1.1}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.ä}} y_{\text{fall1.1}} - P_{\text{kant.fall1.0.ä}}$$

$$M_{\text{fall1.1.0.ä}}(y_{\text{fall1.1}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.ä}} \frac{y_{\text{fall1.1}}^2}{2} - P_{\text{kant.fall1.0.ä}} (y_{\text{fall1.1}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a

Snitt 2: $a_{\text{konsol}} < y_{\text{fall1.2}} < (a_{\text{konsol}} + (w_{\text{fall1.2}} - 1.5\text{m}))$

$$V_{\text{fall1.2.0.ä}}(y_{\text{fall1.2}}) := R_{A,\text{fall1.0.ä}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.ä}} y_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.2.0.ä}} (y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.0.ä}}$$

$$M_{\text{fall1.2.0.ä}}(y_{\text{fall1.2}}) := R_{A,\text{fall1.0.ä}} (y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.ä}} \frac{y_{\text{fall1.2}}^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.0.ä}} \frac{(y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}})^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.0.ä}} (y_{\text{fall1.2}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 3: $(a_{\text{konsol}} + (w_{\text{fall1.2}} - 1.5\text{m})) < y_{\text{fall1.3}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}})$

$$V_{\text{fall1.3.0.ä}}(y_{\text{fall1.3}}) := R_{A,\text{fall1.0.ä}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.ä}} y_{\text{fall1.3}} - TS_{\text{fall1.2.0.ä}} - UDL_{\text{fall1.2.0.ä}} (y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.0.ä}}$$

$$M_{\text{fall1.3.0.ä}}(y_{\text{fall1.3}}) := R_{A,\text{fall1.0.ä}} (y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.ä}} \frac{y_{\text{fall1.3}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.2.0.ä}} (y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.ä}} \frac{(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}})^2}{2} - P_{\text{kant.fall1.0.ä}} (y_{\text{fall1.3}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a

Snitt 4: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}}) < y_{\text{fall1.4}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}/2)$

$$V_{\text{fall1.4.0.}}(y_{\text{fall1.4}}) := R_{A.\text{fall1.0.}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.}} \cdot y_{\text{fall1.4}} - TS_{\text{fall1.2.0.}} \cdot a - UDL_{\text{fall1.1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.}} \cdot w_{\text{fall1.2}} - P_{\text{kant.fall1.0.}} \cdot a$$

$$M_{\text{fall1.4.0.}}(y_{\text{fall1.4}}) := R_{A.\text{fall1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall1.4}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.2.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.1.0.}} \cdot \frac{(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.0.}} \cdot w_{\text{fall1.2}} \cdot \left(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.4}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 5: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}/2) < y_{\text{fall1.5}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.1}} + w_{\text{fall1.2}})$

$$V_{\text{fall1.5.0.}}(y_{\text{fall1.5}}) := R_{A.\text{fall1.0.}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.}} \cdot y_{\text{fall1.5}} - TS_{\text{fall1.1.0.}} \cdot a - TS_{\text{fall1.2.0.}} \cdot a - UDL_{\text{fall1.1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}}) \dots \\ + (-UDL_{\text{fall1.2.0.}} \cdot w_{\text{fall1.2}} - P_{\text{kant.fall1.0.}} \cdot a)$$

$$M_{\text{fall1.5.0.}}(y_{\text{fall1.5}}) := R_{A.\text{fall1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall1.5}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.1.0.}} \cdot \left(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall1.2.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) - UDL_{\text{fall1.1.0.}} \cdot \frac{(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.}} \cdot w_{\text{fall1.2}} \cdot \left(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - P_{\text{kant.fall1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.5}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottngräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a

Snitt 6: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.1}} + w_{\text{fall1.2}}) < y_{\text{fall1.6}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}})$

$$V_{\text{fall1.6.0.}}(y_{\text{fall1.6}}) := R_{A.\text{fall1.0.}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.}} \cdot y_{\text{fall1.6}} - TS_{\text{fall1.1.0.}} - TS_{\text{fall1.2.0.}} - UDL_{\text{fall1.1.0.}} \cdot w_{\text{fall1.1}} \cdots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.}} \cdot w_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.3.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.1}} - w_{\text{fall1.2}}) - P_{\text{kant.fall1.0.}} \cdot a$$

$$M_{\text{fall1.6.0.}}(y_{\text{fall1.6}}) := R_{A.\text{fall1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall1.6}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.1.0.}} \cdot \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \cdots \\ + -TS_{\text{fall1.2.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) - UDL_{\text{fall1.1.0.}} \cdot w_{\text{fall1.1}} \cdot \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \cdots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.}} \cdot w_{\text{fall1.2}} \cdot \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall1.3.0.}} \cdot \frac{(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.1}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} \cdot \\ + -P_{\text{kant.fall1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.6}} + 0.25\text{m})$$

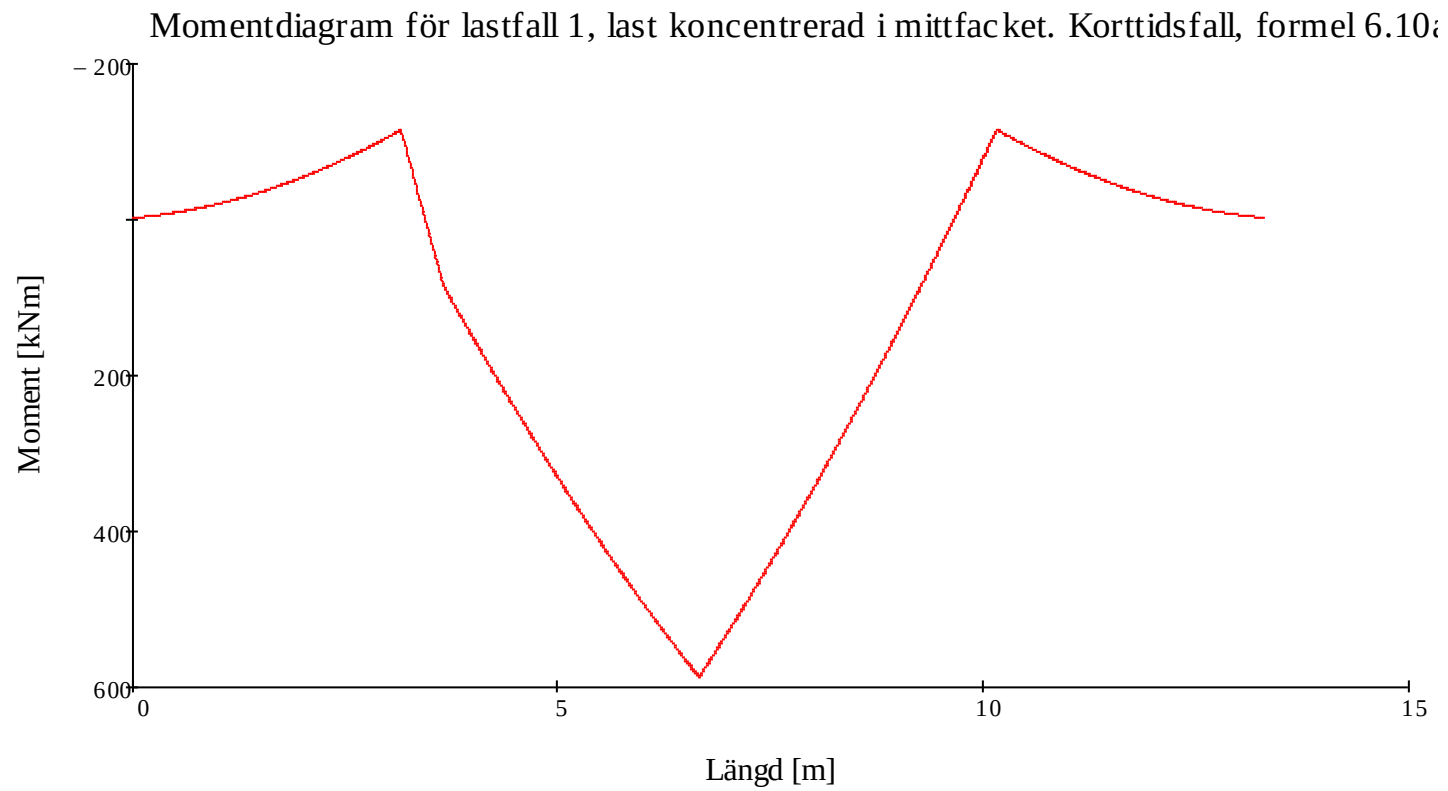
Snitt 7: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}) < y_{\text{fall1.7}} < (b_{\text{vägbana}} - 2 \cdot 0.1\text{m})$

$$V_{\text{fall1.7.0.}}(y_{\text{fall1.7}}) := R_{A.\text{fall1.0.}} + R_{B.\text{fall1.0.}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.}} \cdot y_{\text{fall1.7}} - TS_{\text{fall1.1.0.}} - TS_{\text{fall1.2.0.}} - UDL_{\text{fall1.1.0.}} \cdot w_{\text{fall1.1}} \cdots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.}} \cdot w_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.3.0.}} \cdot w_{\text{fall1.3}} - P_{\text{kant.fall1.0.}} \cdot a$$

$$M_{\text{fall1.7.0.}}(y_{\text{fall1.7}}) := R_{A.\text{fall1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}}) + R_{B.\text{fall1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - a_{\text{stöd}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall1.7}}^2}{2} \cdots \\ + -TS_{\text{fall1.1.0.}} \cdot \left(y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) - TS_{\text{fall1.2.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \cdots \\ + -(UDL_{\text{fall1.1.0.}} \cdot w_{\text{fall1.1}} + UDL_{\text{fall1.2.0.}} \cdot w_{\text{fall1.2}} + UDL_{\text{fall1.3.0.}} \cdot w_{\text{fall1.3}}) \cdot \left(y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \cdots \\ + -P_{\text{kant.fall1.0.}} \cdot (y_{\text{fall1.7}} + 0.25\text{m})$$

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a

Maximalt moment fall 1, korttidsfall med formel 6.10a

Diagrammet ger att det maximala momentet uppstår i mitten av mittenspannet, snitt 4 och 5

$$M_{\text{fall1.4.0.a}}(y) := \left[R_{A,\text{fall1.0.a}}(y - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.a}} \frac{y^2}{2} - TS_{\text{fall1.2.0.a}}(y - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \right. \\ \left. + -UDL_{\text{fall1.1.0.a}} \frac{(y - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.0.a}} w_{\text{fall1.2}} \left(y - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - P_{\text{kant.fall1.0.a}}(y + 0.25\text{m}) \right]$$

$y := 0\text{m}$

Given

$$a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}} < y < a_{\text{konsol}} + \frac{a_{\text{stöd}}}{2}$$

$$P := \text{Maximize}(M_{\text{fall1.4.0.a}}(y)) = 6.65\text{m}$$

Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximalt moment uppstår

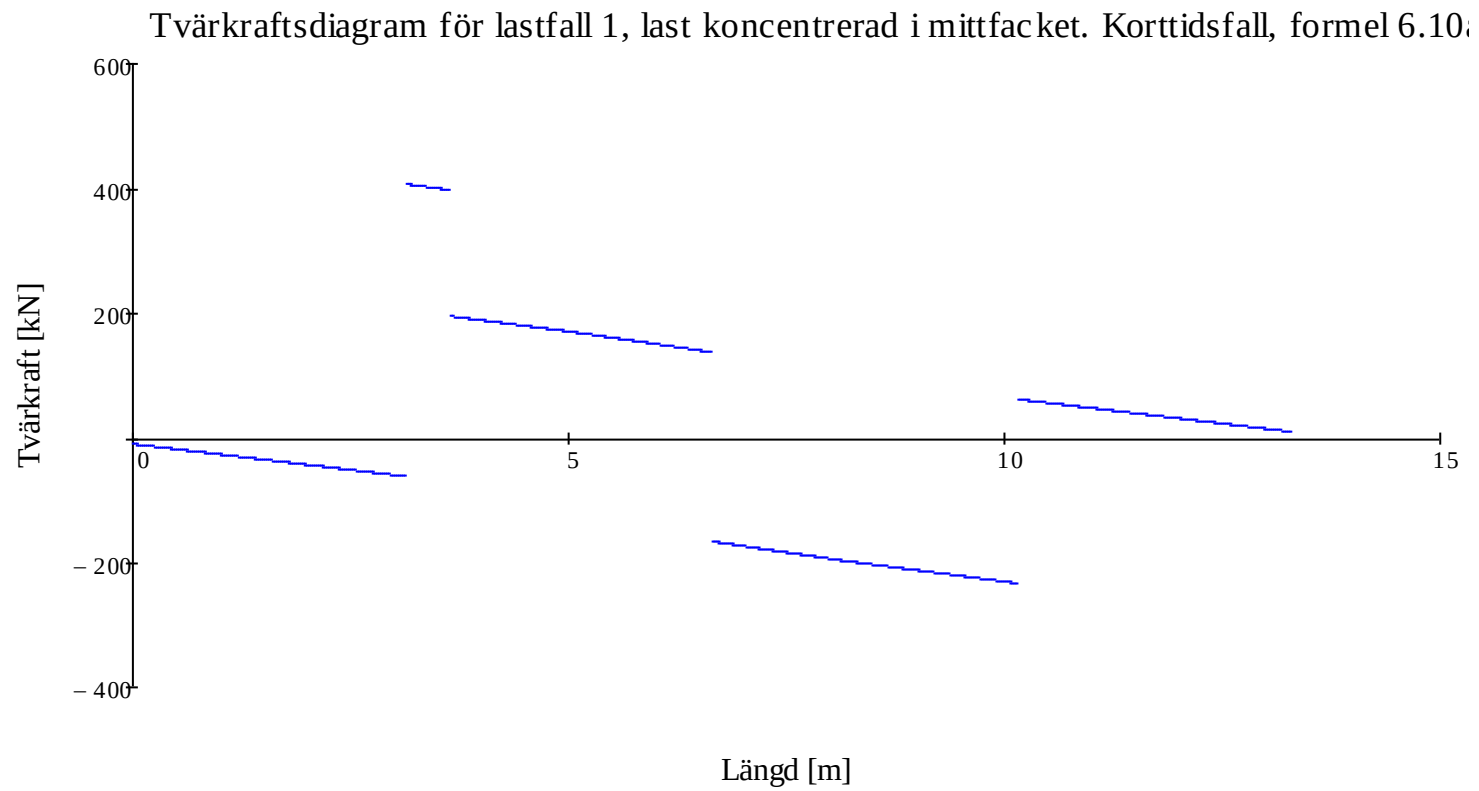
$$M_{\text{fall1.4.0.a.max}} = M_{\text{fall1.4.0.a}}(P) = 586.918\text{kNm}$$

$$\boxed{M_{\text{max.fall1.0.a}} = M_{\text{fall1.4.0.a.max}} = 586.918\text{kNm}}$$

Maximalt moment för fall 1, korttidsfall med formel 6.10a

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10a

Maximal tvärkraft fall 1, korttidsfall med formel 6.10a

Diagrammet ger att den maximala tvärkraften uppstår på höger sida om stöd A, snitt 2

$$V_{\text{fall1.2.0.a}}(y) := \left[R_{A,\text{fall1.0.a}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.a}} y - \text{UDL}_{\text{fall1.2.0.a}} (y - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.0.a}} \right]$$

$$a_{\text{konsol}} < y < a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}} - 1.5r$$

$$y_s := 0\text{m}$$

$$P_s := a_{\text{konsol}} = 3.15\text{m}$$

Given

$$V_{\text{fall1.2.0.a.max}} = V_{\text{fall1.2.0.a}}(P) = 406.698\text{kN} \quad \text{Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximal tvärkraft uppstår}$$

$$V_{\text{max.fall1.0.a}} = V_{\text{fall1.2.0.a.max}} = 406.698\text{kN}$$

Maximal tvärkraft för fall 1, korttidsfall med formel 6.10a

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b

1.4.1.2 Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram, korttid med formel 6.10b

Lastberäkning med hänsyn till säkerhetsfaktorerna enligt lastkombination 6.10b

$$Q_{\text{egenvikt, platta, fall 1.0.b}} = Q_{\text{egenvikt, platta}} \cdot \gamma_{G,0} \xi_0 = 14.778 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Egenvikt för plattan

$$P_{\text{kant, fall 1.0.b}} = P_{\text{kant}} \cdot \gamma_{G,0} \xi_0 = 8.687 \text{ kN}$$

Vikt för kantbalken

$$\text{Utbredda laster: } UDL_{\text{fall 1.1.0.b}} = UDL_1 \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} \xi_0 = 9.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

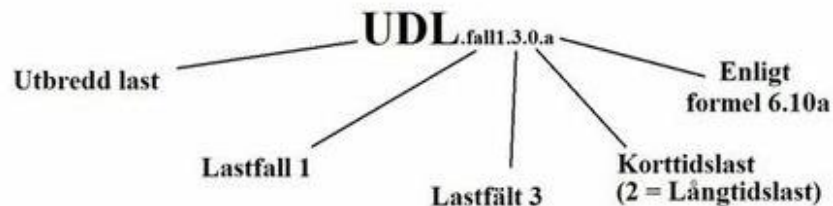
Utbredd last fall1, fält 1, korttidsfall

$$UDL_{\text{fall 1.2.0.b}} = UDL_2 \cdot \psi_{0,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} \xi_0 = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Utbredd last fall1, fält 2, korttidsfall

$$UDL_{\text{fall 1.3.0.b}} = UDL_3 \cdot \psi_{0,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} \xi_0 = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Utbredd last fall1, fält 3, korttidsfall



Beteckningar enligt modellen till vänster används i detta kapitel

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b

Punktlaster: $TS_{fall1.1.0.b} = TS_1 \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} = 405 \text{ kN}$ Punktlast fall1, fält 1, korttidsfall

$TS_{fall1.2.0.b} = TS_2 \cdot \psi_{0,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} = 202.5 \text{ kN}$ Punktlast fall1, fält 2, korttidsfall

$TS_{fall1.3.0.b} = TS_3 \cdot \psi_{0,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} = 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Punktlast fall1, fält 3, korttidsfall

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b

Jämviktsekvationer för att lösa ut stödkrafter, korttidsfall med formel 6.10b

Momentjämvikt kring stöd A:

$$R_{B,fall1.0.b} = \frac{\left[Q_{egenvikt,platta,fall1.0.b} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) \cdot \frac{a_{stöd}}{2} + TS_{fall1.1.0.b} \frac{a_{stöd}}{2} + TS_{fall1.2.0.b} (w_{fall1.2} - 1.5m) \dots \right.}{a_{stöd}}$$

$$+ TS_{fall1.3.0.b} \left(\frac{a_{stöd}}{2} - w_{fall1.1} \right) + UDL_{fall1.1.0.b} w_{fall1.1} \frac{a_{stöd}}{2} + \left(UDL_{fall1.2.0.b} w_{fall1.2} + UDL_{fall1.3.0.b} w_{fall1.3} \right) \cdot \frac{a_{stöd}}{2} \dots$$

$$+ P_{kant,fall1.0.b} (0.25m + a_{konsol} + a_{stöd}) - P_{kant,fall1.0.b} (0.25m + a_{konsol})$$

$$R_{B,fall1.0.b} = 341.103kN$$

Global jämvikt:

$$R_{A,fall1.0.b} = TS_{fall1.1.0.b} + TS_{fall1.2.0.b} + TS_{fall1.3.0.b} + w_{fall1.1} UDL_{fall1.1.0.b} + w_{fall1.2} UDL_{fall1.2.0.b} + w_{fall1.3} UDL_{fall1.3.0.b} \dots$$

$$+ Q_{egenvikt,platta,fall1.0.b} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) + P_{kant,fall1.0.b} \cdot 2 - R_{B,fall1.0.b}$$

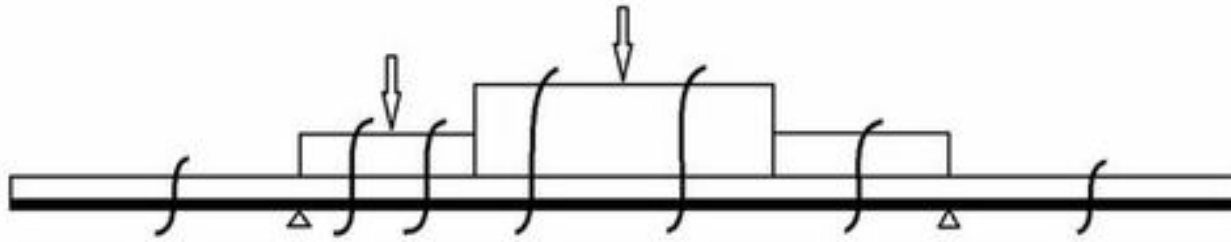
$$R_{A,fall1.0.b} = 514.674kN$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

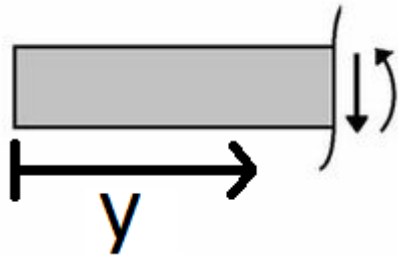
Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b

Snittning från vänster för att beräkna moment och tvärkraft:



Snittningen görs från vänster enligt bilden nedan. I bilden ovan försummas punklasten TS3 på grund av att den är noll.



Snitt 1: $0 < y_{fall1.1} < a_{konsol}$

$$V_{fall1.1.0.b}(y_{fall1.1}) := -Q_{egenvikt.platta.fall1.0.b} y_{fall1.1} - P_{kant.fall1.0.l}$$

$$M_{fall1.1.0.b}(y_{fall1.1}) := -Q_{egenvikt.platta.fall1.0.b} \frac{y_{fall1.1}^2}{2} - P_{kant.fall1.0.b}(y_{fall1.1} + 0.25m)$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b

Snitt 2: $a_{\text{konsol}} < y_{\text{fall1.2}} < (a_{\text{konsol}} + (w_{\text{fall1.2}} - 1.5\text{m}))$

$$V_{\text{fall1.2.0.b}}(y_{\text{fall1.2}}) := R_{\text{A.fall1.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} y_{\text{fall1.2}} - \text{UDL}_{\text{fall1.2.0.b}} (y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.0.l}}$$

$$M_{\text{fall1.2.0.b}}(y_{\text{fall1.2}}) := R_{\text{A.fall1.0.b}} (y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} \frac{y_{\text{fall1.2}}^2}{2} - \text{UDL}_{\text{fall1.2.0.b}} \frac{(y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}})^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.0.b}} (y_{\text{fall1.2}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 3: $(a_{\text{konsol}} + (w_{\text{fall1.2}} - 1.5\text{m})) < y_{\text{fall1.3}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}})$

$$V_{\text{fall1.3.0.b}}(y_{\text{fall1.3}}) := R_{\text{A.fall1.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} y_{\text{fall1.3}} - \text{TSp}_{\text{fall1.2.0.b}} - \text{UDL}_{\text{fall1.2.0.b}} (y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.0.l}}$$

$$M_{\text{fall1.3.0.b}}(y_{\text{fall1.3}}) := R_{\text{A.fall1.0.b}} (y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} \frac{y_{\text{fall1.3}}^2}{2} - \text{TSp}_{\text{fall1.2.0.b}} (y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -\text{UDL}_{\text{fall1.2.0.b}} \frac{(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}})^2}{2} - P_{\text{kant.fall1.0.b}} (y_{\text{fall1.3}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b

Snitt 4: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}}) < y_{\text{fall1.4}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}/2)$

$$V_{\text{fall1.4.0.b}}(y_{\text{fall1.4}}) := R_{A.\text{fall1.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} y_{\text{fall1.4}} - TS_{\text{fall1.2.0.b}} - UDL_{\text{fall1.1.0.b}}(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.b}} w_{\text{fall1.2}} - P_{\text{kant.fall1.0.b}}$$

$$M_{\text{fall1.4.0.b}}(y_{\text{fall1.4}}) := R_{A.\text{fall1.0.b}}(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} \frac{y_{\text{fall1.4}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.2.0.b}}(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.1.0.b}} \frac{(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.0.b}} w_{\text{fall1.2}} \left(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.0.b}}(y_{\text{fall1.4}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 5: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}/2) < y_{\text{fall1.5}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.1}} + w_{\text{fall1.2}})$

$$V_{\text{fall1.5.0.b}}(y_{\text{fall1.5}}) := R_{A.\text{fall1.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} y_{\text{fall1.5}} - TS_{\text{fall1.1.0.b}} - TS_{\text{fall1.2.0.b}} - UDL_{\text{fall1.1.0.b}}(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.b}} w_{\text{fall1.2}} - P_{\text{kant.fall1.0.b}}$$

$$M_{\text{fall1.5.0.b}}(y_{\text{fall1.5}}) := R_{A.\text{fall1.0.b}}(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} \frac{y_{\text{fall1.5}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.1.0.b}} \left(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall1.2.0.b}}(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) - UDL_{\text{fall1.1.0.b}} \frac{(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.b}} w_{\text{fall1.2}} \left(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - P_{\text{kant.fall1.0.b}}(y_{\text{fall1.5}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b

Snitt 6: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.1}} + w_{\text{fall1.2}}) < y_{\text{fall1.6}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}})$

$$V_{\text{fall1.6.0.b}}(y_{\text{fall1.6}}) := R_{A,\text{fall1.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} y_{\text{fall1.6}} - TS_{\text{fall1.1.0.b}} - TS_{\text{fall1.2.0.b}} - UDL_{\text{fall1.1.0.b}} w_{\text{fall1.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.b}} w_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.3.0.b}} (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.1}} - w_{\text{fall1.2}}) - P_{\text{kant.fall1.0.b}}$$

$$M_{\text{fall1.6.0.b}}(y_{\text{fall1.6}}) := R_{A,\text{fall1.0.b}} (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} \frac{y_{\text{fall1.6}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.1.0.b}} \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall1.2.0.b}} (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) - UDL_{\text{fall1.1.0.b}} w_{\text{fall1.1}} \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.b}} w_{\text{fall1.2}} \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall1.3.0.b}} \frac{(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.1}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.0.b}} (y_{\text{fall1.6}} + 0.25\text{m})$$

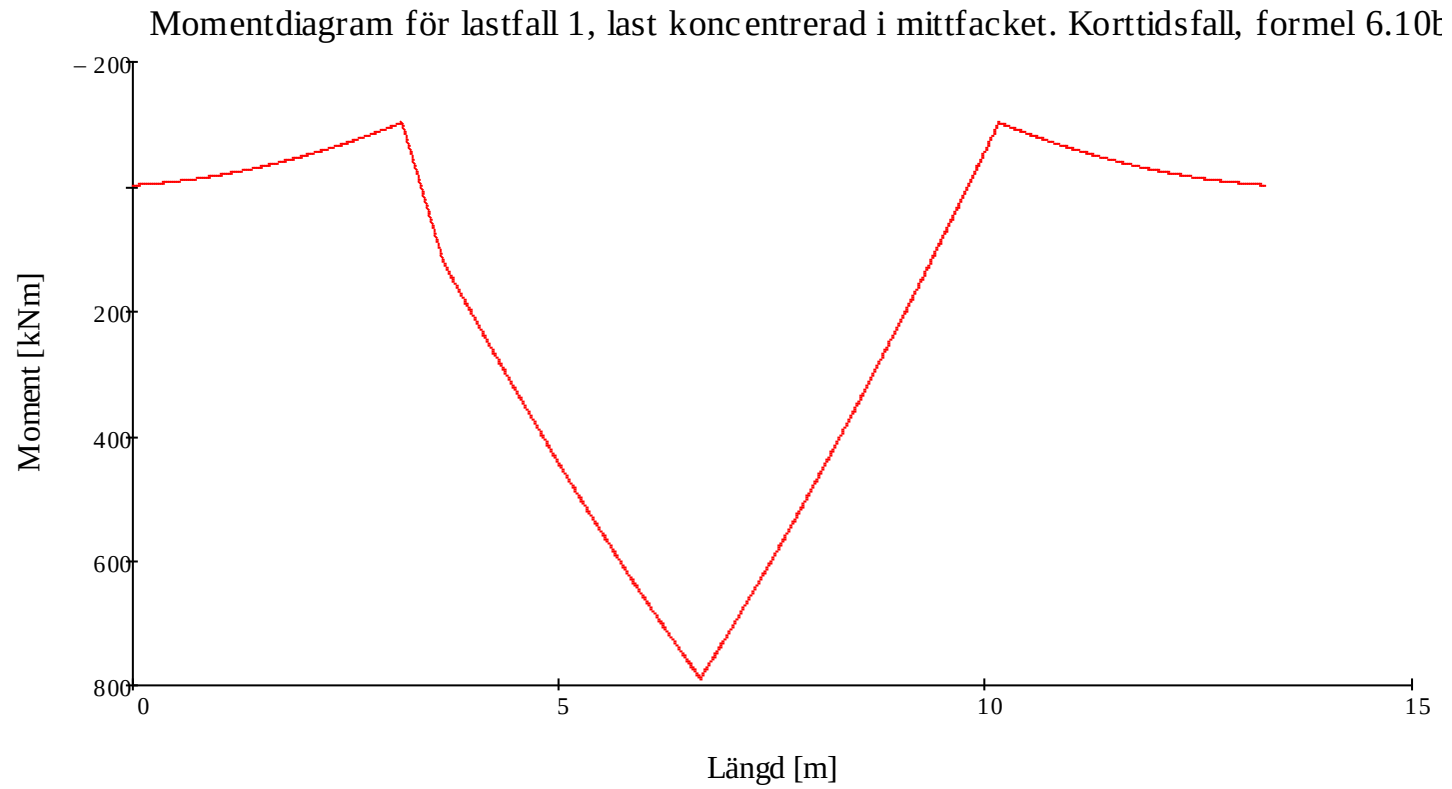
Snitt 7: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}) < y_{\text{fall1.7}} < (b_{\text{vägbana}} - 2 \cdot 0.1\text{m})$

$$V_{\text{fall1.7.0.b}}(y_{\text{fall1.7}}) := R_{A,\text{fall1.0.b}} + R_{B,\text{fall1.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} y_{\text{fall1.7}} - TS_{\text{fall1.1.0.b}} - TS_{\text{fall1.2.0.b}} - UDL_{\text{fall1.1.0.b}} w_{\text{fall1.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.b}} w_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.3.0.b}} w_{\text{fall1.3}} - P_{\text{kant.fall1.0.b}}$$

$$M_{\text{fall1.7.0.b}}(y_{\text{fall1.7}}) := R_{A,\text{fall1.0.b}} (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}}) + R_{B,\text{fall1.0.b}} (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - a_{\text{stöd}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} \frac{y_{\text{fall1.7}}^2}{2} \dots \\ + -TS_{\text{fall1.1.0.b}} \left(y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) - TS_{\text{fall1.2.0.b}} (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -(UDL_{\text{fall1.1.0.b}} w_{\text{fall1.1}} + UDL_{\text{fall1.2.0.b}} w_{\text{fall1.2}} + UDL_{\text{fall1.3.0.b}} w_{\text{fall1.3}}) \left(y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.0.b}} (y_{\text{fall1.7}} + 0.25\text{m})$$

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b

Maximalt moment fall 1, kortidsfall med formel 6.10b

Diagrammet ger att det maximala momentet uppstår i mitten av mittenspannet, snitt 4 och 5

$$M_{\text{fall1.4.0.b}}(y) := \left[R_{A,\text{fall1.0.b}}(y - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} \frac{y^2}{2} - T_{S_{\text{fall1.2.0.b}}}(y - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \right. \\ \left. + -UDL_{\text{fall1.1.0.b}} \frac{(y - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.0.b}} w_{\text{fall1.2}} \left(y - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - P_{\text{kant.fall1.0.b}}(y + 0.25\text{m}) \right]$$

$$y := 0\text{m}$$

Given

$$a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}} < y < a_{\text{konsol}} + \frac{a_{\text{stöd}}}{2}$$

$$p := \frac{(b_{\text{vägbana}} - 2 \cdot 0.1\text{m})}{2} = 6.65\text{m}$$

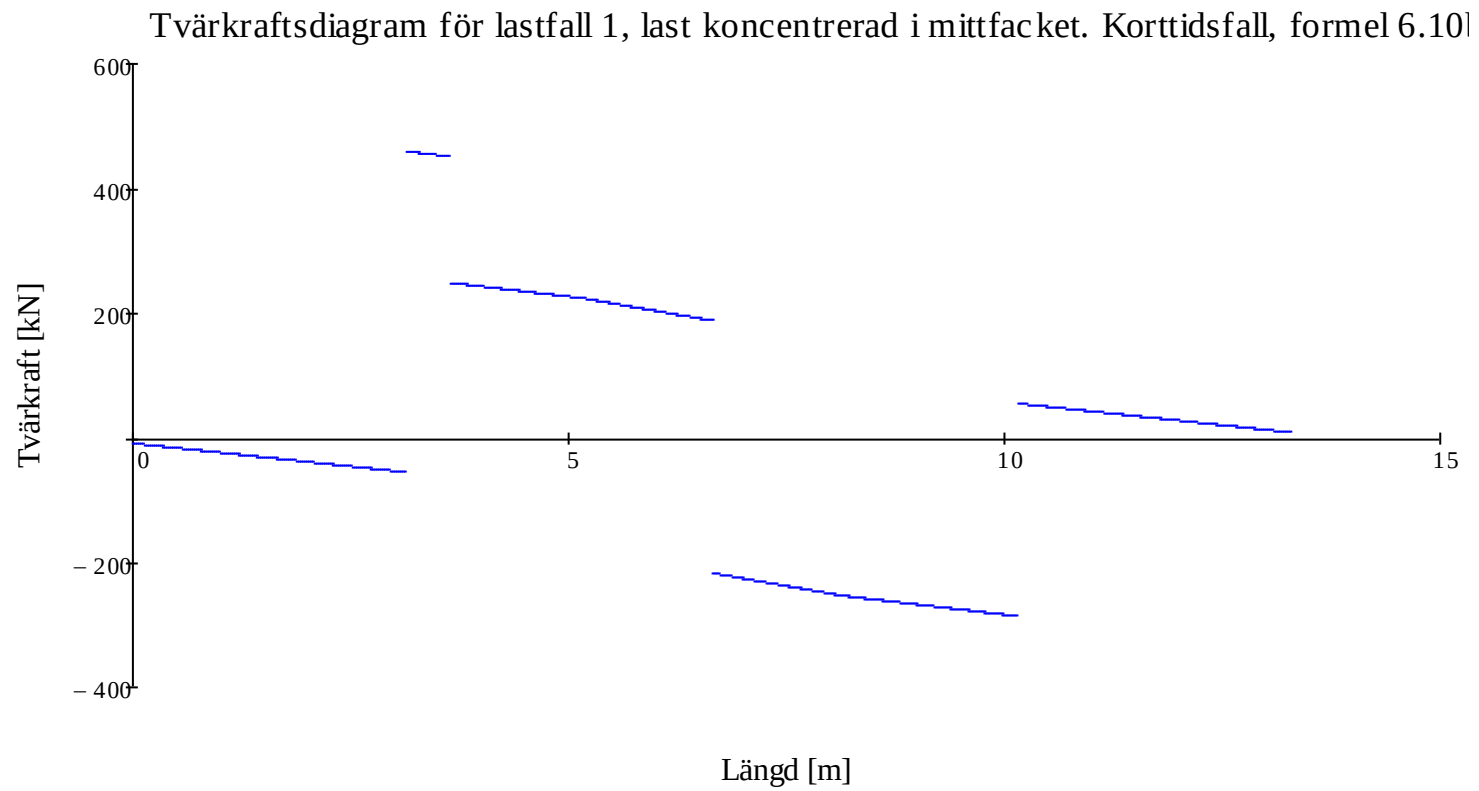
Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximalt moment uppstår.

$$M_{\text{fall1.4.0.b.max}} = M_{\text{fall1.4.0.b}}(P) = 789.019\text{kNm}$$

$$\boxed{M_{\text{max.fall1.0.b}} = M_{\text{fall1.4.0.b.max}} = 789.019\text{kNm}} \quad \text{Maximalt moment för fall 1, kortidsfall med formel 6.10b}$$

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 1 med formel 6.10b

Maximal tvärkraft fall 1, korttidsfall med formel 6.10b

Diagrammet ger att den maximala tvärkraften uppstår till höger om stöd A, snitt 2

$$V_{\text{fall1.2.0.b}}(y) := R_{A,\text{fall1.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} y - UDL_{\text{fall1.2.0.b}}(y - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.0.l}}$$

$$a_{\text{konsol}} < y < a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}}$$

$$y := 0 \text{ m}$$

$$P := a_{\text{konsol}} = 3.15 \text{ m}$$

Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximal tvärkraft uppstår

Given

$$V_{\text{fall1.2.0.b.max}} = V_{\text{fall1.2.0.b}}(P) = 459.435 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max.fall1.0.b}} = V_{\text{fall1.2.0.b.max}} = 459.435 \text{ kN}$$

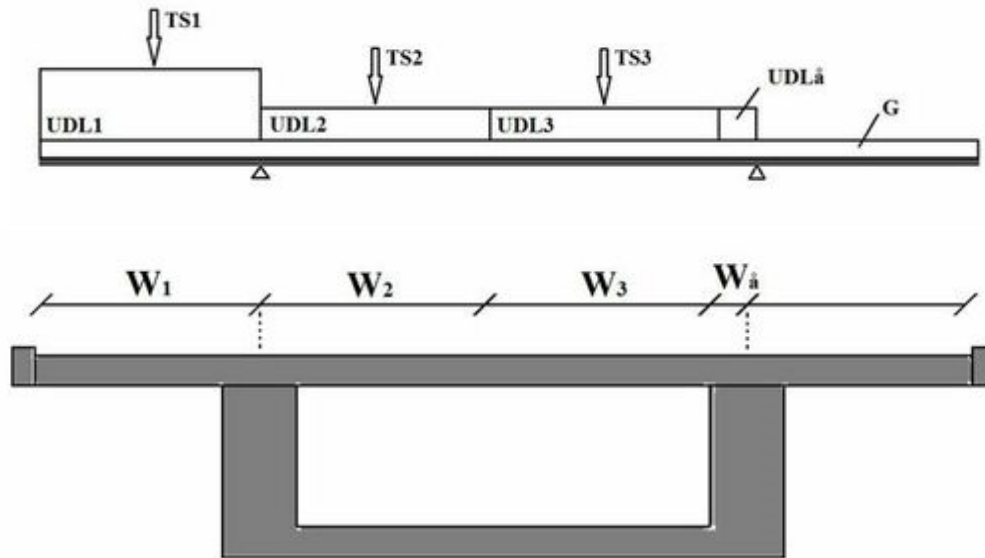
Maximal tvärkraft för fall 1, korttidsfall med formel 6.10b

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 och säkerhetsfaktorer

1.4.2 Lastfall 2, last koncentrerad över vänstra stödet. Moment- och tvärkraftsdiagram i brottgräns

Olika lastfall används för att beräkna kritiska moment och tvärkrafter. I lastfall 2 är lasterna koncentrerade till ena sidan medan andra sidan är obelastad, detta resulterar i att maximalt moment och tvärkraft uppstår över stöd. Lastfält 1 antas belasta hela konsolen, det är ett antagande på den säkra sidan så länge w_1 är minst 3 m.



$$w_{\text{fall2.1}} := \frac{(b_{\text{vägbana}} - a_{\text{stöd}})}{2} - 0.1\text{m} = 3.15\text{m}$$

$$w_{\text{fall2.2}} := 3\text{m} = 3\text{m}$$

$$w_{\text{fall2.3}} := 3\text{m} = 3\text{m}$$

$$w_{\text{fall2.ö}} := 0\text{m}$$

$$w_{\text{fall2.ä}} := a_{\text{stöd}} - w_{\text{fall2.2}} - w_{\text{fall2.3}} = 1\text{m}$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 och säkerhetsfaktorer

Definerar intervall för att plotta moment- och tvärkraftsdiagram $y_{fall2.1}$ - $y_{fall2.5}$

Varje steg är 1 cm

$$y_{fall2.1} := \left(0 \cdot m, 0.01m \cdot \frac{a_{konsol}}{2} \right)$$

$$y_{fall2.2} := \left(\frac{a_{konsol}}{2}, \frac{a_{konsol}}{2} + 0.01m \cdot a_{konsol} \right)$$

$$y_{fall2.3} := \left(a_{konsol}, a_{konsol} + 0.01m \cdot a_{konsol} + \frac{w_{fall2.2}}{2} \right)$$

$$y_{fall2.4} := \left(a_{konsol} + \frac{w_{fall2.2}}{2}, a_{konsol} + \frac{w_{fall2.2}}{2} + 0.01m \cdot a_{konsol} + a_{stöd} \right)$$

$$y_{fall2.5} := (a_{konsol} + a_{stöd}, a_{konsol} + a_{stöd} + 0.01m \cdot b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m)$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 och säkerhetsfaktorer

För variabla laster tas hänsyn till följande säkerhetsfaktor

För alla variabla laster används säkerhetsfaktorn $\gamma_{Q,0} := 1.5$ Säkerhetsfaktor för korttidsfall (brottgräns).

Säkerhetsfaktorer enligt lastmodell 1

$\gamma_{G,0} := 1.35$ $\psi_{0,\text{utbredd}} := 0.4$ $\psi_{0,\text{punkt}} := 0.7$ $\xi_0 := 0.8$ Lastfaktorer för korttidsfall (brottgräns).

Säkerhetsklass 3

Vi ska utgå från säkerhetsklass 3 när bron dimensioneras. Detta medför ytterligare en säkerhetsfaktor.

$\gamma_d := 1.0$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a

1.4.2.1 Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram, korttidsfall med formel 6.10a

Lastberäkning med hänsyn till säkerhetsfaktorerna enligt lastkombination 6.10a

$$Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.a}} = Q_{\text{egenvikt.platta}} \cdot \gamma_{G.0} = 16.605 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egenvikt för plattan}$$

$$P_{\text{kant.fall2.0.a}} = P_{\text{kant}} \cdot \gamma_{G.0} = 9.761 \text{ kN} \quad \text{Vikt för kantbalken}$$

$$\text{Utbredda laster: } UDL_{\text{fall2.1.0.a}} = UDL_1 \cdot \psi_{0.\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.0}^{\text{cc}} = 3.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Utbredd last fall 2, fält 1, korttidsfall

$$UDL_{\text{fall2.2.0.a}} = UDL_2 \cdot \psi_{0.\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.0}^{\text{cc}} = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

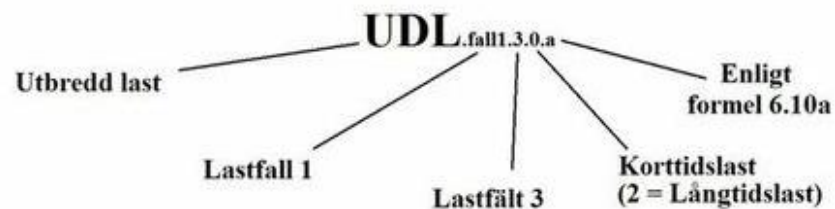
Utbredd last fall 2, fält 2, korttidsfall

$$UDL_{\text{fall2.3.0.a}} = UDL_3 \cdot \psi_{0.\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.0}^{\text{cc}} = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Utbredd last fall 2, fält 3, korttidsfall

$$UDL_{\text{fall2.4.0.a}} = UDL_4 \cdot \psi_{0.\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.0}^{\text{cc}} = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Utbredd last fall 2, fält återstående, korttidsfall



Beteckningar enligt modellen till vänster används i detta kapitel

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a

Punktlaster: $TS_{fall2.1.0.a} = TS_1 \cdot \psi_{0,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} = 303.75 \text{ kN}$ Punktlast fall 2, fält 1, korttidsfall

$TS_{fall2.2.0.a} = TS_2 \cdot \psi_{0,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} = 202.5 \text{ kN}$ Punktlast fall 2, fält 2, korttidsfall

$TS_{fall2.3.0.a} = TS_3 \cdot \psi_{0,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} = 0 \text{ kN}$ Punktlast fall 2, fält 3, korttidsfall

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a

Jämviktsekvationer för att lösa ut stödkrafter, i korttidsfall med formel 6.10a

Momentjämvikt kring stöd A:

$$R_{B,fall2.0,a} = \frac{\left[Q_{egenvikt,platta,fall2.0,a} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) \cdot \frac{a_{stöd}}{2} - UDL_{fall2.1.0,a} \frac{a_{konsol}^2}{2} - TS_{fall2.1.0,a} \frac{a_{konsol}}{2} \dots \right. \\ \left. + UDL_{fall2.2.0,a} \frac{w_{fall2.2}^2}{2} + TS_{fall2.2.0,a} \frac{w_{fall2.2}}{2} + UDL_{fall2.3.0,a} w_{fall2.3} \left(w_{fall2.2} + \frac{w_{fall2.3}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + TS_{fall2.3.0,a} \left(w_{fall2.2} + \frac{w_{fall2.3}}{2} \right) + UDL_{fall2.4.0,a} w_{fall2.4} \left(w_{fall2.2} + w_{fall2.3} + \frac{w_{fall2.4}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + P_{kant,fall2.0,a} (0.25m + a_{konsol} + a_{stöd}) - P_{kant,fall2.0,a} (0.25m + a_{konsol}) \right] a_{stöd}$$

$$R_{B,fall2.0,a} = 97.804kN$$

Global jämvikt:

$$R_{A,fall2.0,a} = TS_{fall2.1.0,a} + TS_{fall2.2.0,a} + TS_{fall2.3.0,a} + w_{fall2.1} UDL_{fall2.1.0,a} + w_{fall2.2} UDL_{fall2.2.0,a} + w_{fall2.3} UDL_{fall2.3.0,a} \dots \\ + w_{fall2.4} UDL_{fall2.4.0,a} + Q_{egenvikt,platta,fall2.0,a} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) + P_{kant,fall2.0,a} - R_{B,fall2.0,a}$$

$$R_{A,fall2.0,a} = 671.221kN$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

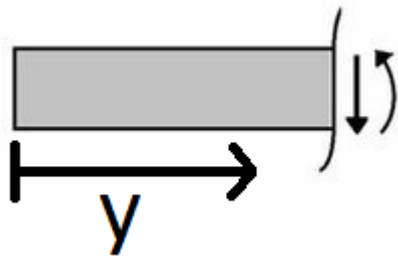
Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a

Snittning från vänster för att beräkna moment och tvärkraft:



Snittningen görs från vänster enligt bilden. Endast ett snitt görs mellan TS₂ och högra stödet då punktlasten TS₃ är noll och de utbredda lasterna UDL₂, UDL₃ och UDL₄ är lika stora.



Snitt 1: $0 < y_{\text{fall2.1}} < a_{\text{konsol}}/2$

$$V_{\text{fall2.1.0.}}(y_{\text{fall2.1}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot y_{\text{fall2.1}} - UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot y_{\text{fall2.1}} - P_{\text{kant.fall2.0.}}$$

$$M_{\text{fall2.1.0.}}(y_{\text{fall2.1}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall2.1}}^2}{2} - UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall2.1}}^2}{2} - P_{\text{kant.fall2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.1}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a

Snitt 2: $a_{\text{konsol}}/2 < y_{\text{fall2.2}} < a_{\text{konsol}}$

$$V_{\text{fall2.2.0.}}(y_{\text{fall2.2}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot y_{\text{fall2.2}} - TS_{\text{fall2.1.0.a}} - UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot y_{\text{fall2.2}} - P_{\text{kant.fall2.0.}}$$

$$M_{\text{fall2.2.0.}}(y_{\text{fall2.2}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall2.2}}^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.0.a}} \left(y_{\text{fall2.2}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot \frac{(y_{\text{fall2.2}})^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.2}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 3: $a_{\text{konsol}} < y_{\text{fall2.3}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall2.2}}/2)$

$$V_{\text{fall2.3.0.}}(y_{\text{fall2.3}}) := R_{A.\text{fall2.0.a}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot y_{\text{fall2.3}} - TS_{\text{fall2.1.0.a}} - UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot w_{\text{fall2.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall2.0.a}}$$

$$M_{\text{fall2.3.0.}}(y_{\text{fall2.3}}) := R_{A.\text{fall2.0.a}} \cdot (y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall2.3}}^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.0.a}} \left(y_{\text{fall2.3}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot w_{\text{fall2.1}} \left(y_{\text{fall2.3}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}}) \cdot \frac{(y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}})}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall2.0.a}} \cdot (y_{\text{fall2.3}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a

Snitt 4: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall2.2}}/2) < y_{\text{fall2.4}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}})$

$$V_{\text{fall2.4.0.}}(y_{\text{fall2.4}}) := R_{A.\text{fall2.0.}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot y_{\text{fall2.4}} - TS_{\text{fall2.1.0.}} \cdot a - TS_{\text{fall2.2.0.}} \cdot a - UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot w_{\text{fall2.1.}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall2.0.}} \cdot a$$

$$M_{\text{fall2.4.0.}}(y_{\text{fall2.4}}) := R_{A.\text{fall2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall2.4}}^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.0.}} \cdot \left(y_{\text{fall2.4}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall2.2.0.}} \cdot \left(y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall2.2}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot w_{\text{fall2.1.}} \cdot \left(y_{\text{fall2.4}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}}) \cdot \frac{(y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}})}{2} - P_{\text{kant.fall2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.4}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 5: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}) < y_{\text{fall2.5}} < (b_{\text{vägbana}} - 2 \cdot 0.1\text{m})$

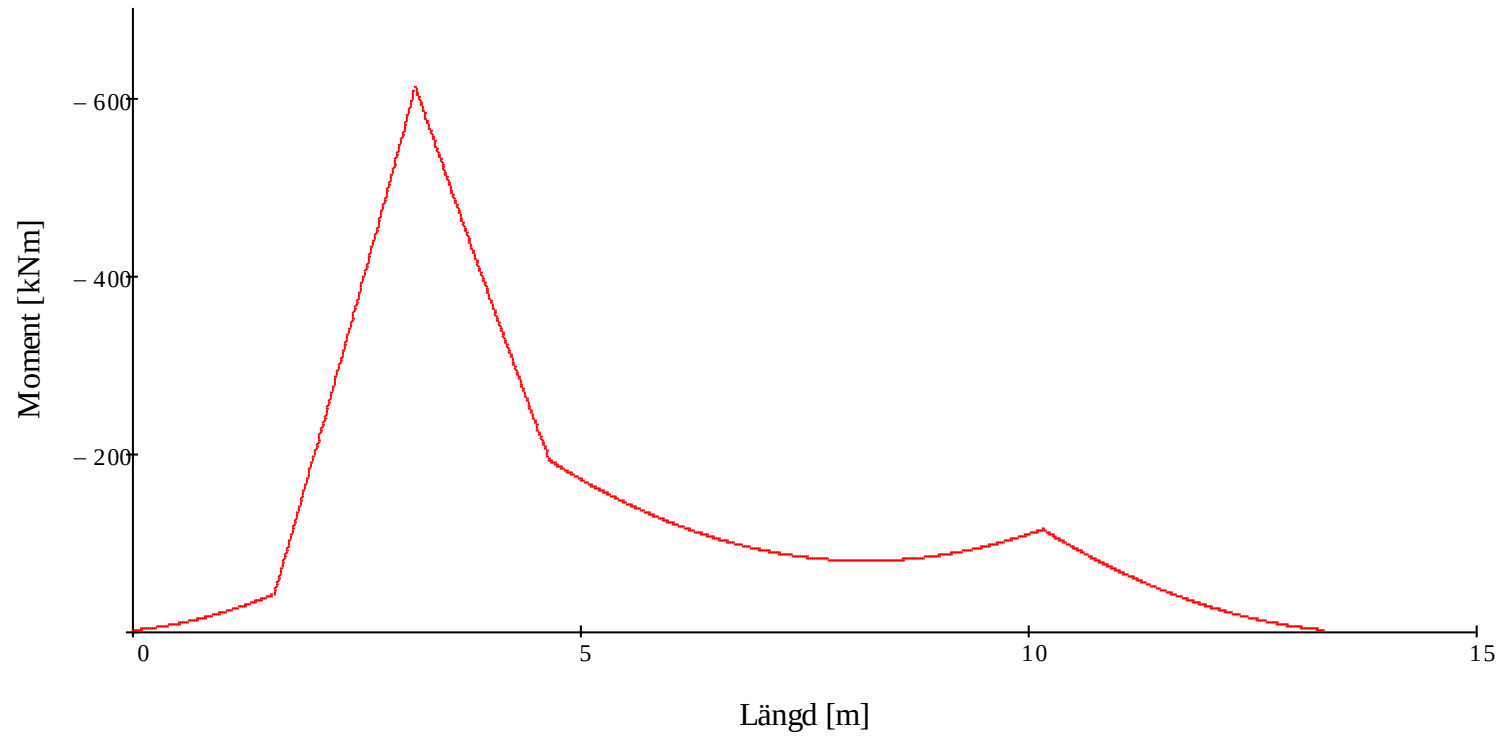
$$V_{\text{fall2.5.0.}}(y_{\text{fall2.5}}) := R_{A.\text{fall2.0.}} \cdot a + R_{B.\text{fall2.0.}} \cdot a - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot y_{\text{fall2.5}} - TS_{\text{fall2.1.0.}} \cdot a - TS_{\text{fall2.2.0.}} \cdot a - UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot w_{\text{fall2.1.}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.0.}} \cdot a_{\text{stöd}} - P_{\text{kant.fall2.0.}} \cdot a$$

$$M_{\text{fall2.5.0.}}(y_{\text{fall2.5}}) := R_{A.\text{fall2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}}) + R_{B.\text{fall2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}} - a_{\text{stöd}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.}} \cdot \frac{y_{\text{fall2.5}}^2}{2} \dots \\ + -TS_{\text{fall2.1.0.}} \cdot \left(y_{\text{fall2.5}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - TS_{\text{fall2.2.0.}} \cdot \left(y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall2.2}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.1.0.}} \cdot w_{\text{fall2.1.}} \cdot \left(y_{\text{fall2.5}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.2.0.}} \cdot a_{\text{stöd}} \cdot \left(y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall2.0.}} \cdot (y_{\text{fall2.5}} + 0.25\text{m})$$

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a

Momentdiagram för lastfall 2, last koncentrerad vid vänstra livet. Korttidsfall, formel 6.10a



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a

Maximalt moment fall 2, korttidsfall med formel 6.10a

Diagrammet ger att det maximala momentet uppstår över stöd A, snitt 2 och 3

$$M_{\text{fall2.2.0.a}}(y) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.a}} \frac{y^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.0.a}} \left(y - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.1.0.a}} \frac{y^2}{2} - P_{\text{kant.fall2.0.a}}(y + 0.25\text{m})$$

$$y_{\text{max}} := 0\text{m}$$

Given

$$\frac{a_{\text{konsol}}}{2} < y < a_{\text{konsol}}$$

$$P_{\text{max}} := a_{\text{konsol}} = 3.15\text{m}$$

Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximalt moment uppstår

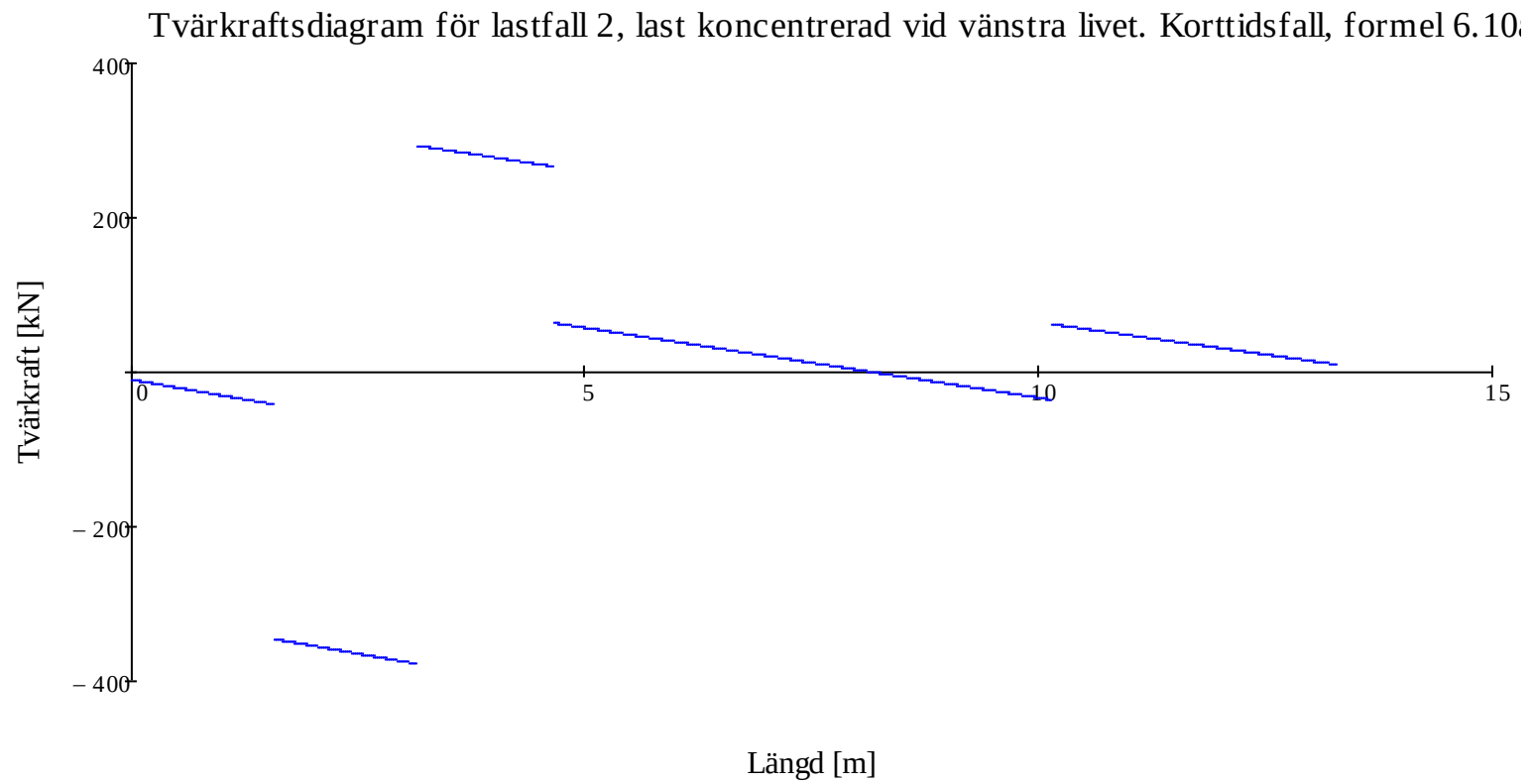
$$M_{\text{fall2.2.0.a.max}} = M_{\text{fall2.2.0.a}}(P) = -612.727\text{kNm}$$

$$M_{\text{max.fall2.0.a}} = M_{\text{fall2.2.0.a.max}} = -612.727\text{kNm}$$

Maximalt moment för fall 2, korttidsfall med formel 6.10a

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10a

Maximal tvärkraft fall 2, korttidsfall med formel 6.10a

Diagrammet ger att den maximala tvärkraften uppstår till vänster om stöd A, snitt 2

$$V_{\text{fall2.2.0.a}}(y) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.a}} y - TS_{\text{fall2.1.0.a}} - UDL_{\text{fall2.1.0.a}} y - P_{\text{kant.fall2.0.a}}$$

$$y_{\text{max}} := 0 \text{ m}$$

Given

$$\frac{a_{\text{konsol}}}{2} < y < a_{\text{konsol}}$$

$$P := \text{Maximize}(V_{\text{fall2.2.0.a}}(y)) = 1.575 \text{ m}$$

Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximal tvärkraft uppstår

$$V_{\text{fall2.2.0.a.max}} = V_{\text{fall2.2.0.a}}\left(P + \frac{a_{\text{konsol}}}{2}\right) = -377.723 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max.fall2.0.a}} = V_{\text{fall2.2.0.a.max}} = -377.723 \text{ kN}$$

Maximal tvärkraft för fall 2, korttidsfall med formel 6.10a

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b

1.4.2.2 Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram, korttidsfall med formel 6.10b

Lastberäkning med hänsyn till säkerhetsfaktorerna enligt lastkombination 6.10b

$$Q_{\text{egenvikt, platta, fall 2.0.b}} = Q_{\text{egenvikt, platta}} \cdot \gamma_{G,0} \xi_0 = 14.778 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egenvikt för plattan}$$

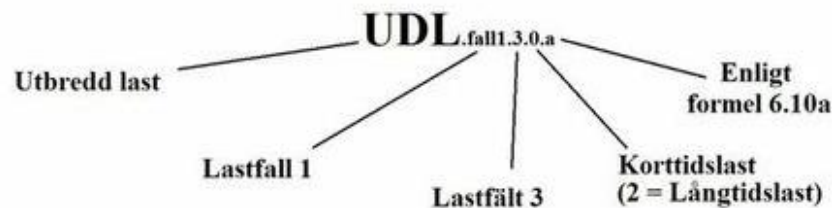
$$P_{\text{kant, fall 2.0.b}} = P_{\text{kant}} \cdot \gamma_{G,0} \xi_0 = 8.687 \text{ kN} \quad \text{Vikt för kantbalken}$$

$$\text{Utbredda laster: } UDL_{\text{fall 2.1.0.b}} = UDL_1 \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} \xi_0 = 9.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall 2, fält 1, korttidsfall}$$

$$UDL_{\text{fall 2.2.0.b}} = UDL_2 \cdot \psi_{0,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} \xi_0 = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall 2, fält 2, korttidsfall}$$

$$UDL_{\text{fall 2.3.0.b}} = UDL_3 \cdot \psi_{0,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} \xi_0 = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall 2, fält 3, korttidsfall}$$

$$UDL_{\text{fall 2.4.0.b}} = UDL_4 \cdot \psi_{0,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,0} \xi_0 = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall 2, fält återstående, korttidsfall}$$



Beteckningar enligt modellen till vänster används i detta kapitel

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b

Punktlaster:

$$TS_{fall2.1.0.b} := TS_1 \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.0} = 405 \text{ kN}$$

Punktlast fall 2, fält 1, korttidsfall

$$TS_{fall2.2.0.b} := TS_2 \cdot \psi_{0.punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.0} = 202.5 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Punktlast fall 2, fält 2, korttidsfall

$$TS_{fall2.3.0.b} := TS_3 \cdot \psi_{0.punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.0} = 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Punktlast fall 2, fält 3, korttidsfall

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b

Jämviktsekvationer för att lösa ut stödkrafter, i korttidsfallet med formel 6.10b

Momentjämvikt kring stöd A:

$$R_{B,fall2.0.b} = \frac{\left[Q_{egenvikt.platta,fall2.0.b} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) \cdot \frac{a_{stöd}}{2} - UDL_{fall2.1.0.b} \frac{a_{konsol}^2}{2} - TS_{fall2.1.0.b} \frac{a_{konsol}}{2} \dots \right. \\ \left. + UDL_{fall2.2.0.b} \frac{w_{fall2.2}^2}{2} + TS_{fall2.2.0.b} \frac{w_{fall2.2}}{2} + UDL_{fall2.3.0.b} w_{fall2.3} \left(w_{fall2.2} + \frac{w_{fall2.3}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + TS_{fall2.3.0.b} \left(w_{fall2.2} + \frac{w_{fall2.3}}{2} \right) + UDL_{fall2.4.0.b} w_{fall2.4} \left(w_{fall2.2} + w_{fall2.3} + \frac{w_{fall2.4}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + P_{kant,fall2.0.b} (0.25m + a_{konsol} + a_{stöd}) - P_{kant,fall2.0.b} (0.25m + a_{konsol}) \right]}{a_{stöd}}$$

$$R_{B,fall2.0.b} = 57.784 \text{ kN}$$

Global jämvikt:

$$R_{A,fall2.0.b} = TS_{fall2.1.0.b} + TS_{fall2.2.0.b} + TS_{fall2.3.0.b} + w_{fall2.1} UDL_{fall2.1.0.b} + w_{fall2.2} UDL_{fall2.2.0.b} + w_{fall2.3} UDL_{fall2.3.0.b} \dots \\ + w_{fall2.4} UDL_{fall2.4.0.b} + Q_{egenvikt.platta,fall2.0.b} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) + P_{kant,fall2.0.b} - R_{B,fall2.0.b}$$

$$R_{A,fall2.0.b} = 803.911 \text{ kN}$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

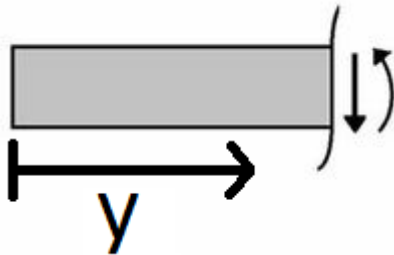
Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b

Snittning från vänster för att beräkna moment och tvärkraft:



Snittningen görs från vänster enligt bilden. Endast ett snitt görs mellan TS₂ och högra stödet då punktlasten TS₃ är noll och de utbredda lasterna UDL₂, UDL₃ och UDL₄ är lika stora.



Snitt 1: $0 < y_{fall2.1} < a_{konsol}/2$

$$V_{fall2.1.0.b}(y_{fall2.1}) := -Q_{egenvikt.platta.fall2.0.b} y_{fall2.1} - UDL_{fall2.1.0.b} y_{fall2.1} - P_{kant.fall2.0.l}$$

$$M_{fall2.1.0.b}(y_{fall2.1}) := -Q_{egenvikt.platta.fall2.0.b} \frac{y_{fall2.1}^2}{2} - UDL_{fall2.1.0.b} \frac{y_{fall2.1}^2}{2} - P_{kant.fall2.0.b}(y_{fall2.1} + 0.25m)$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b

Snitt 2: $a_{\text{konsol}}/2 < y_{\text{fall2.2}} < a_{\text{konsol}}$

$$V_{\text{fall2.2.0.b}}(y_{\text{fall2.2}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} y_{\text{fall2.2}} - TS_{\text{fall2.1.0.b}} - UDL_{\text{fall2.1.0.b}} y_{\text{fall2.2}} - P_{\text{kant.fall2.0.l}}$$

$$M_{\text{fall2.2.0.b}}(y_{\text{fall2.2}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} \frac{y_{\text{fall2.2}}^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.0.b}} \left(y_{\text{fall2.2}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.1.0.b}} \frac{y_{\text{fall2.2}}^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall2.0.b}} (y_{\text{fall2.2}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 3: $a_{\text{konsol}} < y_{\text{fall2.3}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall2.2}}/2)$

$$V_{\text{fall2.3.0.b}}(y_{\text{fall2.3}}) := R_{A.\text{fall2.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} y_{\text{fall2.3}} - TS_{\text{fall2.1.0.b}} - UDL_{\text{fall2.1.0.b}} w_{\text{fall2.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.0.b}} (y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall2.0.b}}$$

$$M_{\text{fall2.3.0.b}}(y_{\text{fall2.3}}) := R_{A.\text{fall2.0.b}} (y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} \frac{y_{\text{fall2.3}}^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.0.b}} \left(y_{\text{fall2.3}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.1.0.b}} w_{\text{fall2.1}} \left(y_{\text{fall2.3}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.2.0.b}} (y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}}) \cdot \frac{(y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}})}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall2.0.b}} (y_{\text{fall2.3}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b

Snitt 4: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall2.2}}/2) < y_{\text{fall2.4}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}})$

$$V_{\text{fall2.4.0.b}}(y_{\text{fall2.4}}) := R_{A,\text{fall2.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} y_{\text{fall2.4}} - TS_{\text{fall2.1.0.b}} - TS_{\text{fall2.2.0.b}} - UDL_{\text{fall2.1.0.b}} w_{\text{fall2.1}} \dots \\ + UDL_{\text{fall2.2.0.b}} (y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall2.0.b}}$$

$$M_{\text{fall2.4.0.b}}(y_{\text{fall2.4}}) := R_{A,\text{fall2.0.b}} (y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} \frac{y_{\text{fall2.4}}^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.0.b}} \left(y_{\text{fall2.4}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall2.2.0.b}} \left(y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall2.2}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.1.0.b}} w_{\text{fall2.1}} \left(y_{\text{fall2.4}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.0.b}} (y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}}) \cdot \frac{(y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}})}{2} - P_{\text{kant.fall2.0.b}} (y_{\text{fall2.4}} + 0.25\text{m})$$

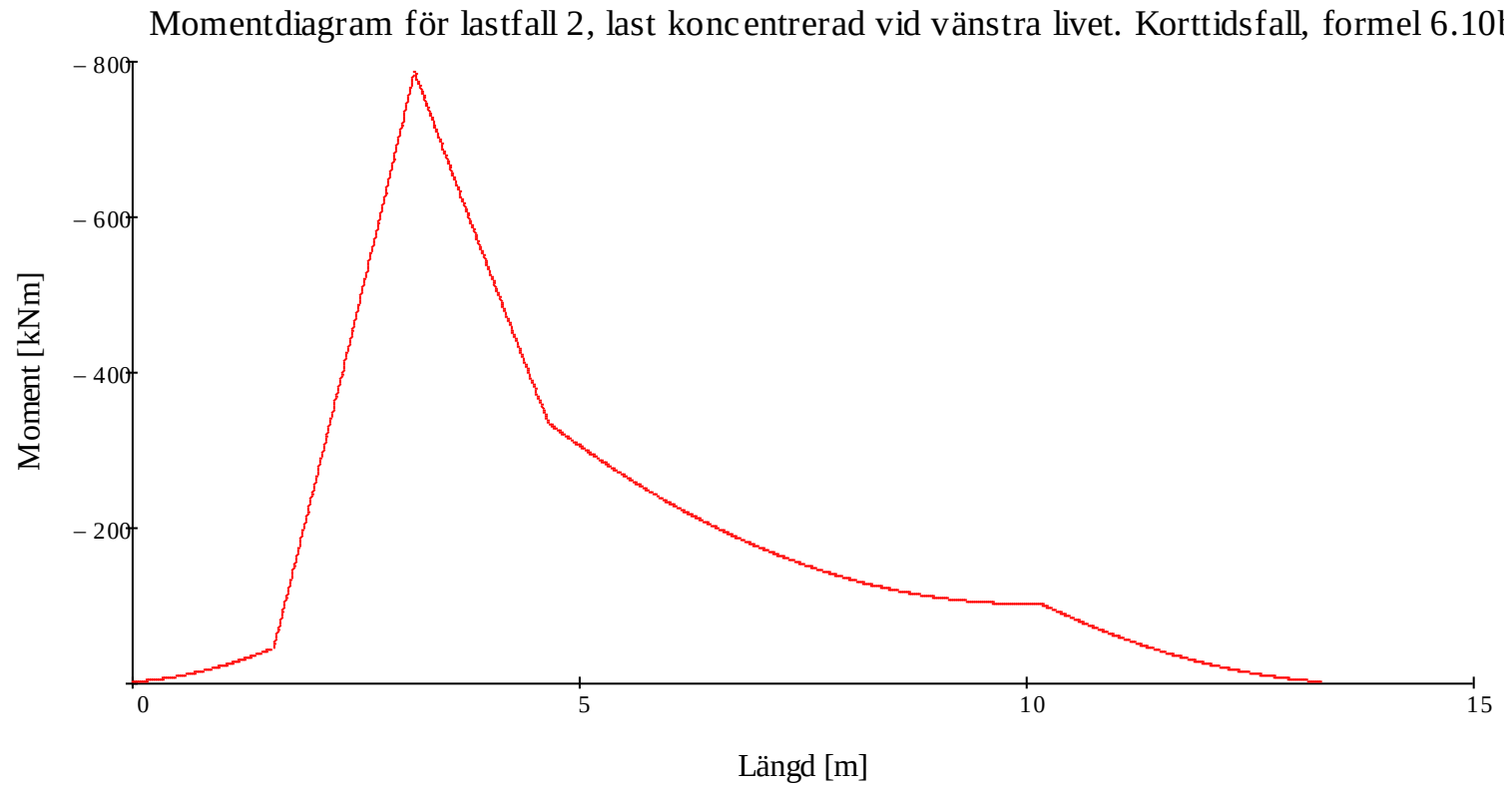
Snitt 5: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}) < y_{\text{fall2.5}} < (b_{\text{vägbana}} - 2 \cdot 0.1\text{m})$

$$V_{\text{fall2.5.0.b}}(y_{\text{fall2.5}}) := R_{A,\text{fall2.0.b}} + R_{B,\text{fall2.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} y_{\text{fall2.5}} - TS_{\text{fall2.1.0.b}} - TS_{\text{fall2.2.0.b}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.1.0.b}} w_{\text{fall2.1}} - UDL_{\text{fall2.2.0.b}} a_{\text{stöd}} - P_{\text{kant.fall2.0.b}}$$

$$M_{\text{fall2.5.0.b}}(y_{\text{fall2.5}}) := R_{A,\text{fall2.0.b}} (y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}}) + R_{B,\text{fall2.0.b}} (y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}} - a_{\text{stöd}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} \frac{y_{\text{fall2.5}}^2}{2} \dots \\ + -TS_{\text{fall2.1.0.b}} \left(y_{\text{fall2.5}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - TS_{\text{fall2.2.0.b}} \left(y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall2.2}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.1.0.b}} w_{\text{fall2.1}} \left(y_{\text{fall2.5}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.2.0.b}} a_{\text{stöd}} \left(y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall2.0.b}} (y_{\text{fall2.5}} + 0.25\text{m})$$

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b

Maximalt moment fall 2, korttidsfall med formel 6.10b

Diagrammet ger att det maximala momentet uppstår över stöd A, snitt 2 och 3

$$M_{\text{fall2.2.0.b}}(y) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} \frac{y^2}{2} - T_{\text{fall2.1.0.b}} \left(y - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.1.0.b}} \frac{y^2}{2} - P_{\text{kant.fall2.0.b}} (y + 0.25\text{m})$$

$$y_{\text{max}} := 0\text{m}$$

Given

$$\frac{a_{\text{konsol}}}{2} < y < a_{\text{konsol}}$$

$$P := \text{Maximize}(M_{\text{fall2.2.0.b}}(y)) = 1.575\text{m} \quad \text{Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximalt moment uppstår}$$

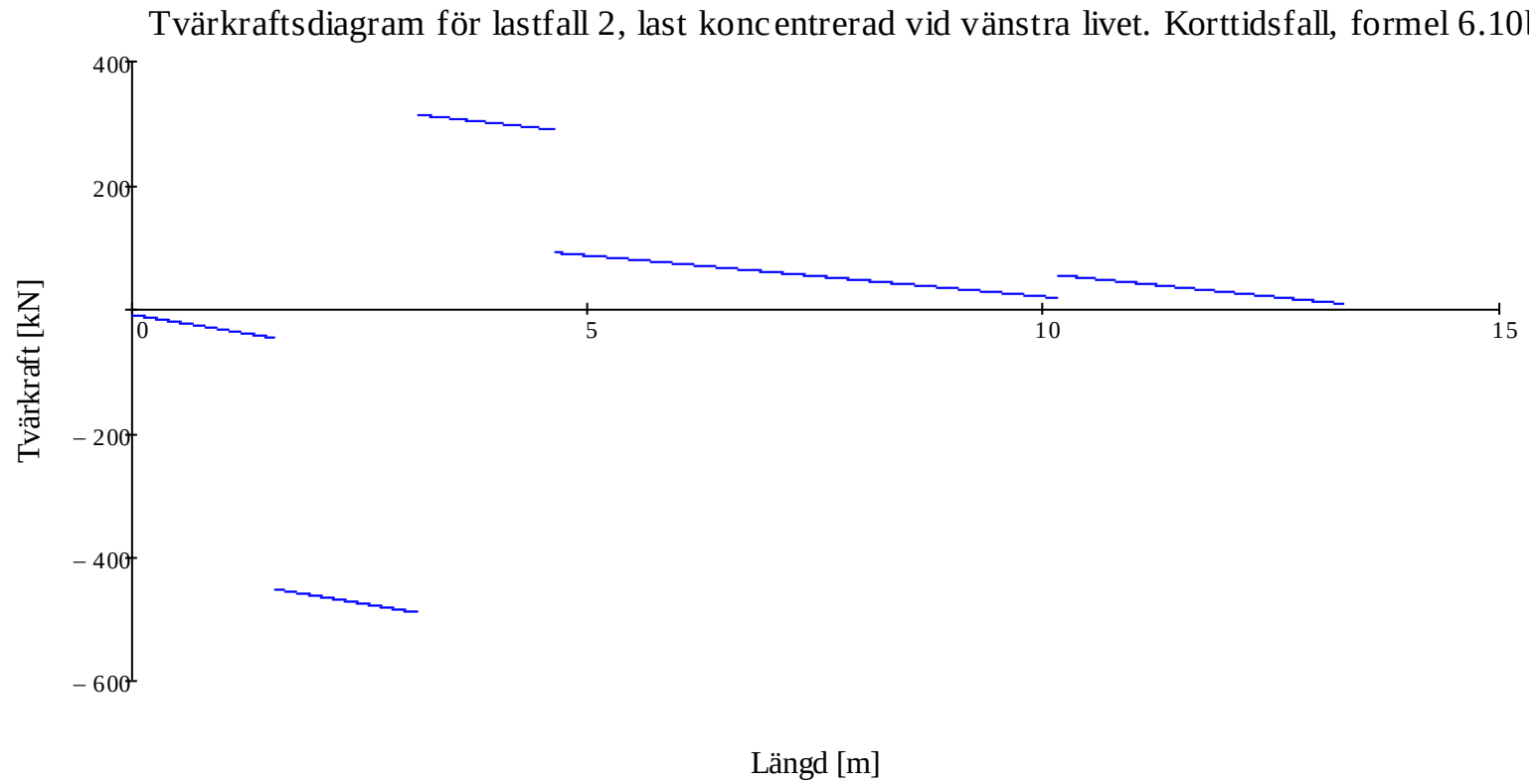
$$M_{\text{fall2.2.0.b.max}} = M_{\text{fall2.2.0.b}} \left(P + \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) = -787.614\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{max.fall2.0.b}} = M_{\text{fall2.2.0.b.max}} = -787.614\text{kN}\cdot\text{m}$$

Maximalt moment för fall 2, korttidsfall med formel 6.10b

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Brottgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i korttid

Lastfall 2 med formel 6.10b

Maximal tvärkraft fall 2, korttidsfall med formel 6.10b

Diagrammet ger att den maximala tvärkraften uppstår till vänster om stöd A, snitt 2

$$V_{\text{fall2.2.0.b}}(y) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} y - TS_{\text{fall2.1.0.b}} - UDL_{\text{fall2.1.0.b}} y - P_{\text{kant.fall2.0.l}}$$

$$y_{\text{max}} := 0 \text{ m}$$

Given

$$\frac{a_{\text{konsol}}}{2} < y < a_{\text{konsol}}$$

$$P_{\text{max}} := \text{Maximize}(V_{\text{fall2.2.0.b}}(y)) = 1.575 \text{ m} \quad \text{Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximal tvärkraft uppstår}$$

$$V_{\text{fall2.2.0.b.max}} = V_{\text{fall2.2.0.b}}\left(P + \frac{a_{\text{konsol}}}{2}\right) = -490.006 \text{ kN}$$

$$\boxed{V_{\text{max.fall2.0.b}} = V_{\text{fall2.2.0.b.max}} = -490.006 \text{ kN}} \quad \text{Maximal tvärkraft för fall 2 korttid och formel 6.10b}$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

1.5 Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram för sprickor i bruksgräns (långtid), fall 1 och 2

Vid beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram för sprickberäkningar i bruksgräns sätts alla variabla utbredda- och punktlaster till 0, enligt formel 6.16b i Eurocode - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990.

Detta medför att moment- och tvärkraftsdiagramet kommer att se likadant ut för både fall 1 och 2, då det bara är egentyngden som påverkar brobanan.

Beräkningar kommer att göras på fall 1.

Vid beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram för beräkning av sprickbredd så används formel 6.16b, från Eurocode - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990:

$$\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

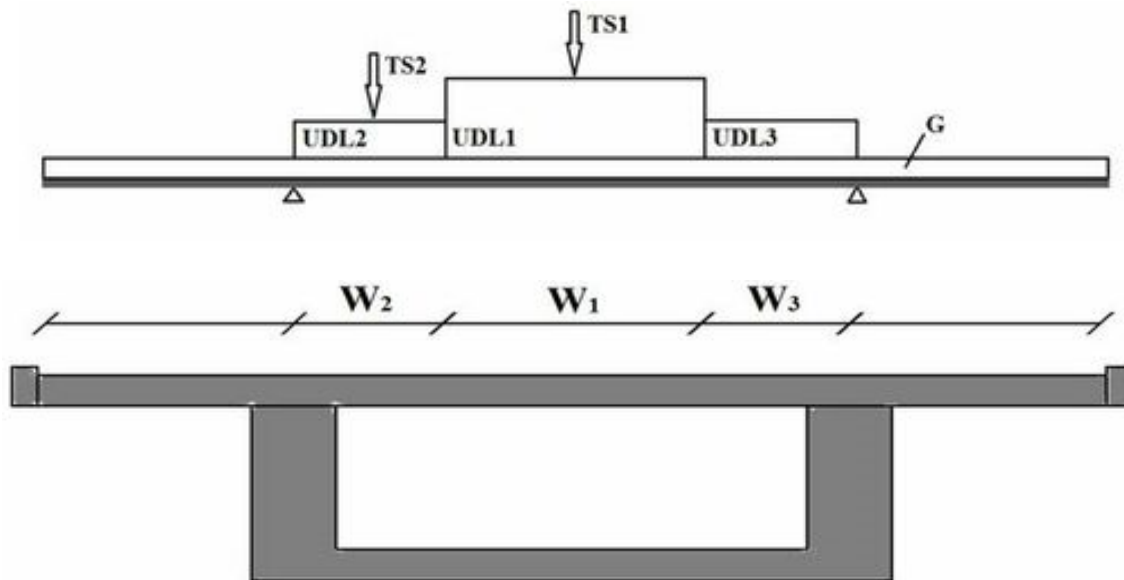
Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

1.5.1 Lastfall 1, last koncentrerad till mittenspannet. Moment- och tvärkraftsdiagram för sprickberäkning

Olika lastfall används för att beräkna kritiska moment och tvärkrafter. I lastfall 1 är lasterna placerade i mitten av brobanan så att maximalt moment och tvärkraft uppstår i fält. Lastfält 2 och 3 kommer inte rymmas inom $a_{\text{stöd}}$, därför kortas deras bredd (w_2 och w_3) så att deras gynnsamma effekt inte räknas med.



$$w_{\text{fall1.1}} := 3\text{m} \quad w_{\text{fall1.2}} := \frac{(a_{\text{stöd}} - w_{\text{fall1.1}})}{2} = 2\text{m} \quad w_{\text{fall1.3}} := \frac{(a_{\text{stöd}} - w_{\text{fall1.1}})}{2} = 2\text{m} \quad w_{\text{fall1.ö}} := 0\text{m}$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Definerar intervall för att plotta moment- och tvärkraftsdiagram, $y_{fall1.1}$ - $y_{fall1.7}$

Varje steg är 1 cm

$$y_{fall1.1} := (0\text{m}, 0.01\text{m} \cdot a_{konsol})$$

$$y_{fall1.2} := (a_{konsol}, a_{konsol} + 0.01\text{m} \cdot a_{konsol} + w_{fall1.2} - 1.5\text{m})$$

$$y_{fall1.3} := (a_{konsol} + w_{fall1.2} - 1.5\text{m}, a_{konsol} + w_{fall1.2} - 1.5\text{m} + 0.01\text{m} \cdot a_{konsol} + w_{fall1.2})$$

$$y_{fall1.4} := \left(a_{konsol} + w_{fall1.2}, a_{konsol} + w_{fall1.2} + 0.01\text{m} \cdot a_{konsol} + \frac{a_{stöd}}{2} \right)$$

$$y_{fall1.5} := \left(a_{konsol} + \frac{a_{stöd}}{2}, a_{konsol} + \frac{a_{stöd}}{2} + 0.01\text{m} \cdot a_{konsol} + w_{fall1.1} + w_{fall1.2} \right)$$

$$y_{fall1.6} := (a_{konsol} + w_{fall1.1} + w_{fall1.2}, a_{konsol} + w_{fall1.1} + w_{fall1.2} + 0.01\text{m} \cdot a_{konsol} + a_{stöd})$$

$$y_{fall1.7} := (a_{konsol} + a_{stöd}, a_{konsol} + a_{stöd} + 0.01\text{m} \cdot b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

För variabla laster tas hänsyn till följande säkerhetsfaktor

För alla variabla laster används säkerhetsfaktorn $\gamma_{Q,2} := 1.0$ Säkerhetsfaktor för långtidsfall (bruksgräns).

Säkerhetsfaktorer enligt lastmodell 1

$\gamma_{G,2} := 1.0$ $\psi_{2,punkt} := 0$ $\psi_{2,utbredd} := 0$ Lastfaktorer för långtidsfall (bruksgräns), gäller både vid beräkning av nedböjning och sprickbildning.

Säkerhetsklass 3

Vi ska utgå från säkerhetsklass 3 när bron dimensioneras. Detta medför ytterligare en säkerhetsfaktor.

$\gamma_{d,3} := 1.0$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram, långtidsfall med formel för sprickberäkning

Lastberäkning med hänsyn till säkerhetsfaktorerna enligt formel för sprickberäkning

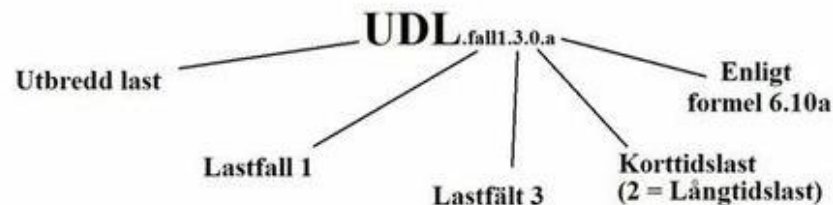
$$Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} := Q_{\text{egenvikt.platta}} \cdot \gamma_{G,2} = 12,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egenvikt för plattan}$$

$$P_{\text{kant.fall1.2.s}} := P_{\text{kant}} \cdot \gamma_{G,2} = 7,23 \text{ kN} \quad \text{Vikt för kantbalken}$$

Utbredda laster: $UDL_{\text{fall1.1.2.s}} := UDL_1 \cdot \psi_{2,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} = 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Utbredd last fall1, fält 1, långtidsfall

$$UDL_{\text{fall1.2.2.s}} := UDL_2 \cdot \psi_{2,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} = 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall1, fält 2, långtidsfall}$$

$$UDL_{\text{fall1.3.2.s}} := UDL_3 \cdot \psi_{2,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} = 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall1, fält 3, långtidsfall}$$



Beteckningar enligt modellen till vänster används i detta kapitel

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Punktlaster:

$$TS_{fall1.1.2.s} := TS_1 \cdot \psi_{2.punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.2} = 0 \cdot kN$$

Punktlast fall1, fält 1, långtidsfall

$$TS_{fall1.2.2.s} := TS_2 \cdot \psi_{2.punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.2} = 0 \cdot \frac{kN}{m}$$

Punktlast fall1, fält 2, långtidsfall

$$TS_{fall1.3.2.s} := TS_3 \cdot \psi_{2.punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.2} = 0 \cdot \frac{kN}{m}$$

Punktlast fall1, fält 3, långtidsfall

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Jämviktsekvationer för att lösa ut stöd krafter, långtidsfall med formel för sprickberäkning

Momentjämvikt kring stöd A:

$$R_{B,fall1.2.s} := \frac{\left[Q_{egenvikt.platta,fall1.2.s} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) \cdot \frac{a_{stöd}}{2} + TS_{fall1.1.2.s} \frac{a_{stöd}}{2} + TS_{fall1.2.2.s} (w_{fall1.2} - 1.5m) \dots \right.}{a_{stöd}}$$

$$+ TS_{fall1.3.2.s} \left(\frac{a_{stöd}}{2} - w_{fall1.1} \right) + UDL_{fall1.1.2.s} w_{fall1.1} \frac{a_{stöd}}{2} + \left(UDL_{fall1.2.2.s} w_{fall1.2} + UDL_{fall1.3.2.s} w_{fall1.3} \right) \frac{a_{stöd}}{2} \dots$$

$$+ P_{kant,fall1.2.s} (0.25m + a_{konsol} + a_{stöd}) - P_{kant,fall1.2.s} (0.25m + a_{konsol})$$

$$R_{B,fall1.2.s} = 89.025kN$$

Global jämvikt:

$$R_{A,fall1.2.s} := TS_{fall1.1.2.s} + TS_{fall1.2.2.s} + TS_{fall1.3.2.s} + w_{fall1.1} UDL_{fall1.1.2.s} + w_{fall1.2} UDL_{fall1.2.2.s} + w_{fall1.3} UDL_{fall1.3.2.s} \dots$$

$$+ Q_{egenvikt.platta,fall1.2.s} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) + P_{kant,fall1.2.s} \cdot 2 - R_{B,fall1.2.s}$$

$$R_{A,fall1.2.s} = 89.025kN$$

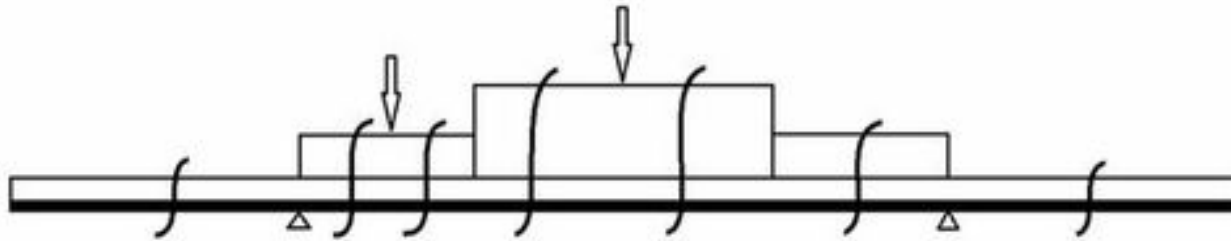
Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

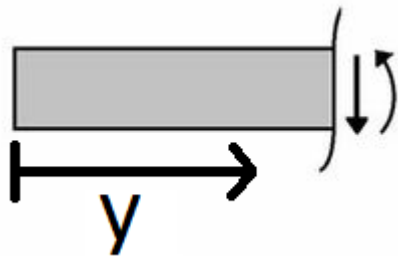
Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Snittning från vänster för att beräkna moment och tvärkraft:



Snittningen görs från vänster enligt bilden nedan. I bilden ovan försummas punklasten TS3 på grund av att den är noll.



Snitt 1: $0 < y_{\text{fall1.1}} < a_{\text{konsol}}$

$$V_{\text{fall1.1.2.}}(y_{\text{fall1.1}}) := -Q_{\text{egenvikt,platta,fall1.2.}} \cdot y_{\text{fall1.1}} - P_{\text{kant,fall1.2.}}$$

$$M_{\text{fall1.1.2.}}(y_{\text{fall1.1}}) := -Q_{\text{egenvikt,platta,fall1.2.}} \cdot \frac{y_{\text{fall1.1}}^2}{2} - P_{\text{kant,fall1.2.}} \cdot (y_{\text{fall1.1}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Snitt 2: $a_{\text{konsol}} < y_{\text{fall1.2}} < (a_{\text{konsol}} + (w_{\text{fall1.2}} - 1.5\text{m}))$

$$V_{\text{fall1.2.2.s}}(y_{\text{fall1.2}}) := R_{A,\text{fall1.2.s}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} y_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.2.2.s}}(y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.2.s}}$$

$$M_{\text{fall1.2.2.s}}(y_{\text{fall1.2}}) := R_{A,\text{fall1.2.s}}(y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} \frac{y_{\text{fall1.2}}^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.2.s}} \frac{(y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}})^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.2.s}}(y_{\text{fall1.2}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 3: $(a_{\text{konsol}} + (w_{\text{fall1.2}} - 1.5\text{m})) < y_{\text{fall1.3}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}})$

$$V_{\text{fall1.3.2.s}}(y_{\text{fall1.3}}) := R_{A,\text{fall1.2.s}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} y_{\text{fall1.3}} - TS_{\text{fall1.2.2.s}} - UDL_{\text{fall1.2.2.s}}(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.2.s}}$$

$$M_{\text{fall1.3.2.s}}(y_{\text{fall1.3}}) := R_{A,\text{fall1.2.s}}(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} \frac{y_{\text{fall1.3}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.2.2.s}}(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.s}} \frac{(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}})^2}{2} - P_{\text{kant.fall1.2.s}}(y_{\text{fall1.3}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Snitt 4: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}}) < y_{\text{fall1.4}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}/2)$

$$V_{\text{fall1.4.2.}}(y_{\text{fall1.4}}) := R_{A.\text{fall1.2.s}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} y_{\text{fall1.4}} - TS_{\text{fall1.2.2.s}} - UDL_{\text{fall1.1.2.s}}(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.s}} w_{\text{fall1.2}} - P_{\text{kant.fall1.2.s}}$$

$$M_{\text{fall1.4.2.}}(y_{\text{fall1.4}}) := R_{A.\text{fall1.2.s}}(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} \frac{y_{\text{fall1.4}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.2.2.s}}(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.1.2.s}} \frac{(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.2.s}} w_{\text{fall1.2}} \left(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.2.s}}(y_{\text{fall1.4}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 5: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}/2) < y_{\text{fall1.5}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.1}} + w_{\text{fall1.2}})$

$$V_{\text{fall1.5.2.}}(y_{\text{fall1.5}}) := R_{A.\text{fall1.2.s}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} y_{\text{fall1.5}} - TS_{\text{fall1.1.2.s}} - TS_{\text{fall1.2.2.s}} - UDL_{\text{fall1.1.2.s}}(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.s}} w_{\text{fall1.2}} - P_{\text{kant.fall1.2.s}}$$

$$M_{\text{fall1.5.2.}}(y_{\text{fall1.5}}) := R_{A.\text{fall1.2.s}}(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} \frac{y_{\text{fall1.5}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.1.2.s}} \left(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall1.2.2.s}}(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) - UDL_{\text{fall1.1.2.s}} \frac{(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.s}} w_{\text{fall1.2}} \left(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - P_{\text{kant.fall1.2.s}}(y_{\text{fall1.5}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Snitt 6: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.1}} + w_{\text{fall1.2}}) < y_{\text{fall1.6}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}})$

$$V_{\text{fall1.6.2.s}}(y_{\text{fall1.6}}) := R_{A.\text{fall1.2.s}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} y_{\text{fall1.6}} - TS_{\text{fall1.1.2.s}} - TS_{\text{fall1.2.2.s}} - UDL_{\text{fall1.1.2.s}} w_{\text{fall1.1}} - UDL_{\text{fall1.2.2.s}} w_{\text{fall1.2}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.3.2.s}} (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.1}} - w_{\text{fall1.2}}) - P_{\text{kant.fall1.2.s}}$$

$$M_{\text{fall1.6.2.s}}(y_{\text{fall1.6}}) := R_{A.\text{fall1.2.s}} (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} \frac{y_{\text{fall1.6}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.1.2.s}} \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall1.2.2.s}} (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) - UDL_{\text{fall1.1.2.s}} w_{\text{fall1.1}} \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.s}} w_{\text{fall1.2}} \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall1.3.2.s}} \frac{(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.1}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.2.s}} (y_{\text{fall1.6}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 7: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}) < y_{\text{fall1.7}} < (b_{\text{vägbana}} - 2 \cdot 0.1\text{m})$

$$V_{\text{fall1.7.2.s}}(y_{\text{fall1.7}}) := R_{A.\text{fall1.2.s}} + R_{B.\text{fall1.2.s}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} y_{\text{fall1.7}} - TS_{\text{fall1.1.2.s}} - TS_{\text{fall1.2.2.s}} - UDL_{\text{fall1.1.2.s}} w_{\text{fall1.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.s}} w_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.3.2.s}} w_{\text{fall1.3}} - P_{\text{kant.fall1.2.s}}$$

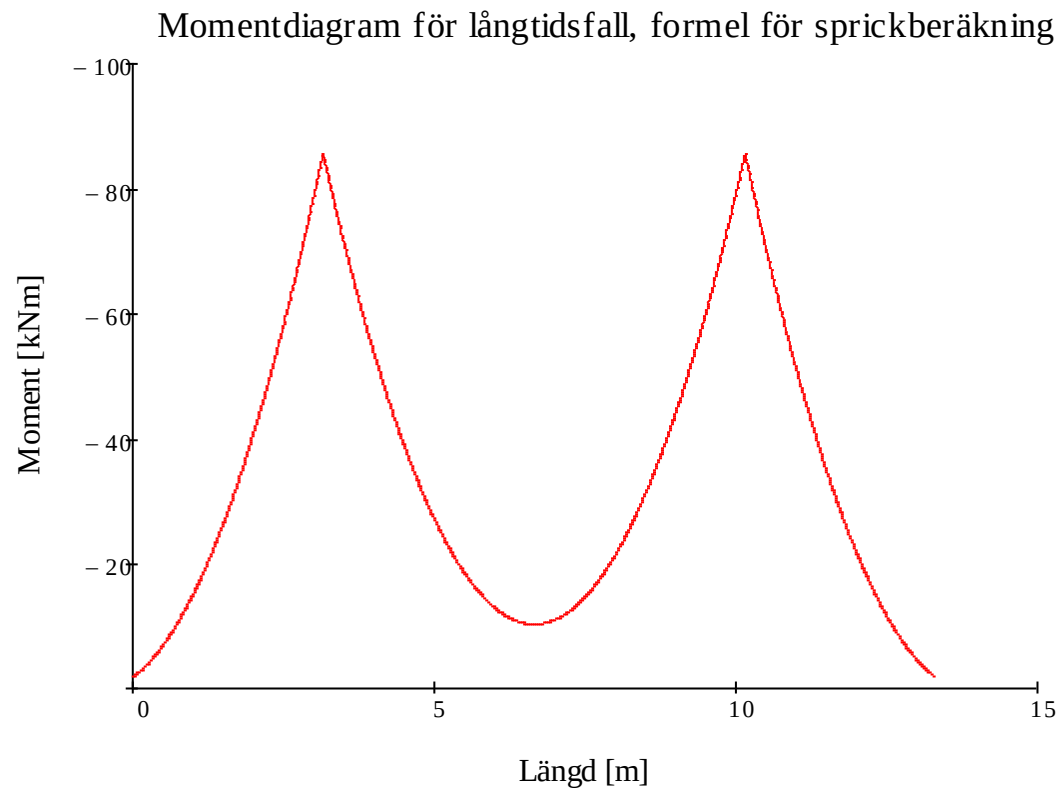
$$M_{\text{fall1.7.2.s}}(y_{\text{fall1.7}}) := R_{A.\text{fall1.2.s}} (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}}) + R_{B.\text{fall1.2.s}} (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - a_{\text{stöd}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} \frac{y_{\text{fall1.7}}^2}{2} \dots \\ + -TS_{\text{fall1.1.2.s}} \left(y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) - TS_{\text{fall1.2.2.s}} (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -(UDL_{\text{fall1.1.2.s}} w_{\text{fall1.1}} + UDL_{\text{fall1.2.2.s}} w_{\text{fall1.2}} + UDL_{\text{fall1.3.2.s}} w_{\text{fall1.3}}) \left(y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.2.s}} (y_{\text{fall1.7}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Maximalt moment fall 1, långtidsfall med formel för sprickberäkning

Diagrammet ger att det maximala momentet uppstår över stöd A och B, snitt 1

$$M_{\text{fall1.4.2.s}}(y) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} \frac{y^2}{2} - P_{\text{kant.fall1.2.s}}(y + 0.25\text{m})$$

$$y_{\text{max}} := 0\text{m}$$

Given

$$0\text{m} < y < a_{\text{konsol}}$$

$$P_{\text{max}} := a_{\text{konsol}} = 3.15\text{m}$$

Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximalt moment uppstår

$$M_{\text{fall1.4.2.s.max}} = M_{\text{fall1.4.2.s}}(P) = -85.605\text{kNm}$$

$$\boxed{M_{\text{max.fall1.2.s}} = M_{\text{fall1.4.2.s.max}} = -85.605\text{kNm}}$$

Maximalt moment för fall 1, långtid med formel för sprickberäkning

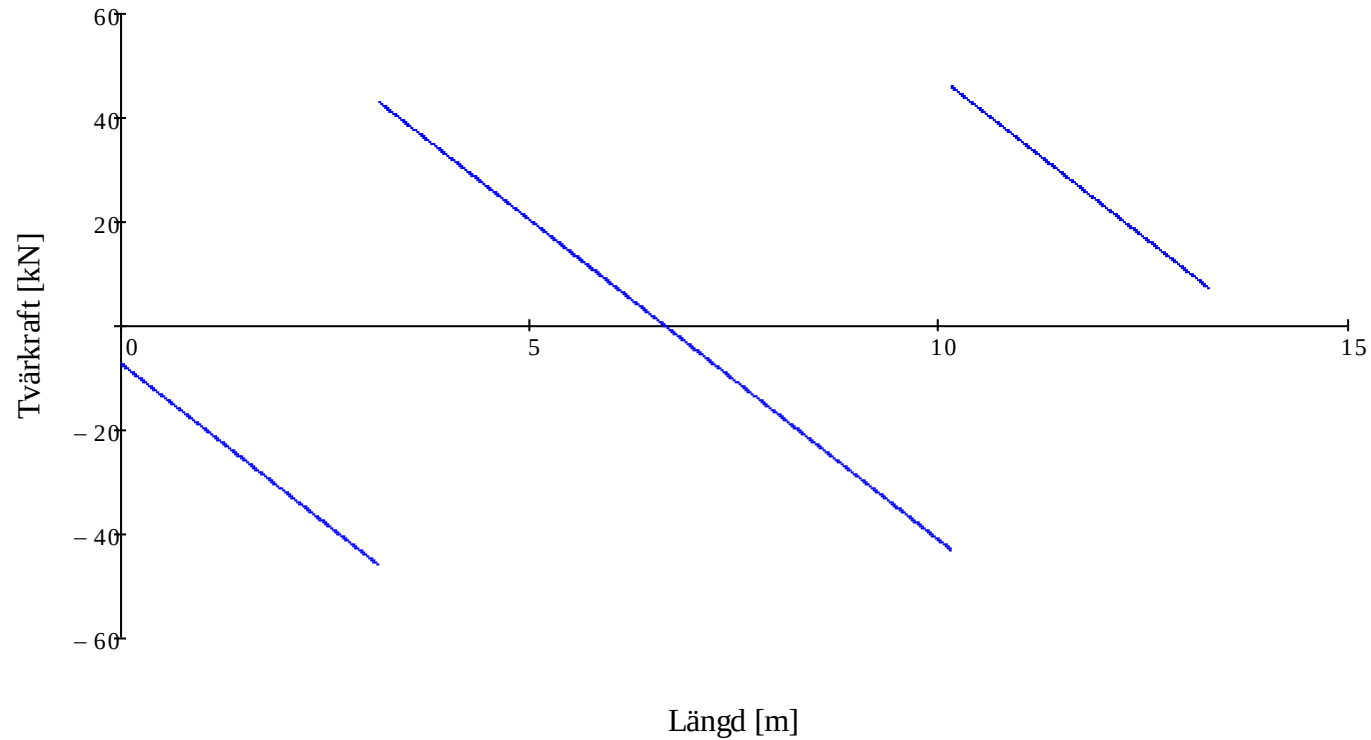
Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Tvärkraftsdiagram för långtidsfall, formel för sprickberäkning



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft försprickberäkning

Fall 1 och 2 med formel 6.16b

Maximal tvärkraft fall 1, långtidsfall med formel för sprickberäkning

Diagrammet ger att den maximala tvärkraften uppstår vid stöd A och B, snitt 2

$$V_{\text{fall1.2.2.s1}}(y) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.s}} y - P_{\text{kant.fall1.2.s}}$$

$$0m < y < a_{\text{konsol}}$$

$$y_{\text{max}} := 0m$$

$$P := a_{\text{konsol}} = 3.15m$$

Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximal tvärkraft uppstår

Given

$$V_{\text{fall1.2.2.s.max}} = V_{\text{fall1.2.2.s1}}(P) = -45.975kN$$

$$\boxed{V_{\text{max.fall2.2.s}} = V_{\text{fall1.2.2.s.max}} = -45.975kN}$$

Maximal tvärkraft för fall 1, långtidsfall med formel för sprickberäkning

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 1 med formel 6.15b

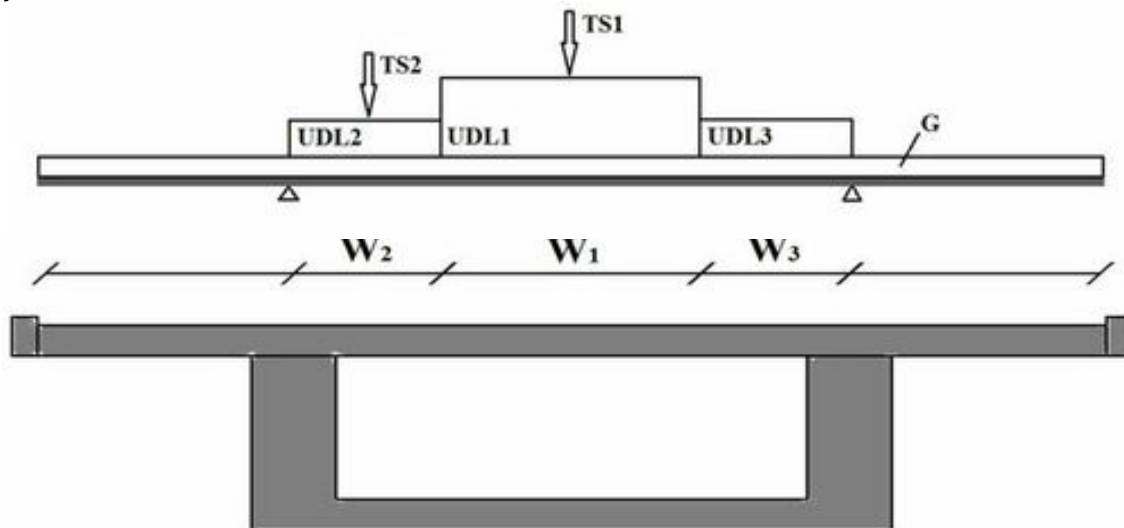
1.6 Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid, fall 1 och 2. Moment och tvärkraft för nedböjning.

Vid beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram för nedböjning används formel 6.15b, från Eurocode - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SS-EN 1990:

$$\Sigma G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

1.6.1 Lastfall 1, last koncentrerad till mittenspannet. Moment- och tvärkraftsdiagram för nedböjning.

Olika lastfall används för att beräkna kritiska moment och tvärkrafter. I lastfall 1 är lasterna placerade i mitten av brobanan så att maximalt moment och tvärkraft uppstår i fält. Lastfält 2 och 3 kommer inte rymmas inom $a_{\text{stöd}}$, därför kortas deras bredd (w_2 och w_3) så att deras gynnsamma effekt inte räknas med.



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 1 med formel 6.15b

$$w_{fall1.1} := 3\pi \quad w_{fall1.2} := \frac{(a_{stöd} - w_{fall1.1})}{2} = 2\text{ m} \quad w_{fall1.3} := \frac{(a_{stöd} - w_{fall1.1})}{2} = 2\text{ m} \quad w_{fall1.4} := 0\pi \quad w_{fall1.5} := 0\pi$$

Definerar intervall för att plotta moment- och tvärkraftsdiagram, $y_{fall1.1}$ - $y_{fall1.7}$

Varje steg är 1 cm

$$y_{fall1.1} := (0\text{ m}, 0.01\text{ m} \cdot a_{konsol})$$

$$y_{fall1.2} := (a_{konsol}, a_{konsol} + 0.01\text{ m} \cdot a_{konsol} + w_{fall1.2} - 1.5\text{ m})$$

$$y_{fall1.3} := (a_{konsol} + w_{fall1.2} - 1.5\text{ m}, a_{konsol} + w_{fall1.2} - 1.5\text{ m} + 0.01\text{ m} \cdot a_{konsol} + w_{fall1.2})$$

$$y_{fall1.4} := \left(a_{konsol} + w_{fall1.2}, a_{konsol} + w_{fall1.2} + 0.01\text{ m} \cdot a_{konsol} + \frac{a_{stöd}}{2} \right)$$

$$y_{fall1.5} := \left(a_{konsol} + \frac{a_{stöd}}{2}, a_{konsol} + \frac{a_{stöd}}{2} + 0.01\text{ m} \cdot a_{konsol} + w_{fall1.1} + w_{fall1.2} \right)$$

$$y_{fall1.6} := (a_{konsol} + w_{fall1.1} + w_{fall1.2}, a_{konsol} + w_{fall1.1} + w_{fall1.2} + 0.01\text{ m} \cdot a_{konsol} + a_{stöd})$$

$$y_{fall1.7} := (a_{konsol} + a_{stöd}, a_{konsol} + a_{stöd} + 0.01\text{ m} \cdot b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1\text{ m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 1 med formel 6.15b

För variabla laster tas hänsyn till följande säkerhetsfaktor

För alla variabla laster används säkerhetsfaktorn $\gamma_{Q2} := 1.0$ Säkerhetsfaktor för långtidsfall (bruksgräns).

Säkerhetsfaktorer enligt lastmodell 1

$\gamma_{G2} := 1.0$ $\psi_{1.punkt} := 0.7$ $\psi_{1.utbredd} := 0.4$

Lastfaktorer för långtidsfall (bruksgräns), gäller vid beräkning av nedböjning.

$\psi_{2.punkt} := 0$ $\psi_{2.utbredd} := 0$

Säkerhetsklass 3

Vi ska utgå från säkerhetsklass 3 när bron dimensioneras. Detta medför ytterligare en säkerhetsfaktor.

$\gamma_d := 1.0$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b

Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram, långtidsfall med formel för nedböjning

Lastberäkning med hänsyn till säkerhetsfaktorerna enligt lastkombination för beräkning för nedböjning

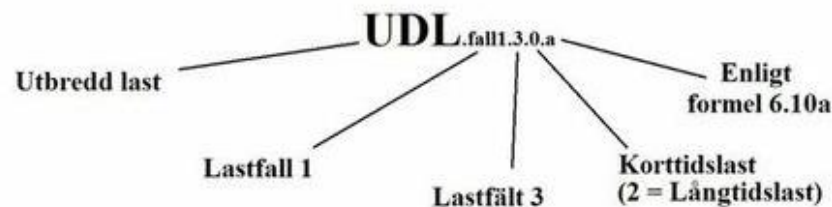
$$Q_{\text{egenvikt,platta,fall1.2.n}} := Q_{\text{egenvikt,platta}} \cdot \gamma_{G,2} = 12.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egenvikt för plattan}$$

$$P_{\text{kant,fall1.2.n}} := P_{\text{kant}} \cdot \gamma_{G,2} = 7.23 \text{ kN} \quad \text{Vikt för kantbalken}$$

Utbredda laster: $UDL_{\text{fall1.1.2.n}} := UDL_1 \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} \cdot \psi_{1,\text{utbredd}} = 2.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Utbredd last fall1, fält 1, långtidsfall

$$UDL_{\text{fall1.2.2.n}} := UDL_2 \cdot \psi_{1,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall1, fält 2, långtidsfall}$$

$$UDL_{\text{fall1.3.2.n}} := UDL_3 \cdot \psi_{1,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall1, fält 3, långtidsfall}$$



Beteckningar enligt modellen till vänster används i detta kapitel

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b

Punktlaster:	$TS_{fall1.1.2.n} := TS_1 \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{1,punkt} = 202.5 \text{ kN}$	Punktlast fall1, fält 1, långtidsfall
	$TS_{fall1.2.2.n} := TS_2 \cdot \psi_{1,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2} = 135 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Punktlast fall1, fält 2, långtidsfall
	$TS_{fall1.3.2.n} := TS_3 \cdot \psi_{1,punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2} = 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Punktlast fall1, fält 3, långtidsfall

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b

Jämviktsekvationer för att lösa ut stöd krafter, långtidsfall med formel för nedböjning

Momentjämvikt kring stöd A:

$$R_{B,fall1.2,n} = \frac{\left[Q_{egenvikt,platta,fall1.2,n} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0,1m) \cdot \frac{a_{stöd}}{2} + TS_{fall1.1.2,n} \frac{a_{stöd}}{2} + TS_{fall1.2.2,n} (w_{fall1.2} - 1,5m) \dots \right. \\ \left. + TS_{fall1.3.2,n} \left(\frac{a_{stöd}}{2} - w_{fall1.1} \right) + UDL_{fall1.1.2,n} w_{fall1.1} \frac{a_{stöd}}{2} + (UDL_{fall1.2.2,n} w_{fall1.2} + UDL_{fall1.3.2,n} w_{fall1.3}) \cdot \frac{a_{stöd}}{2} \dots \right. \\ \left. + P_{kant,fall1.2,n} (0,25m + a_{konsol} + a_{stöd}) - P_{kant,fall1.2,n} (0,25m + a_{konsol}) \right]}{a_{stöd}}$$

$$R_{B,fall1.2,n} = 205,698 \text{ kN}$$

Global jämvikt:

$$R_{A,fall1.2,n} = TS_{fall1.1.2,n} + TS_{fall1.2.2,n} + TS_{fall1.3.2,n} + w_{fall1.1} UDL_{fall1.1.2,n} + w_{fall1.2} UDL_{fall1.2.2,n} + w_{fall1.3} UDL_{fall1.3.2,n} \dots \\ + Q_{egenvikt,platta,fall1.2,n} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0,1m) + P_{kant,fall1.2,n} - R_{B,fall1.2,n}$$

$$R_{A,fall1.2,n} = 321,412 \text{ kN}$$

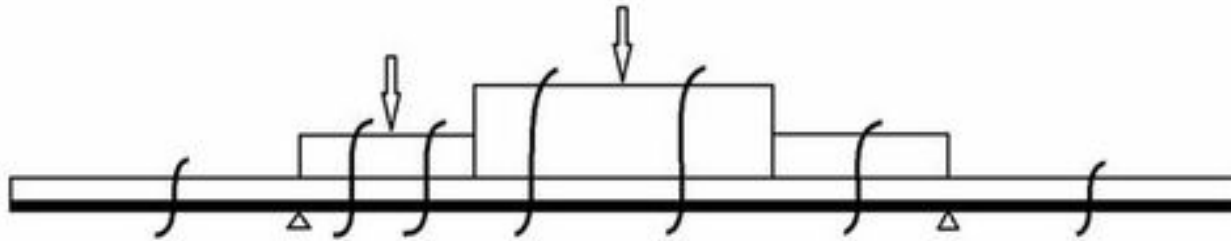
Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

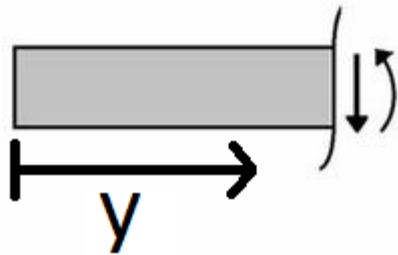
Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b

Snittning från vänster för att beräkna moment och tvärkraft:



Snittningen görs från vänster enligt bilden nedan. I bilden ovan försummas punklasten TS3 på grund av att den är noll.



Snitt 1: $0 < y_{fall1.1} < a_{konsol}$

$$V_{fall1.1.2.n}(y_{fall1.1}) := -Q_{egenvikt,platta,fall1.2.n} y_{fall1.1} - P_{kant,fall1.2.n}$$

$$M_{fall1.1.2.n}(y_{fall1.1}) := -Q_{egenvikt,platta,fall1.2.n} \frac{y_{fall1.1}^2}{2} - P_{kant,fall1.2.n}(y_{fall1.1} + 0.25m)$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b

Snitt 2: $a_{\text{konsol}} < y_{\text{fall1.2}} < (a_{\text{konsol}} + (w_{\text{fall1.2}} - 1.5\text{m}))$

$$V_{\text{fall1.2.2.n}}(y_{\text{fall1.2}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} y_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.2.2.n}}(y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.2.n}}$$

$$M_{\text{fall1.2.2.n}}(y_{\text{fall1.2}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}}(y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} \frac{y_{\text{fall1.2}}^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.2.n}} \frac{(y_{\text{fall1.2}} - a_{\text{konsol}})^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.2.n}}(y_{\text{fall1.2}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 3: $(a_{\text{konsol}} + (w_{\text{fall1.2}} - 1.5\text{m})) < y_{\text{fall1.3}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}})$

$$V_{\text{fall1.3.2.n}}(y_{\text{fall1.3}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} y_{\text{fall1.3}} - TS_{\text{fall1.2.2.n}} - UDL_{\text{fall1.2.2.n}}(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.2.n}}$$

$$M_{\text{fall1.3.2.n}}(y_{\text{fall1.3}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}}(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} \frac{y_{\text{fall1.3}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.2.2.n}}(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.n}} \frac{(y_{\text{fall1.3}} - a_{\text{konsol}})^2}{2} - P_{\text{kant.fall1.2.n}}(y_{\text{fall1.3}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b

Snitt 4: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}}) < y_{\text{fall1.4}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}/2)$

$$V_{\text{fall1.4.2.n}}(y_{\text{fall1.4}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} y_{\text{fall1.4}} - TS_{\text{fall1.2.2.n}} - UDL_{\text{fall1.1.2.n}}(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.n}} w_{\text{fall1.2}} - P_{\text{kant.fall1.2.n}}$$

$$M_{\text{fall1.4.2.n}}(y_{\text{fall1.4}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}}(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} \frac{y_{\text{fall1.4}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.2.2.n}}(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.1.2.n}} \frac{(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.2.n}} w_{\text{fall1.2}} \left(y_{\text{fall1.4}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.2.n}}(y_{\text{fall1.4}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 5: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}/2) < y_{\text{fall1.5}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.1}} + w_{\text{fall1.2}})$

$$V_{\text{fall1.5.2.n}}(y_{\text{fall1.5}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} y_{\text{fall1.5}} - TS_{\text{fall1.1.2.n}} - TS_{\text{fall1.2.2.n}} - UDL_{\text{fall1.1.2.n}}(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}}) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.n}} w_{\text{fall1.2}} - P_{\text{kant.fall1.2.n}}$$

$$M_{\text{fall1.5.2.n}}(y_{\text{fall1.5}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}}(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} \frac{y_{\text{fall1.5}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.1.2.n}} \left(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall1.2.2.n}}(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) - UDL_{\text{fall1.1.2.n}} \frac{(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.n}} w_{\text{fall1.2}} \left(y_{\text{fall1.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - P_{\text{kant.fall1.2.n}}(y_{\text{fall1.5}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b

Snitt 6: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.1}} + w_{\text{fall1.2}}) < y_{\text{fall1.6}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}})$

$$V_{\text{fall1.6.2.n}}(y_{\text{fall1.6}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} y_{\text{fall1.6}} - TS_{\text{fall1.1.2.n}} - TS_{\text{fall1.2.2.n}} - UDL_{\text{fall1.1.2.n}} w_{\text{fall1.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.n}} w_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.3.2.n}} (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.1}} - w_{\text{fall1.2}}) - P_{\text{kant.fall1.2.n}}$$

$$M_{\text{fall1.6.2.n}}(y_{\text{fall1.6}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}} (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} \frac{y_{\text{fall1.6}}^2}{2} - TS_{\text{fall1.1.2.n}} \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall1.2.2.n}} (y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) - UDL_{\text{fall1.1.2.n}} w_{\text{fall1.1}} \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.n}} w_{\text{fall1.2}} \left(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall1.3.2.n}} \frac{(y_{\text{fall1.6}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.1}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.2.n}} (y_{\text{fall1.6}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 7: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}) < y_{\text{fall1.7}} < (b_{\text{vägbana}} - 2 \cdot 0.1\text{m})$

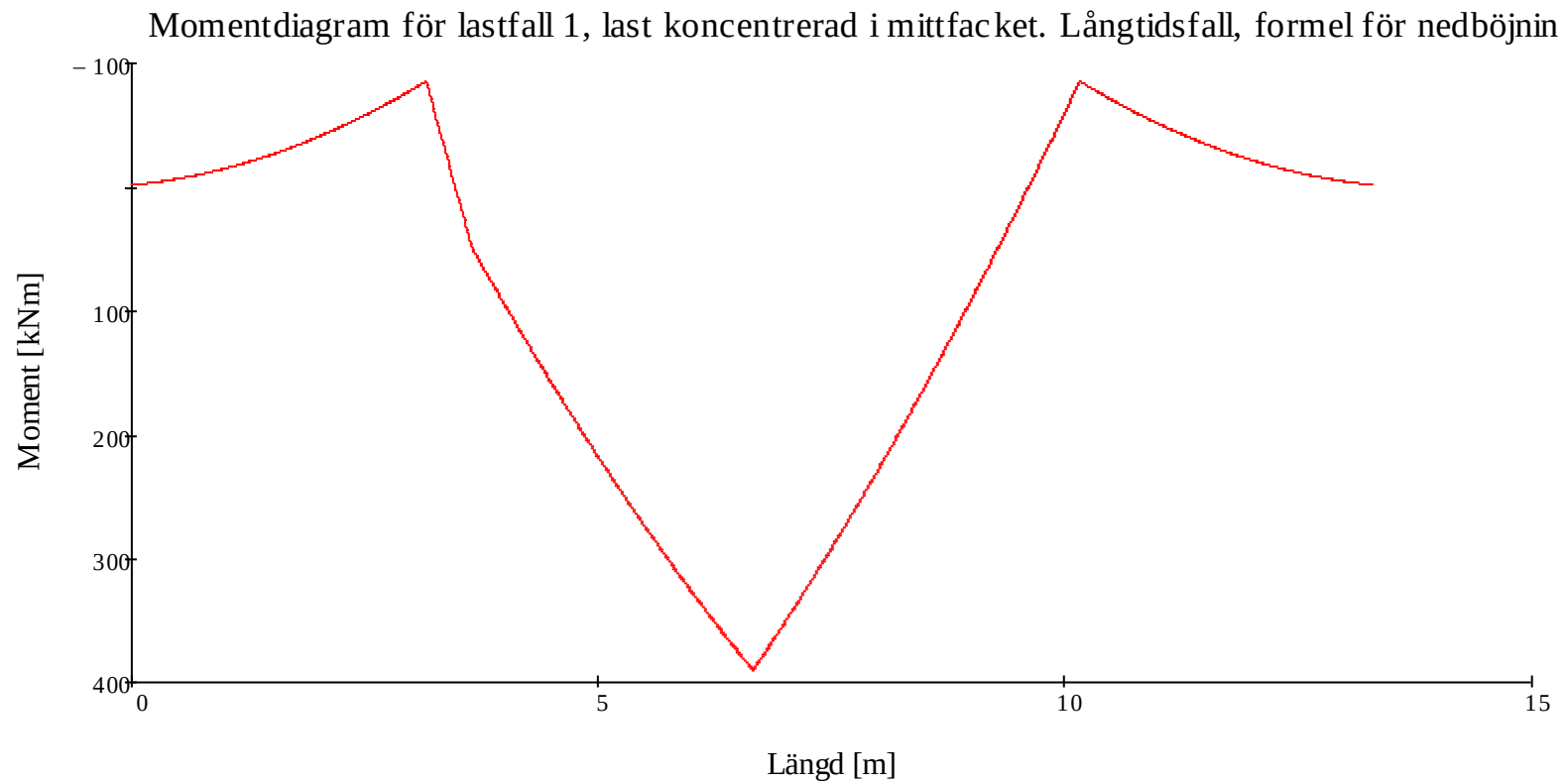
$$V_{\text{fall1.7.2.n}}(y_{\text{fall1.7}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}} + R_{B.\text{fall1.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} y_{\text{fall1.7}} - TS_{\text{fall1.1.2.n}} - TS_{\text{fall1.2.2.n}} - UDL_{\text{fall1.1.2.n}} w_{\text{fall1.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.2.n}} w_{\text{fall1.2}} - UDL_{\text{fall1.3.2.n}} w_{\text{fall1.3}} - P_{\text{kant.fall1.2.n}}$$

$$M_{\text{fall1.7.2.n}}(y_{\text{fall1.7}}) := R_{A.\text{fall1.2.n}} (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}}) + R_{B.\text{fall1.2.n}} (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - a_{\text{stöd}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} \frac{y_{\text{fall1.7}}^2}{2} \dots \\ + -TS_{\text{fall1.1.2.n}} \left(y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) - TS_{\text{fall1.2.2.n}} (y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \\ + -(UDL_{\text{fall1.1.2.n}} w_{\text{fall1.1}} + UDL_{\text{fall1.2.2.n}} w_{\text{fall1.2}} + UDL_{\text{fall1.3.2.n}} w_{\text{fall1.3}}) \left(y_{\text{fall1.7}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall1.2.n}} (y_{\text{fall1.7}} + 0.25\text{m})$$

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b

Maximalt moment fall 1, långtidsfall med formel formel för nedböjning

Diagrammet ger att det maximala momentet uppstår i mitten av mittenspannet, snitt 4 och 5

$$M_{\text{fall1.4.2.n}}(y) := \left[R_{A,\text{fall1.2.n}}(y - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} \frac{y^2}{2} - TS_{\text{fall1.2.2.n}}(y - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}} + 1.5\text{m}) \dots \right. \\ \left. + -UDL_{\text{fall1.1.2.n}} \frac{(y - a_{\text{konsol}} - w_{\text{fall1.2}})^2}{2} - UDL_{\text{fall1.2.2.n}} w_{\text{fall1.2}} \left(y - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall1.2}}}{2} \right) - P_{\text{kant.fall1.2.n}}(y + 0.25\text{m}) \right]$$

$$y_{\text{max}} := 0\text{m}$$

Given

$$a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}} < y < a_{\text{konsol}} + \frac{a_{\text{stöd}}}{2}$$

$$p := \frac{(b_{\text{vägbana}} - 2 \cdot 0.1\text{m})}{2} = 6.65\text{m}$$

Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximalt moment uppstår

$$M_{\text{fall1.4.2.n.max}} := M_{\text{fall1.4.2.n}}(p) = 390.252\text{kNm}$$

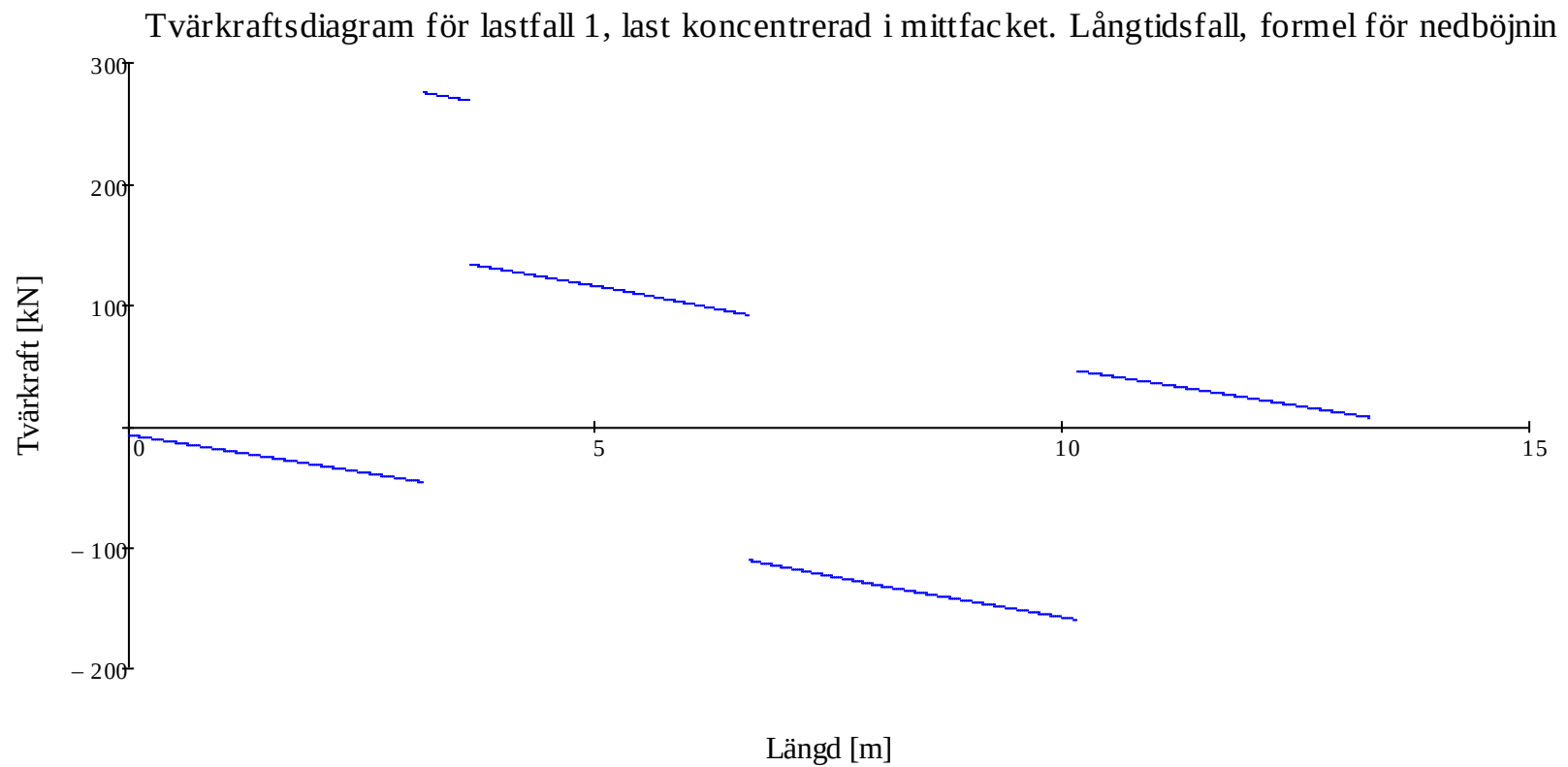
$$M_{\text{max.fall1.2.n}} := M_{\text{fall1.4.2.n.max}} = 390.252\text{kNm}$$

Maximalt moment för fall 1, långtidsfall med formel för nedböjning

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Fall 1 med formel 6.15b

Maximal tvärkraft fall 1, långtidsfall med formel för nedböjning

Diagrammet ger att den maximala tvärkraften uppstår till höger om stöd A och till vänster om stöd B, snitt 2 och 6

$$V_{\text{fall1.2.2.n}}(y) := R_{A,\text{fall1.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.2.n}} \cdot y - UDL_{\text{fall1.2.2.n}}(y - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall1.2.1}}$$

$$a_{\text{konsol}} < y < a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall1.2}}$$

$$y_{\text{xx}} := 0 \text{ m}$$

$$P_{\text{xx}} := a_{\text{konsol}} = 3.15 \text{ m}$$

Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximal tvärkraft uppstår

Given

$$V_{\text{fall1.2.2.n.max}} = V_{\text{fall1.2.2.n}}(P) = 275.437 \text{ kN}$$

$$\boxed{V_{\text{max.fall1.2.n}} = V_{\text{fall1.2.2.n.max}} = 275.437 \text{ kN}}$$

Maximal tvärkraft för fall 1, långtidsfall med formel för nedböjning

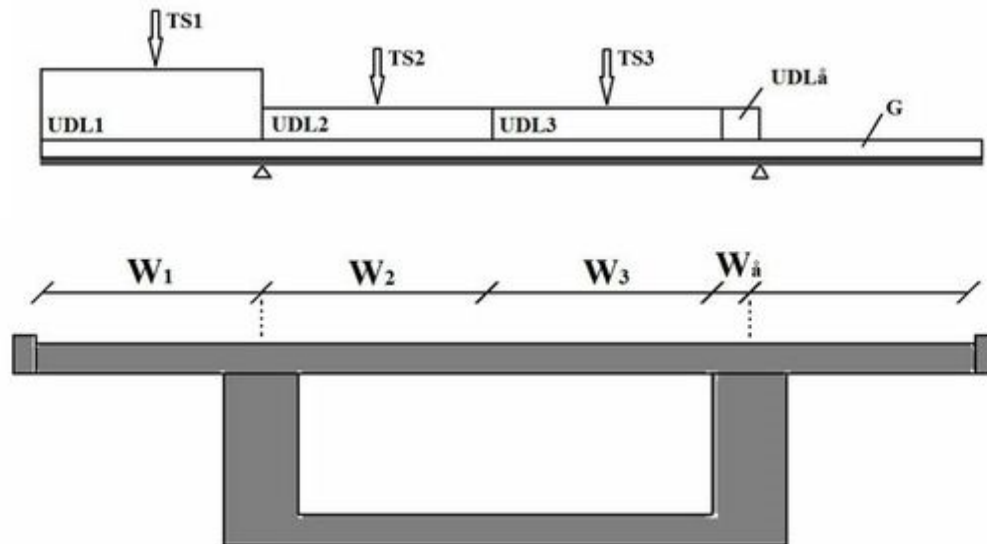
Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

1.6.2 Lastfall 2, last koncentrerad över vänstra stödet. Moment- och tvärkraftsdiagram för nedböjning.

Olika lastfall används för att beräkna kritiska moment och tvärkrafter. I lastfall 2 är lasterna koncentrerade till ena sidan medan andra sidan är obelastad, detta resulterar i att maximalt moment och tvärkraft uppstår över stöd. Lastfält 1 antas belasta hela konsolen, det är ett antagande på den säkra sidan så länge w_1 är minst 3 m.



$$w_{fall2.1} := \frac{(b_{v\ddot{a}gbana} - a_{st\ddot{o}d})}{2} - 0.1m = 3.15m$$

$$w_{fall2.2} := 3m = 3m$$

$$w_{fall2.3} := 3m = 3m$$

$$w_{fall2.4} := 0m$$

$$w_{fall2.5} := a_{st\ddot{o}d} - w_{fall2.2} - w_{fall2.3} = 1m$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

Definerar intervall för att plotta moment- och tvärkraftsdiagram $y_{fall2.1}$ - $y_{fall2.5}$

Varje steg är 1 cm

$$y_{fall2.1} := \left(0 \cdot m, 0.01m \cdot \frac{a_{konsol}}{2} \right)$$

$$y_{fall2.2} := \left(\frac{a_{konsol}}{2}, \frac{a_{konsol}}{2} + 0.01m \cdot a_{konsol} \right)$$

$$y_{fall2.3} := \left(a_{konsol}, a_{konsol} + 0.01m \cdot a_{konsol} + \frac{w_{fall2.2}}{2} \right)$$

$$y_{fall2.4} := \left(a_{konsol} + \frac{w_{fall2.2}}{2}, a_{konsol} + \frac{w_{fall2.2}}{2} + 0.01m \cdot a_{konsol} + a_{stöd} \right)$$

$$y_{fall2.5} := \left(a_{konsol} + a_{stöd}, a_{konsol} + a_{stöd} + 0.01m \cdot b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m \right)$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

För variabla laster tas hänsyn till följande säkerhetsfaktor

För alla variabla laster används säkerhetsfaktorn $\gamma_{Q2} := 1.0$ Säkerhetsfaktor för långtidsfall (bruksgräns).

Säkerhetsfaktorer enligt lastmodell 1

$\gamma_{G2} := 1.0$ $\psi_{1,punkt} := 0.7$ $\psi_{1,utbredd} := 0.4$ Lastfaktorer för långtidsfall (bruksgräns), gäller vid beräkning av nedböjning.
 $\psi_{2,punkt} := 0$ $\psi_{2,utbredd} := 0$

Säkerhetsklass 3

Vi ska utgå från säkerhetsklass 3 när bron dimensioneras. Detta medför ytterligare en säkerhetsfaktor.

$\gamma_d := 1.0$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram, långtidsfall med formel för nedböjning

Lastberäkning med hänsyn till säkerhetsfaktorerna enligt lastkombination för formel för nedböjning

$$Q_{\text{egenvikt, platta, fall 2.2.n}} := Q_{\text{egenvikt, platta}} \cdot \gamma_{G,2} = 12.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Egenvikt för plattan}$$

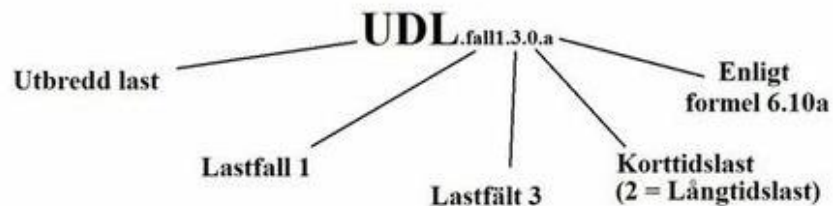
$$P_{\text{kant, fall 2.2.n}} := P_{\text{kant}} \cdot \gamma_{G,2} = 7.23 \text{ kN} \quad \text{Vikt för kantbalken}$$

$$\text{Utbredda laster: } UDL_{\text{fall 2.1.2.n}} := UDL_1 \cdot \psi_{1,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} = 2.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall 2, fält 1, långtidsfall}$$

$$UDL_{\text{fall 2.2.2.n}} := UDL_2 \cdot \psi_{1,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall 2, fält 2, långtidsfall}$$

$$UDL_{\text{fall 2.3.2.n}} := UDL_3 \cdot \psi_{1,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall 2, fält 3, långtidsfall}$$

$$UDL_{\text{fall 2.4.2.n}} := UDL_3 \cdot \psi_{1,\text{utbredd}} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q,2}^{\text{cc}} = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Utbredd last fall 2, fält återstående, långtidsfall}$$



Beteckningar enligt modellen till vänster används i detta kapitel

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

Punktlaster: $TS_{fall2.1.2.n} = TS_1 \cdot \psi_{1.punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.2} = 202.5 \text{ kN}$ Punktlast fall 2, fält 1, långtidsfall

$TS_{fall2.2.2.n} = TS_2 \cdot \psi_{1.punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.2} = 135 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Punktlast fall 2, fält 2, långtidsfall

$TS_{fall2.3.2.n} = TS_3 \cdot \psi_{1.punkt} \cdot \gamma_d \cdot \gamma_{Q.2} = 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Punktlast fall 2, fält 3, långtidsfall

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

Jämviktsekvationer för att lösa ut stöd krafter, långtidsfall med formel för nedböjning

Momentjämvikt kring stöd A:

$$R_{B,fall2.2,n} = \frac{\left[Q_{egenvikt,platta,fall2.2,n} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) \cdot \frac{a_{stöd}}{2} - UDL_{fall2.1.2,n} \frac{a_{konsol}^2}{2} - TS_{fall2.1.2,n} \frac{a_{konsol}}{2} \dots \right. \\ \left. + UDL_{fall2.2.2,n} \frac{w_{fall2.2}^2}{2} + TS_{fall2.2.2,n} \frac{w_{fall2.2}}{2} + UDL_{fall2.3.2,n} w_{fall2.3} \left(w_{fall2.2} + \frac{w_{fall2.3}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + TS_{fall2.3.2,n} \left(w_{fall2.2} + \frac{w_{fall2.3}}{2} \right) + UDL_{fall2.4.2,n} w_{fall2.4} \left(w_{fall2.2} + w_{fall2.3} + \frac{w_{fall2.4}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + P_{kant,fall2.2,n} (0.25m + a_{konsol} + a_{stöd}) - P_{kant,fall2.2,n} (0.25m + a_{konsol}) \right]}{a_{stöd}}$$

$$R_{B,fall2.2,n} = 74.105kN$$

Global jämvikt:

$$R_{A,fall2.2,n} = TS_{fall2.1.2,n} + TS_{fall2.2.2,n} + TS_{fall2.3.2,n} + w_{fall2.1} UDL_{fall2.1.2,n} + w_{fall2.2} UDL_{fall2.2.2,n} + w_{fall2.3} UDL_{fall2.3.2,n} \dots \\ + w_{fall2.4} UDL_{fall2.4.2,n} + Q_{egenvikt,platta,fall2.2,n} (b_{vägbana} - 2 \cdot 0.1m) + P_{kant,fall2.2,n} - R_{B,fall2.2,n}$$

$$R_{A,fall2.2,n} = 456.383kN$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

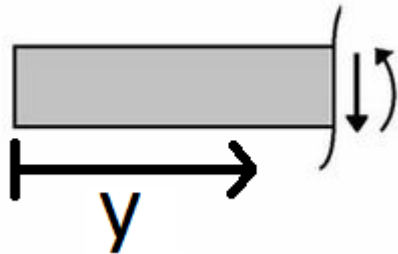
Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

Snittning från vänster för att beräkna moment och tvärkraft:



Snittningen görs från vänster enligt bilden. Endast ett snitt görs mellan TS₂ och högra stödet då punktlasten TS₃ är noll och de utbredda lasterna UDL₂, UDL₃ och UDL₄ är lika stora.



Snitt 1: $0 < y_{fall2.1} < a_{konsol}/2$

$$V_{fall2.1.2.n}(y_{fall2.1}) := -Q_{egenvikt.platta.fall2.2.n} \cdot y_{fall2.1} - UDL_{fall2.1.2.n} \cdot y_{fall2.1} - P_{kant.fall2.2.1}$$

$$M_{fall2.1.2.n}(y_{fall2.1}) := -Q_{egenvikt.platta.fall2.2.n} \cdot \frac{y_{fall2.1}^2}{2} - UDL_{fall2.1.2.n} \cdot \frac{y_{fall2.1}^2}{2} - P_{kant.fall2.2.n} \cdot (y_{fall2.1} + 0.25m)$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

Snitt 2: $a_{\text{konsol}}/2 < y_{\text{fall2.2}} < a_{\text{konsol}}$

$$V_{\text{fall2.2.2.n}}(y_{\text{fall2.2}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}} y_{\text{fall2.2}} - TS_{\text{fall2.1.2.n}} - UDL_{\text{fall2.1.2.n}} y_{\text{fall2.2}} - P_{\text{kant.fall2.2.1}}$$

$$M_{\text{fall2.2.2.n}}(y_{\text{fall2.2}}) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}} \frac{y_{\text{fall2.2}}^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.2.n}} \left(y_{\text{fall2.2}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.1.2.n}} \frac{y_{\text{fall2.2}}^2}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall2.2.1}} (y_{\text{fall2.2}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 3: $a_{\text{konsol}} < y_{\text{fall2.3}} < (a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall2.2}}/2)$

$$V_{\text{fall2.3.2.n}}(y_{\text{fall2.3}}) := R_{A.\text{fall2.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}} y_{\text{fall2.3}} - TS_{\text{fall2.1.2.n}} - UDL_{\text{fall2.1.2.n}} w_{\text{fall2.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.2.n}} (y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall2.2.n}}$$

$$M_{\text{fall2.3.2.n}}(y_{\text{fall2.3}}) := R_{A.\text{fall2.2.n}} (y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}} \frac{y_{\text{fall2.3}}^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.2.n}} \left(y_{\text{fall2.3}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.1.2.n}} w_{\text{fall2.1}} \left(y_{\text{fall2.3}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.2.2.n}} (y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}}) \cdot \frac{(y_{\text{fall2.3}} - a_{\text{konsol}})}{2} \dots \\ + -P_{\text{kant.fall2.2.n}} (y_{\text{fall2.3}} + 0.25\text{m})$$

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

Snitt 4: $(a_{\text{konsol}} + w_{\text{fall2.2}}/2) < y_{\text{fall2.4}} < (a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}})$

$$V_{\text{fall2.4.2.n}}(y_{\text{fall2.4}}) := R_{A,\text{fall2.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}} y_{\text{fall2.4}} - TS_{\text{fall2.1.2.n}} - TS_{\text{fall2.2.2.n}} - UDL_{\text{fall2.1.2.n}} w_{\text{fall2.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.2.n}} (y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}}) - P_{\text{kant.fall2.2.n}}$$

$$M_{\text{fall2.4.2.n}}(y_{\text{fall2.4}}) := R_{A,\text{fall2.2.n}} (y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}} \frac{y_{\text{fall2.4}}^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.2.n}} \left(y_{\text{fall2.4}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) \dots \\ + -TS_{\text{fall2.2.2.n}} \left(y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall2.2}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.1.2.n}} w_{\text{fall2.1}} \left(y_{\text{fall2.4}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.2.n}} (y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}}) \cdot \frac{(y_{\text{fall2.4}} - a_{\text{konsol}})}{2} - P_{\text{kant.fall2.2.n}} (y_{\text{fall2.4}} + 0.25\text{m})$$

Snitt 5: $(a_{\text{konsol}} + a_{\text{stöd}}) < y_{\text{fall2.5}} < (b_{\text{vägbana}} - 2 \cdot 0.1\text{m})$

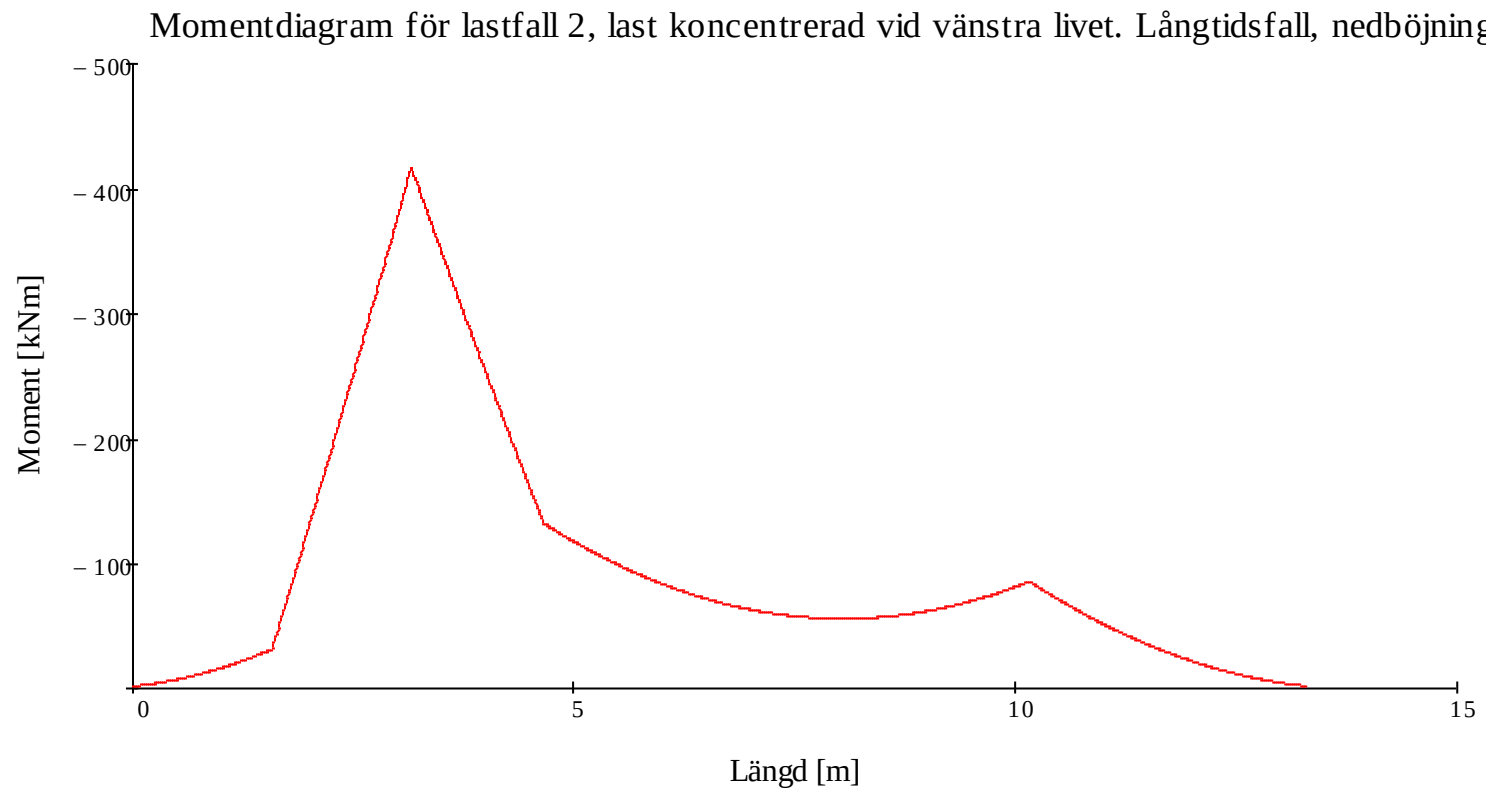
$$V_{\text{fall2.5.2.n}}(y_{\text{fall2.5}}) := R_{A,\text{fall2.2.n}} + R_{B,\text{fall2.2.n}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}} y_{\text{fall2.5}} - TS_{\text{fall2.1.2.n}} - TS_{\text{fall2.2.2.n}} - UDL_{\text{fall2.1.2.n}} w_{\text{fall2.1}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.2.2.n}} a_{\text{stöd}} - P_{\text{kant.fall2.2.n}}$$

$$M_{\text{fall2.5.2.n}}(y_{\text{fall2.5}}) := R_{A,\text{fall2.2.n}} (y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}}) + R_{B,\text{fall2.2.n}} (y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}} - a_{\text{stöd}}) - Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}} \frac{y_{\text{fall2.5}}^2}{2} \dots \\ + -TS_{\text{fall2.1.2.n}} \left(y_{\text{fall2.5}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - TS_{\text{fall2.2.2.n}} \left(y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{w_{\text{fall2.2}}}{2} \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.1.2.n}} w_{\text{fall2.1}} \left(y_{\text{fall2.5}} - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.2.2.n}} a_{\text{stöd}} \left(y_{\text{fall2.5}} - a_{\text{konsol}} - \frac{a_{\text{stöd}}}{2} \right) \dots \\ + -P_{\text{kant.fall2.2.n}} (y_{\text{fall2.5}} + 0.25\text{m})$$

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

Maximalt moment fall 2, långtidsfall med formel för nedböjning

Diagrammet ger att det maximala momentet uppstår över stöd A, snitt 2.

$$M_{\text{fall2.2.2.n}}(y) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}} \frac{y^2}{2} - TS_{\text{fall2.1.2.n}} \left(y - \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) - UDL_{\text{fall2.1.2.n}} \frac{y^2}{2} - P_{\text{kant.fall2.2.n}}(y + 0.25\text{m})$$

$$y := 0\text{m}$$

Given

$$\frac{a_{\text{konsol}}}{2} < y < a_{\text{konsol}}$$

$$P := \text{Maximize}(M_{\text{fall2.2.2.n}}(y)) = 1.575\text{m} \quad \text{Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximalt moment uppstår}$$

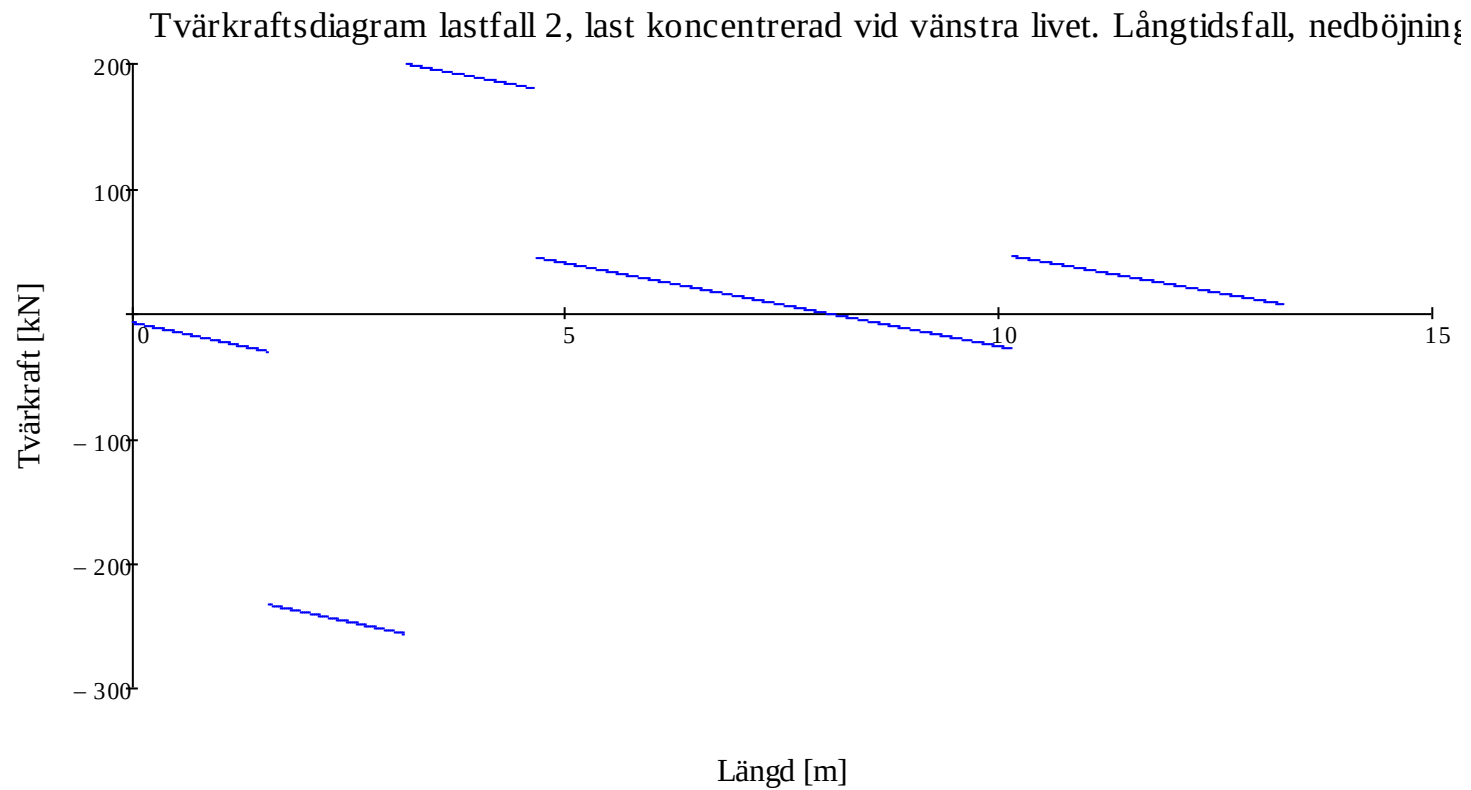
$$M_{\text{fall2.2.2.n.max}} = M_{\text{fall2.2.2.n}} \left(P + \frac{a_{\text{konsol}}}{2} \right) = -417.045\text{kN}$$

$$\boxed{M_{\text{max.fall2.2.n}} = M_{\text{fall2.2.2.n.max}} = -417.045\text{kN}} \quad \text{Maximalt moment för fall 2, långtidsfall med formel för nedböjning}$$

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b



Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Bruksgräns: Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram i långtid

Moment och tvärkraft för nedböjning

Lastfall 2 med formel 6.15b

Maximal tvärkraft fall 2, långtidsfall med formel för nedböjning

Diagrammet ger att den maximala tvärkraften uppstår på vänster sida om stöd A, snitt 2

$$V_{\text{fall2.2.2.n}}(y) := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.2.n}}y - TS_{\text{fall2.1.2.n}} - UDL_{\text{fall2.1.2.n}}y - P_{\text{kant.fall2.2.1}}$$

$$y := 0 \text{ m}$$

Given

$$\frac{a_{\text{konsol}}}{2} < y < a_{\text{konsol}}$$

$$P := \text{Maximize}(V_{\text{fall2.2.2.n}}(y)) = 1.575 \text{ m} \quad \text{Avstånd från vänstra kanten till punkten där maximal tvärkraft uppstår}$$

$$V_{\text{fall2.2.2.n.max}} = V_{\text{fall2.2.2.n}}\left(P + \frac{a_{\text{konsol}}}{2}\right) = -256.413 \text{ kN}$$

$$\boxed{V_{\text{max.fall2.2.n}} = V_{\text{fall2.2.2.n.max}} = -256.413 \text{ kN}} \quad \text{Maximal tvärkraft för fall 2, långtidsfall med formel för nedböjning}$$

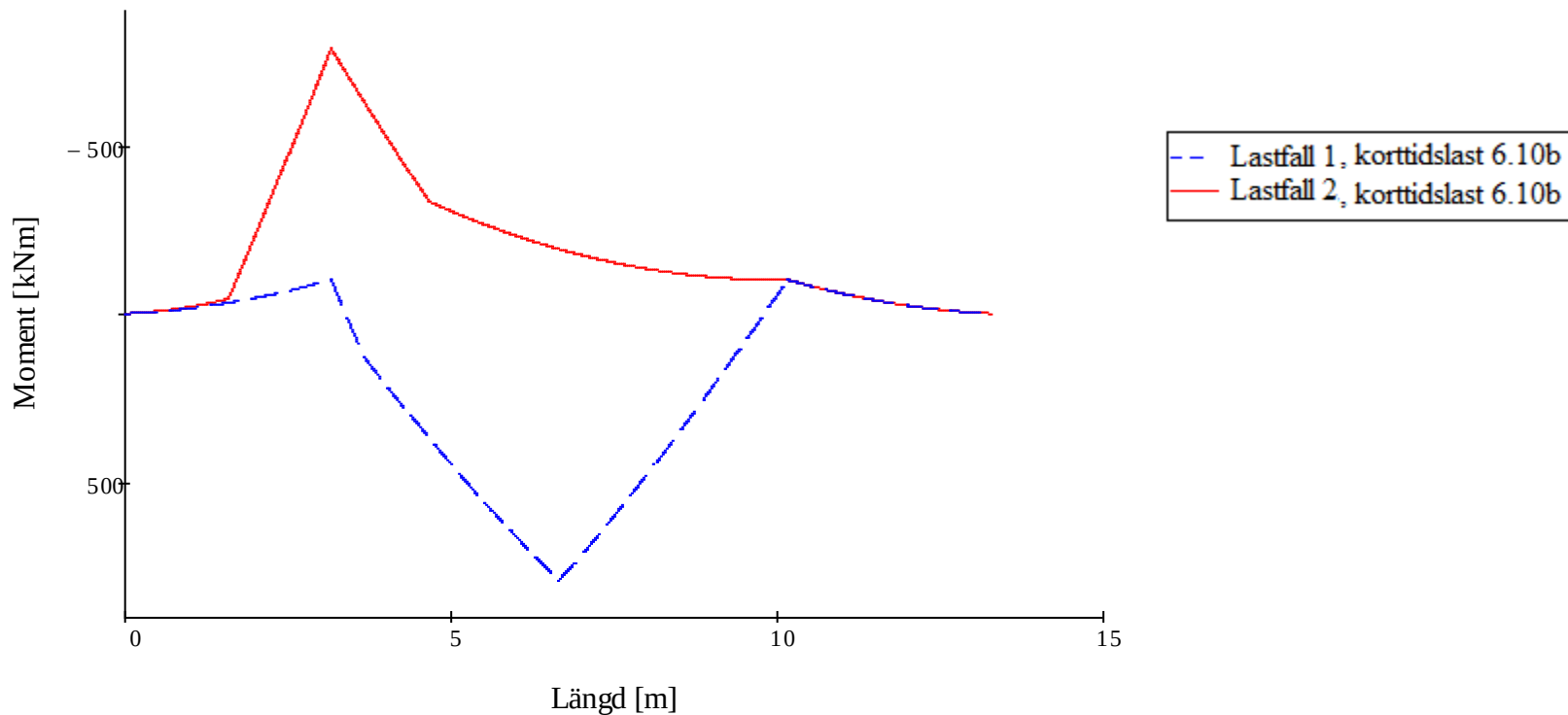
Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled

1.7 Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled

1.7.1 Momentdiagram för korttidsfall, brottgräns

Man kan se i de tidigare diagrammen att formel 6.10b blir dimensionerande för korttidsfallet.

Momentdiagram för både lastfall 1 och 2. Korttidsfall, formel 6.10b



$$M_{\text{max. fält, korttid}} := M_{\text{max. fall 1.0.b}} = 789.019 \text{ kNm}$$

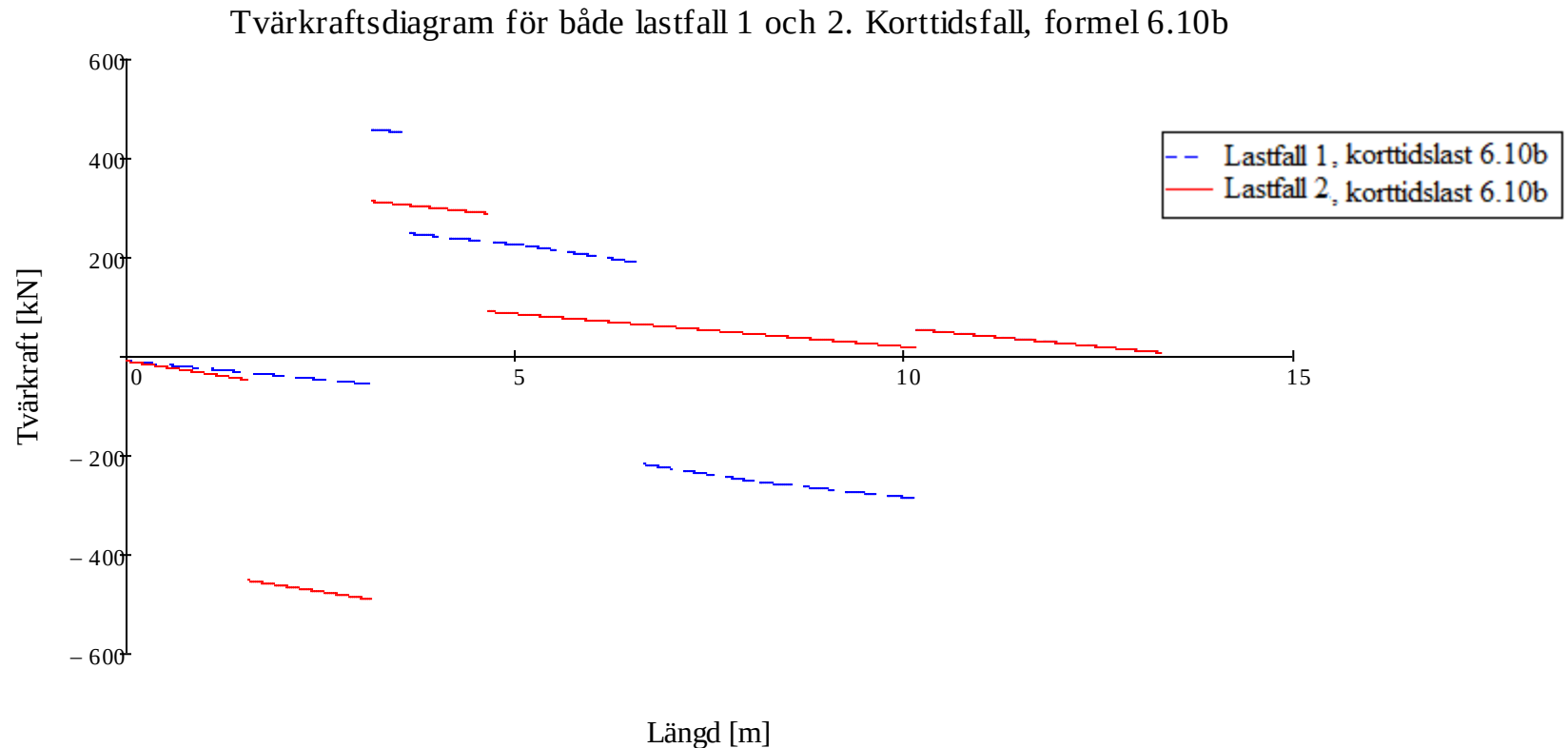
Maximalt korttidsmoment i fält, fall 1, formel 6.10.b. (streckad kurva)

$$M_{\text{max. stöd, korttid}} := M_{\text{max. fall 2.0.b}} = -787.614 \text{ kNm}$$

Maximalt korttidsmoment över stöd, fall 2, formel 6.10b (heldragen kurva)

Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled

1.7.2 Tvärkraftsdiagram för korttidsfall, brottgräns



$$V_{\text{max.höger.om.stöd.korttid}} := V_{\text{max.fall1.0.b}} = 459.435 \text{ kN}$$

Maximal kortidstvärkraft till höger om det vänstra stödet, fall 1, formel 6.10.b. (streckad kurva)

$$V_{\text{max.vänster.om.stöd.korttid}} := V_{\text{max.fall2.0.b}} = -490.006 \text{ kN}$$

Maximal kortidstvärkraft till vänster om det vänstra stödet, fall 2, formel 6.10.b. (streckad kurva)

Bilaga 5: Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled

För att kunna dimensionera tvärkraftsarmering så måste man ha tvärkraften 0.9d från kanten av stöden. Till höger om stödet blir $y = a_{\text{konsol}} + t_{\text{betong.liv}}/2 + 0.9d$ och till vänster om stödet blir $y = a_{\text{konsol}} - t_{\text{betong.liv}}/2 - 0.9d$

Där d är avståndet från plattans tryckta sida till tyngpunkten på den dragna armeringen.

$d := 0.35x$ Fås från dimensioneringen av broplattan i tvärled, se *Kapitel 6.2 Dimensionering av broplattan i tvärled*

Tvärkraft 0.9d till höger om det vänstra stödet

$$V_{0.9d.\text{höger.om.stöd}} := R_{A.\text{fall1.0.b}} - Q_{\text{egenvikt.platta.fall1.0.b}} \left(a_{\text{konsol}} + \frac{t_{\text{betong.liv}}}{2} + 0.9d \right) \dots \\ + -UDL_{\text{fall1.2.0.b}} \left(a_{\text{konsol}} + \frac{t_{\text{betong.liv}}}{2} + 0.9d - a_{\text{konsol}} \right) - P_{\text{kant.fall1.0.b}}$$

$$\boxed{V_{0.9d.\text{höger.om.stöd}} = 446.168 \text{ kN}}$$

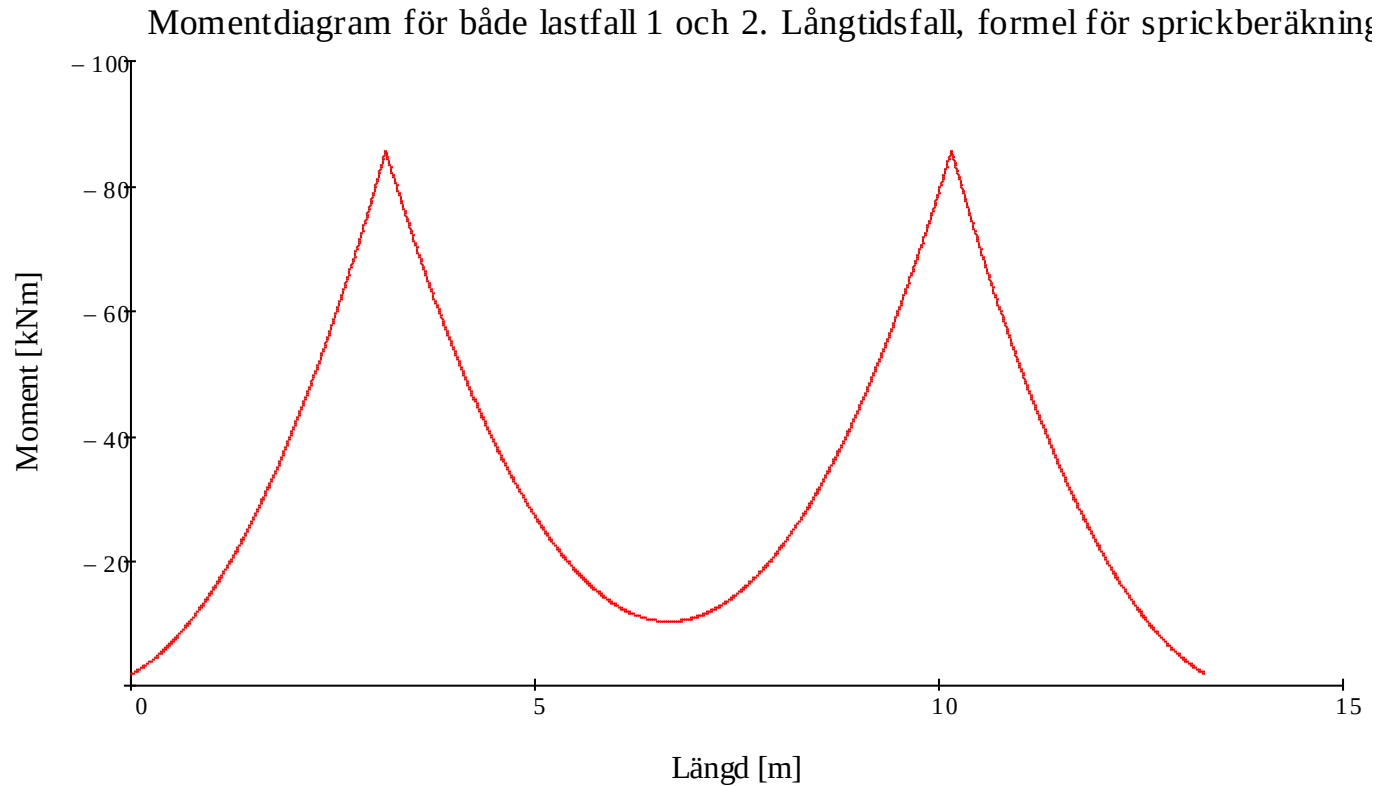
Tvärkraft 0.9d till vänster om det vänstra stödet

$$V_{0.9d.\text{vänster.om.stöd}} := -Q_{\text{egenvikt.platta.fall2.0.b}} \left(a_{\text{konsol}} - \frac{t_{\text{betong.liv}}}{2} - 0.9d \right) - TS_{\text{fall2.1.0.b}} \dots \\ + -UDL_{\text{fall2.1.0.b}} \left(a_{\text{konsol}} - \frac{t_{\text{betong.liv}}}{2} - 0.9d \right) - P_{\text{kant.fall2.0.b}}$$

$$\boxed{V_{0.9d.\text{vänster.om.stöd}} = -470.26 \text{ kN}}$$

Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled

1.7.3 Momentdiagram för långtidsfall, formel för sprickberäkning (bruksgräns)

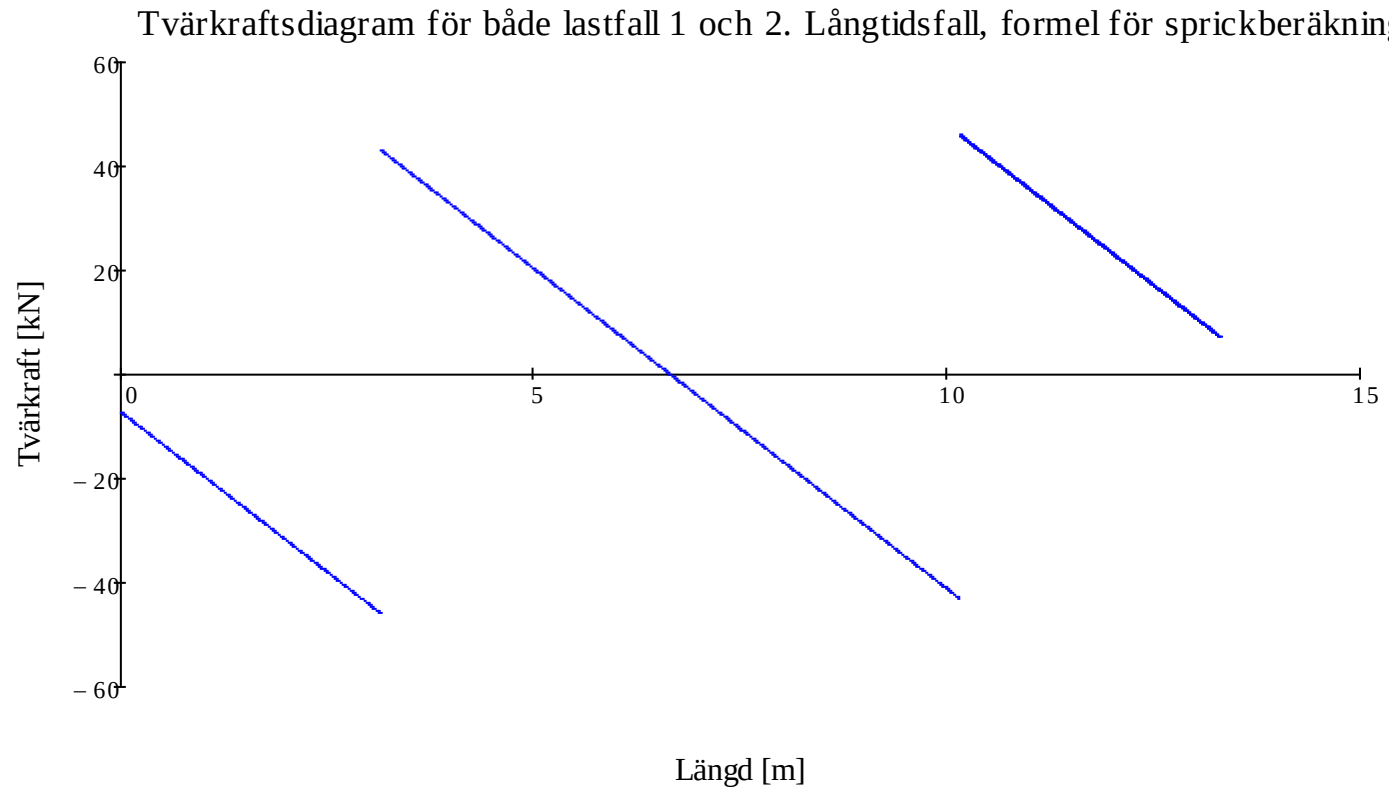


$$M_{\text{max, stöd, långtid, sprickor}} = M_{\text{max, fall 1, 2, s}} = -85.605 \text{ kNm}$$

Maximalt långtidsmoment i stöd, fall 1 och 2, formel för sprickberäkning.

Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled

1.7.4 Tvärkraftsdiagram för långtidsfall, formel för sprickberäkning (bruksgräns)

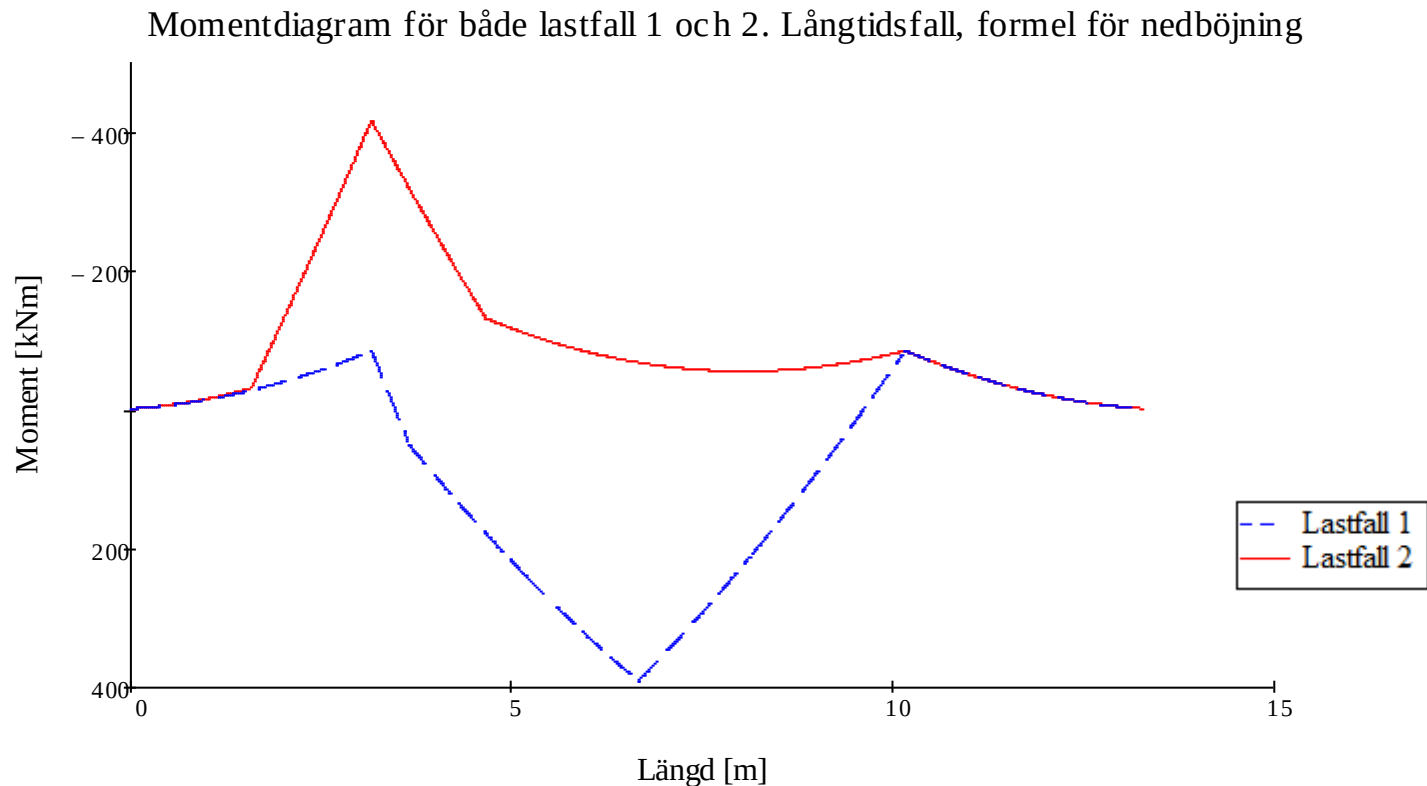


$$V_{\text{max.stöd.långtid.sprickor}} = V_{\text{max.fall 2.2.s}} = -45.975 \text{ kN}$$

Maximal långtidstvärkraft i stöd, fall 1 och 2, formel för sprickberäkning.

Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled

1.7.5 Momentdiagram för långtidsfall, formel för beräkning av nedböjning (bruksgräns)



$$M_{\text{max.fält.långtid}} := M_{\text{max.fall1.2.n}} = 390.252 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

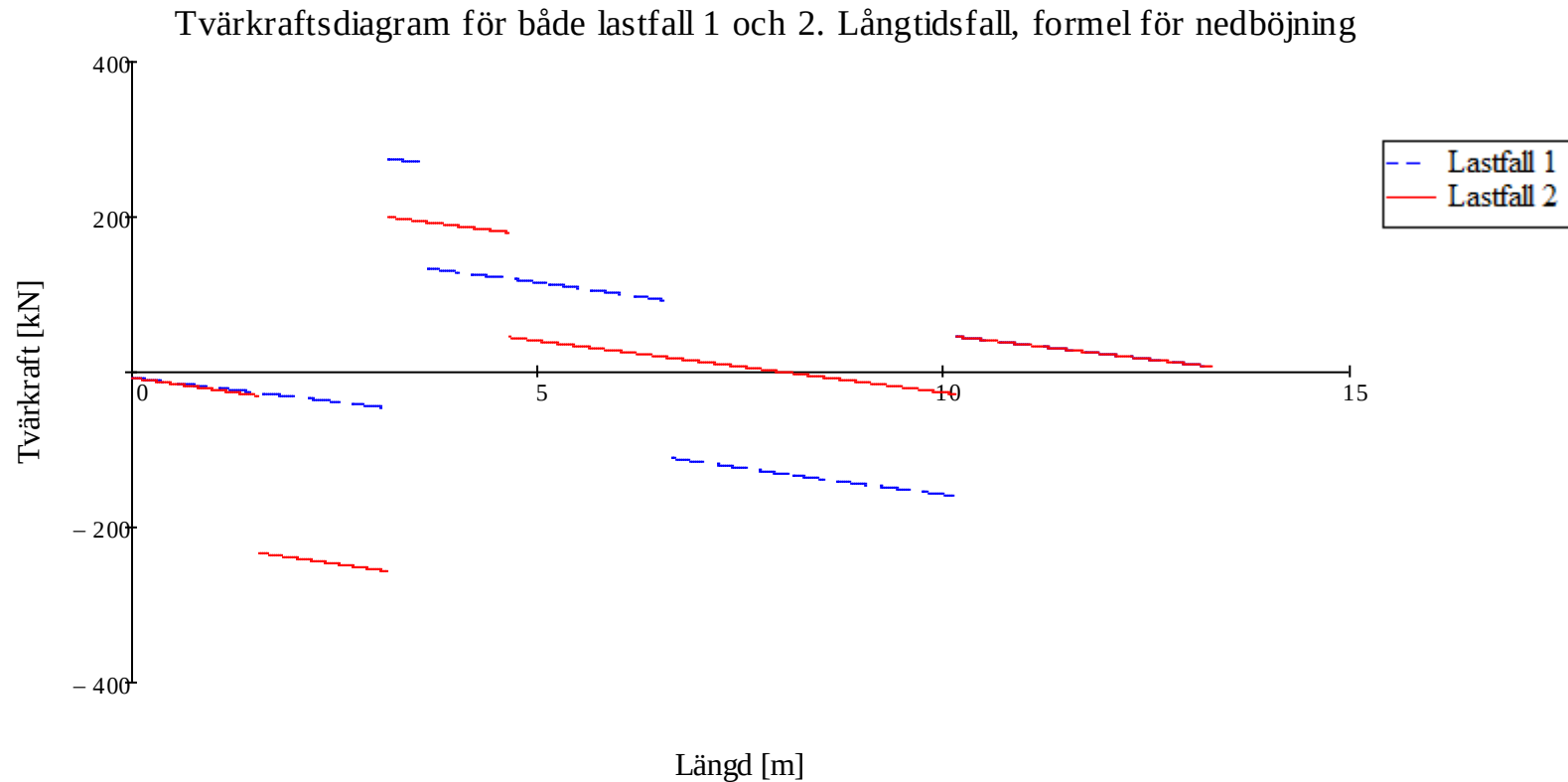
Maximalt långtidsmoment i fält, fall 1, formel för nedböjning. (streckad kurva)

$$M_{\text{max.stöd.långtid}} := M_{\text{max.fall2.2.n}} = -417.045 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Maximalt långtidsmoment över stöd, fall 2, formel för nedböjning (heldragen kurva)

Redovisning av moment- och tvärkraftsdiagram i tvärled

1.7.6 Tvärkraftsdiagram för långtidsfall, formel för beräkning av nedböjning (bruksgräns)



$$V_{\text{max.höger.om.stöd.långtid}} := V_{\text{max.fall1.2.n}} = 275.437 \text{ kN}$$

Maximal långtidstvärkraft till höger om det vänstra stödet, fall 1, formel för nedböjning. (streckad kurva)

$$V_{\text{max.vänster.om.stöd.långtid}} := V_{\text{max.fall2.2.n}} = -256.413 \text{ kN}$$

Maximal långtidstvärkraft till vänster om det vänstra stödet, fall 2, formel för nedböjning. (heldragen kurva)

Bilaga 6

Dimensionering av betongfarbana i tvärled

Beteckningar för plattan i transversell riktning, Brottgräns

Versala latinska tecken

A_c	Tvärsnittets bruttoarea (dvs. utan armering)
$A_{si.huvudarm.}$	Armeringsarea för en huvudarmeringsstång
$A_{si.bygel}$	Armeringsarea för en bygel
$A_{s.min}$	Undre gräns för armeringsmängd
$A_{s.max}$	Övre gräns för armeringsmängd
$A_{sstöd}$	Erforderlig armeringsmängd över stöd
$A_{s.stöd}$	Dragarmeringsmängd över stöd
$A_{s.stödlager1}$	Dragarmeringsmängd över stöd i armeringslager 1
$A_{s.stödlager2}$	Dragarmeringsmängd över stöd i armeringslager 2
$A'_{s.stöd}$	Tryckarmeringsmängd över stöd
$A_{sfält}$	Erforderlig armeringsmängd i fält
$A_{s.fält}$	Dragarmeringsmängd i fält
$A_{s.fältlager1}$	Dragarmeringsmängd i fält i armeringslager 1
$A_{s.fältlager2}$	Dragarmeringsmängd i fält i armeringslager 2
$A'_{s.fält}$	Tryckarmeringsmängd i fält
E_s	Armeringsstålets elasticitetsmodul
F_c	Tryckresultant för betongen
F_{s1}	Dragresultant för armeringslager 1
F_{s2}	Dragresultant för armeringslager 2
F'_s	Tryckresultant för tryckarmeringen
$M_{Ed.stöd}$	Dimensionerande lasteffekt över stöd
$M_{Ed.fält}$	Dimensionerande lasteffekt i fält
$M_{Rd.stöd}$	Momentkapacitet över stöd
$M_{Rd.fält}$	Momentkapacitet i fält

$V_{Ed.max}$	Dimensionerande tvärkraft över stöd
$V_{Ed.max.skjuv}$	Dimensionerande tvärkraft i snittet för skjuvglidbrott
V_{Rd}	Tvärkraftskapacitet mot livtryckbrott (utan tvärkraftsarmering)
$V_{Rd.c}$	Tvärkraftskapacitet mot skjuvglidbrott (utan tvärkraftsarmering)

Gemena latinska tecken

b_{balk}	Balkens bredd
$c_{frittavst}$	Minsta fria avstånd mellan armeringsstänger
$c_{min.dur}$	Täckande betongsskikt med avseende på kloridinträngning
$c_{min.b}$	Täckande betongsskikt med avseende på armeringens vidhäftning
c_{nom}	Erforderligt täckande betongsskikt
d	Antagen effektiv tvärsnittshöjd
$d_{fält1}$	Effektiv tvärsnittshöjd i fält för armeringslager 1
$d_{fält2}$	Effektiv tvärsnittshöjd i fält för armeringslager 2
$d'_{fält}$	Effektiv tvärsnittshöjd i fält för tryckarmeringen
$d_{stöd1}$	Effektiv tvärsnittshöjd över stöd för armeringslager 1
$d_{stöd2}$	Effektiv tvärsnittshöjd över stöd för armeringslager 2
$d'_{stöd}$	Effektiv tvärsnittshöjd över stöd för tryckarmeringen
f_{cd}	Betongens dimensionerande tryckhållfasthet (C60/75)
f_{ck}	Betongens karakteristiska tryckhållfasthet (C60/75)
f_{cm}	Betongens medeltryckhållfasthet (C60/75)
f_{ctm}	Betongens medeldraghållfasthet (C60/75)
f_{yd}	Dimensionerande flytgräns (Kamstänger B500B)
f_{yk}	Karakteristisk flytgräns (Kamstänger B500B)
f_{ywd}	Dimensionerande flytgräns för tvärkraftsarmeringen
h_{balk}	Betongplattans höjd
l_{balk}	Balkens längd

$n_{\text{fält}}$	Erforderligt antal armeringsstänger i fält
$n_{\text{fält.lager}}$	Antal armeringsstänger i varje armeringslager i fält
n_{grundarm}	Antal armeringsstänger som löper genom hela balken
$n_{\text{stöd}}$	Erforderligt antal armeringsstänger över stöd
$n_{\text{stöd.lager}}$	Antal armeringsstänger i varje armeringslager över stöd
$x_{\text{fält}}$	Tvärsnittets tryckzonshöjd i fält
$x_{\text{stöd}}$	Tvärsnittets tryckzonshöjd över stöd
z	Approximativt värde på den inre hävarmen

Gemena grekiska tecken

α_{cc}	Faktor som beaktar hållfasthetsreduktion på grund av långvarig belastning
γ_c	Partialkoefficient för betong
γ_s	Partialkoefficient för armeringsstål
ϵ_{cu}	Brottstukning för högpresterande betong
$\epsilon_{s,\text{fält}1}$	Ståltöjning för armeringslager 1 i fält
$\epsilon_{s,\text{fält}2}$	Ståltöjning för armeringslager 2 i fält
$\epsilon'_{s,\text{fält}}$	Ståltöjning för tryckarmeringen i fält
$\epsilon_{s,\text{stöd}1}$	Ståltöjning för armeringslager 1 över stöd
$\epsilon_{s,\text{stöd}2}$	Ståltöjning för armeringslager 2 över stöd
$\epsilon'_{s,\text{stöd}}$	Ståltöjning för tryckarmeringen över stöd
ϵ_{syd}	Dimensionerande flyttöjning för armeringsstålet (B500B)
Φ_{bygel}	Diameter på byglarna
$\Phi_{\text{huvudarm.}}$	Diameter på huvudarmeringen

Beteckningar för plattan i transversell riktning, Brukgräns

Versala latinska tecken

A_{II}	Arean för det ekvivalenta betongtvärsnittet i Stadium II
A_c	Tvärsnittets bruttoarea (dvs. utan armering)
A_{cc}	Tryckzonens bruttoarea (dvs. utan avdrag för tryckarmeringen)
$A_{s.fält}$	Dragarmeringsmängd i fält
$A_{s.fält1}$	Dragarmeringsmängd i fält i armeringslager 1
$A_{s.fält2}$	Dragarmeringsmängd i fält i armeringslager 2
$A'_{s.fält}$	Tryckarmeringsmängd i fält
A_{si}	Arean för ett huvudarmeringsjärn
$A_{s.stöd}$	Dragarmeringsmängd över stöd
$A_{s.stöd1}$	Dragarmeringsmängd över stöd i armeringslager 1
$A_{s.stöd2}$	Dragarmeringsmängd över stöd i armeringslager 2
$A'_{s.stöd}$	Tryckarmeringsmängd över stöd
E_{cm}	Betongens elasticitetsmodul (medelvärde)
E_s	Armeringsstålets elasticitetsmodul
F_{cs}	"Krympkraften" som uppkommer av betongens krympning
F_{cs1}	Krympkraft i armeringslager 1
F_{cs2}	Krympkraft i armeringslager 2
F'_{cs}	Krympkraft i tryckarmeringen
F_{sy4}	Flytkraften som ska förankras för 4 stänger
F_{sy24}	Flytkraften som ska förankras för 24 stänger
I_{balk}	Balkens yttröghetsmoment
I_{II}	Yttröghetsmomentet för det ekvivalenta betongtvärsnittet i Stadium II
$M_{cr.fält}$	Kritiskt sprickmoment i fält
$M_{cr.stöd}$	Kritiskt sprickmoment över stöd
$M_{Ed.fält}$	Dimensionerande lasteffekt i fält

$M_{Ed.stöd}$	Dimensionerande lasteffekt över stöd
$S_{bd.fält}$	Maximal krafttillväxt per stång i fält
$S_{bd.stöd}$	Maximal krafttillväxt per stång över stöd

Gemena latinska tecken

b_{balk}	Balkens bredd
$d_{fält}$	Effektiv tvärsnittshöjd i fält
$d_{fält1}$	Effektiv tvärsnittshöjd i fält för armeringslager 1
$d_{fält2}$	Effektiv tvärsnittshöjd i fält för armeringslager 2
$d'_{fält}$	Effektiv tvärsnittshöjd i fält för tryckarmeringen
$d_{stöd}$	Effektiv tvärsnittshöjd över stöd
$d_{stöd1}$	Effektiv tvärsnittshöjd över stöd för armeringslager 1
$d_{stöd2}$	Effektiv tvärsnittshöjd över stöd för armeringslager 2
$d'_{stöd}$	Effektiv tvärsnittshöjd över stöd för tryckarmeringen
e_{s1}	Excentriciteten för krympkraft 1 (avstånd från armeringslagret till tvärsnittets tyngdpunkt)
e_{s2}	Excentriciteten för krympkraft 2 (avstånd från armeringslagret till tvärsnittets tyngdpunkt)
e'_s	Excentriciteten för tryckarmeringens krympkraft (avstånd från armeringslagret till tvärsnittets tyngdpunkt)
$f_{bd.fält}$	Vidhäftningshållfastheten över fält
$f_{bd.stöd}$	Vidhäftningshållfastheten över stöd
f_{ctd}	Betongens dimensionerande draghållfasthet
f_{ctm}	Betongens medeldraghållfasthet
f_{yd}	Dimensionerande hållfasthet för en armeringsstång
f_{yk}	Armeringens karakteristiska flytspänning
h_{balk}	Betongplattans höjd

$s_{r,max}$	Avstånd mellan utslagna sprickor
u	Tvärsnittets omkrets
w_k	Sprickbredden
x_{tp}	Tvärsnittets tyngdpunkt
$z_{stöd}$	Approximativt värde på den inre hävarmen över stöd
$z_{fält}$	Approximativt värde på den inre hävarmen i fält

Gemena grekiska tecken

α_{ef}	Skalningsfaktor mellan armeringsarea och ekvivalent betongarea (med hänsyn till långtidseffekter)
α	Skalningsfaktor mellan armeringsarea och ekvivalent betongarea (utan beaktande av långtidseffekter)
β_{RH}	Faktor som tar hänsyn till omgivningens relativa fuktighet (vid betongkrypning)
β_{fcm}	Faktor som beaktar betongens hållfasthetsklass (vid betongkrypning)
β_{t0}	Faktor som beaktar betongens ålder vid pålastning (vid betongkrypning)
γ_c	Partialkoefficient för betong
ϵ_{cs}	Betongens krymptöjning
ϵ_{cd}	Slutligt värde på uttorkningskrypning
ϵ_{ca}	Slutligt värde på autogen krypning
ϵ_{cdi}	Töjningsfaktor som tar hänsyn till hållfasthetsklass och cementtyp
ϵ_{sm}	Stålets medeltöjning
ϵ_{cm}	Betongens medeltöjning mellan sprickor
$\rho_{p,ef}$	Förhållande mellan dragen armeringsarea och den medverkande betongarean
σ_c	Betongens kritiska sprickspänning
σ_{ce}	Ekvivalent betongspänning
σ_{s1}	Stålsänning i armeringslager 1

σ_{s2}	Stålspänning i armeringslager 2
σ'_s	Stålspänning i tryckarmeringen
φ_{slut}	Slutligt kryptal för betongen
φ_{RH}	Faktor som beaktar omgivningens relativa fuktighet (vid betongkrypning)
ϕ	Huvudarmeringens diameter

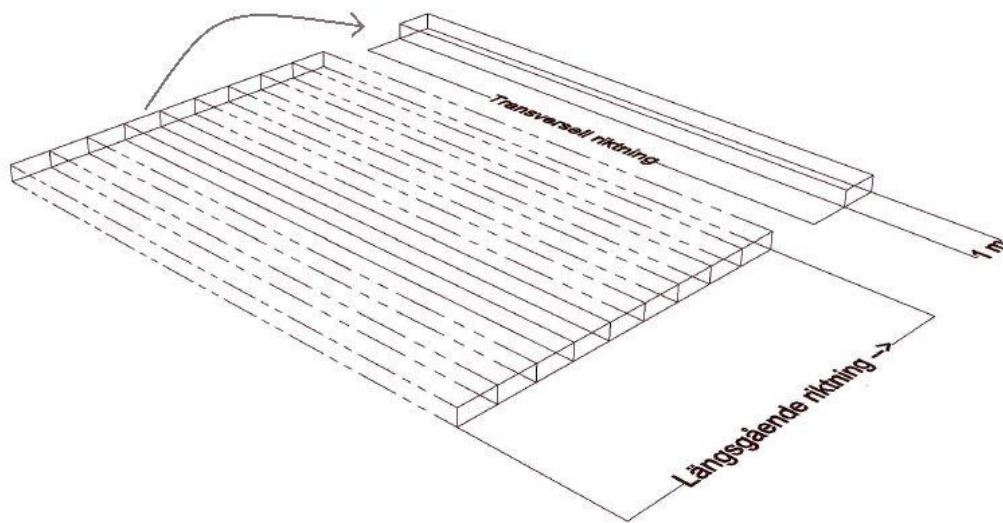
Innehåll

1. Dimensionering av betongfarbarbana, transversell riktning	1
1.2 Brottgränstillstånd.....	1
1.2.1 Dimensionerande geometrier och materialegenskaper	3
1.2.2 Dimensionerande lasteffekter.....	4
1.2.3 Uppskattning av erforderlig armeringsmängd	5
1.2.4 Kontroll av armeringsmängd	6
1.2.5 Val av betongens hållfasthetsklass.....	7
1.2.6 Anordning och inplacering av armering	7
1.2.7 Noggrann analys av tvärsnittet, brottgränstillstånd	9
1.2.8 Momentkapacitet.....	11
1.2.9 Stödsnitt	11
1.2.10 Fältsnitt.....	14
1.2.11 Dimensionering av tvärkraftsarmering, transversell riktning	17
1.2.12 Kontroll av livtryckbrott, utan tvärkraftsarmering.....	17
1.2.13 Kontroll av risk för skjuvglidbrott, utan tvärkraftsarmering	18
1.3 Bruksgränstillstånd	19
1.3.1 Kontroll av tvärsnittsstadium	20
1.3.2 Tvärsnittsanalys av böjsprucket tvärsnitt över stöd.....	22
1.3.3 Kontroll av sprickor.....	29
1.3.4 Tvärsnittsanalys vid böjsprucket tvärsnitt över fält	32
1.3.5Avkortning och förankring av armering	33
1.3.6 Skarvning av armering.....	36

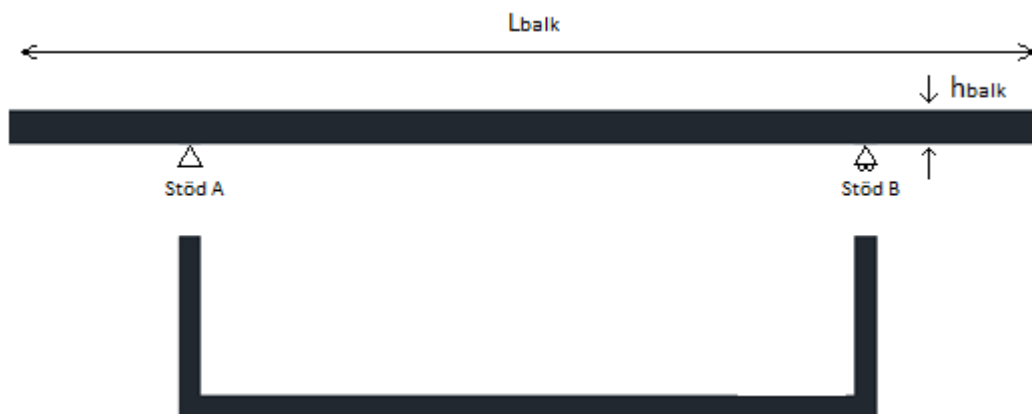
1. Dimensionering av betongfarbarbana, transversell riktning

1.2 Brottgränstillstånd

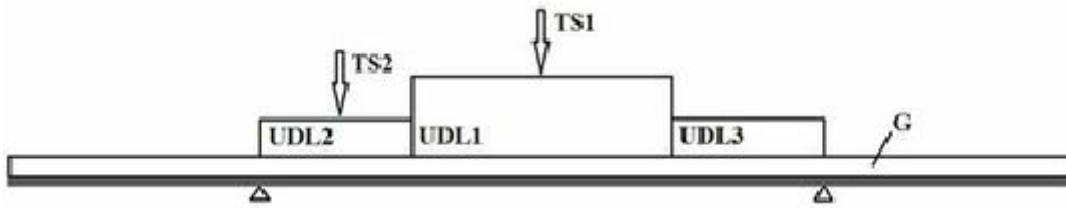
Följande beräkningar utgör en dimensionering av betongfarbarbanan i transversell riktning. Brobaneplattan delas upp i segment med en bredd på en meter och en längd på 13.3 meter. Det utplockade broelementet betraktas som en kontinuerlig balk upplagd på två stöd. Stöden utgörs av lådans liv där dessa ansluter till brobaneplattan.



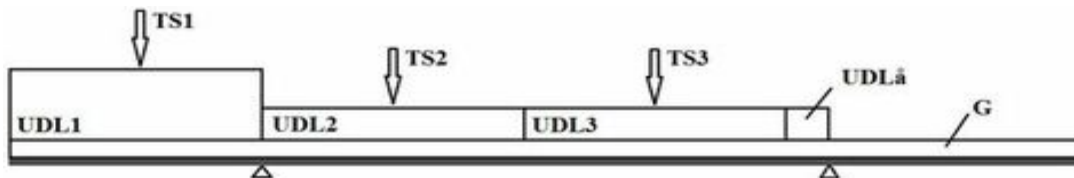
Figur 1. Ett segment plockas fram från brobanan och betraktas som en balk.



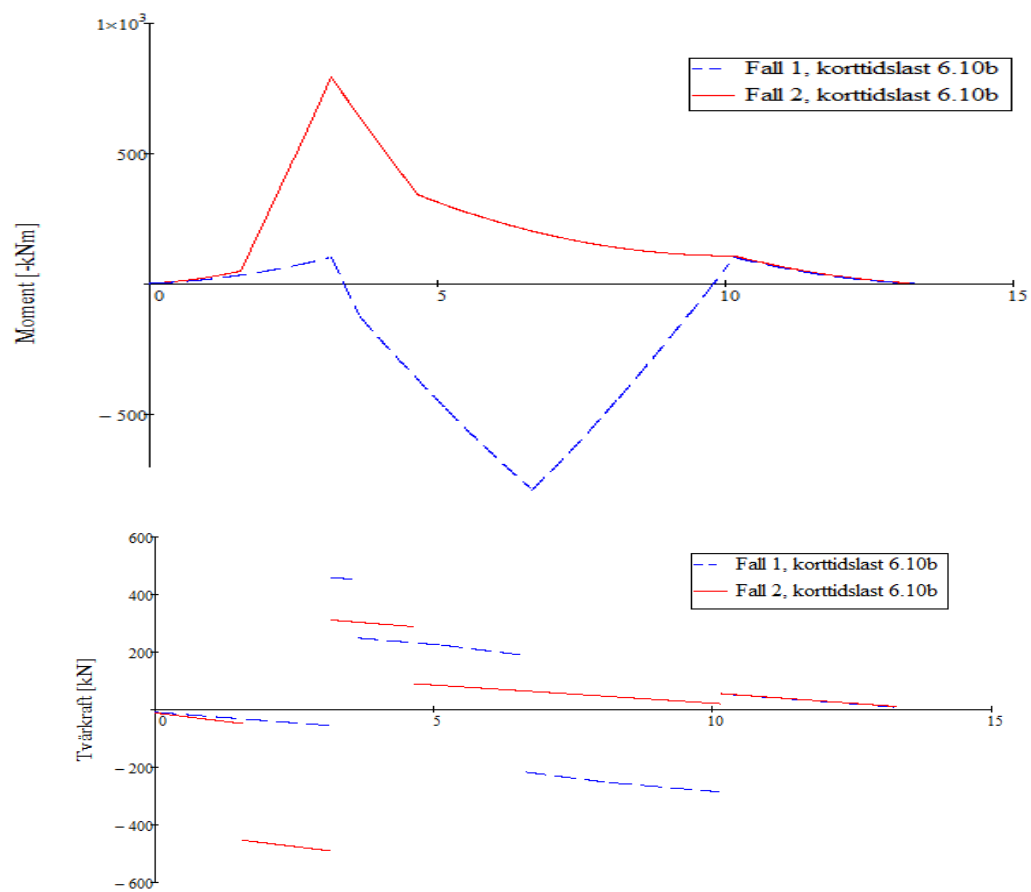
Figur 2. Beräkningsmodell för det utplockade balksegmentet.



Figur 3. Lastfall 1



Figur 4. Lastfall 2



Figur 5. Dimensionerande moment- och tvärkraftdiagram för de båda lastfallen.

1.2.1 Dimensionerande geometrier och materialegenskaper

Geometrisk indata

$h_{balk} := 0.4\text{m}$	Betongplattans höjd ansätts till det här värdet
$b_{balk} := 1\text{m}$	Beräkningarna utförs på en breddmeter
$l_{balk} := 13.3\text{m}$	Längden på balken motsvarar bronns bredd som dessutom har reducerats med 100 mm på vardera sida.
$d := h_{balk} - 0.1\text{m} = 0.3\text{m}$	Antagen effektiv tvärsnittshöjd
$z := 0.9d = 0.27\text{m}$	Approximativt värde på den inre hävarmen

Materialindata

Armering:

$f_{yk} := 500\text{MPa}$	Karakteristisk flytgräns (Kamstänger B500B)
$\gamma_s := 1.1$	Partialkoefficient för armeringsstål
$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783\text{MPa}$	Dimensionerande flytgräns (Kamstänger B500B)
$f_{ywd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783\text{MPa}$	Dimensionerande flytgräns för tvärkraftsarmering.
$E_s := 200\text{GPa}$	Armeringsstålets elasticitetsmodul
$\phi_{huvudarm.} := 0.020\text{m}$	Diameter på huvudarmeringen
$\phi_{bygel} := 0.016\text{m}$	Diameter på byglarna
$A_{si.huvudarm.} := \pi \cdot \frac{\phi_{huvudarm.}^2}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	Armeringsarea för en huvudarmeringsstång
$A_{si.bygel} := \pi \cdot \frac{\phi_{bygel}^2}{4} = 2.011 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	Armeringsarea för en bygel
$n_{grundarm.} := 4$	Antal armeringsstänger som löper genom hela balken

Betong:

$f_{ck} := 60 \text{ MPa}$	Karakteristisk tryckhållfasthet (C 60/75)
$f_{cm} := 68 \text{ MPa}$	Medeltryckhållfasthet (C 60/75)
$f_{ctm} := 4.4 \text{ MPa}$	Medeldraghållfasthet (C 60/75)
$\alpha_{cc} := 1$	Faktor som beaktar hållfasthetsreduktion på grund av långvarig belastning. Nationell parameter.
$\gamma_c := 1.5$	Partialkoefficient för betong
$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 40 \text{ MPa}$	Dimensionerande tryckhållfasthet
$A_c := h_{balk} \cdot b_{balk} = 0.4 \text{ m}^2$	Tvärsnittets bruttoarea (dvs. utan armering)

1.2.2 Dimensionerande lasteffekter

$\text{Maxmoment}_{stöd} := 793 \text{ kNm}$	Dimensionerande lasteffekter tagna från lastframtagningen. Se bilaga 3 sid. 100
$\text{Maxmoment}_{fält} := 789 \text{ kNm}$	

1.2.3 Uppskattning av erforderlig armeringsmängd

Stödsnitt

$$M_{Ed.stöd} := \text{Maxmoment}_{stöd} = 793 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Dimensionerande stödmoment

$$z := 0.9d = 0.27\text{m}$$

Tvärsnittets inre hävarm

$$A_{sstöd} := \frac{M_{Ed.stöd}}{f_{yd} \cdot z} = 6.755 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Erforderlig armeringsmängd vid stöd.
Ekvation (B 4-19)

$$n_{stöd} := \frac{A_{sstöd}}{A_{si.huvudarm.}} = 21.502$$

Erforderligt antal armeringsstänger

Antalet armeringsstänger anpassas iterativt för att få en lämplig tryckzon i kommande tvärsnittsanalys. På grund av minsta fria avstånd mellan armeringsstängerna erfordras två lager, här väljs därför ett jämnt delbart antal stänger för enkel fördelning.

$$\Rightarrow n_{stöd} := 24$$

$$n_{stöd.lager} := \frac{n_{stöd}}{2} = 12$$

Lägger lika många armeringsstänger i vardera lager

Fältsnitt

$$M_{Ed.fält} := \text{Maxmoment}_{fält} = 789 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$A_{sfält} := \frac{M_{Ed.fält}}{f_{yd} \cdot z} = 6.721 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n_{fält} := \frac{A_{sfält}}{A_{si.huvudarm.}} = 21.394$$

Antalet armeringsstänger anpassas iterativt för att få en lämplig tryckzon i kommande tvärsnittsanalys. På grund av minsta fria avstånd mellan armeringsstängerna erfordras två lager, väljer därför ett jämnt delbart antal stänger för enkel fördelning.

$$\Rightarrow n_{fält} := 24$$

$$n_{fält.lager} := \frac{n_{fält}}{2} = 12$$

Lägger lika många armeringsstänger i vardera lager

1.2.4 Kontroll av armeringsmängd

Villkor för armeringsmängd:

$$A_{s,\min} \leq A_s \leq A_{s,\max}$$

Ekvation (B 4-20)

$$A_{s,\min} := \max \left(0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_{balk} \cdot d, 0.0013 b_{balk} \cdot d \right) = 6.864 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Villkor för armeringens
minimivärde
Ekvation (B 4-21)

$$A_{s,\max} := 0.04 A_c = 0.016 \text{ m}^2$$

Övre gräns för armeringsmängden
Ekvation (B 4-22)

Stödsnitt

$$A_{s,\min} \leq A_{s,\text{stöd}} \leq A_{s,\max} = 1$$

1=Sant , 0=Falskt

Fältsnitt

$$A_{s,\min} \leq A_{s,\text{fält}} \leq A_{s,\max} = 1$$

1.2.5 Val av betongens hållfasthetsklass

Betongens hållfasthetsklass har i ett tidigare skede tagits fram utifrån exponeringsklasser, se Bilaga 10.

Hållfasthetsklass: C 60/75

1.2.6 Anordning och inplacering av armering

Täckande betongsskikt med avseende på kloridinträngning

Det täckande betongsskikt som krävs med avseende på kloridinträngning (korrosion) har tagits fram utifrån exponeringsklasser, se Bilaga XX.

$$c_{\min, \text{dur}} := 30 \text{ mm}$$

Täckande betongsskikt med avseende på kloridinträngning.

$$c_{\min, b} := \phi_{\text{huvudarm.}} = 20 \text{ mm}$$

Täckande betongsskikt med avseende på armeringens vidhäftning.

$$c_{\min} := \max(c_{\min, \text{dur}}, c_{\min, b}) = 30 \text{ mm}$$

Erforderligt täckande betongsskikt fås genom att addera en tillåten måttavvikelse till $c_{\min}$.

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

Toleransen. En tillåten måttavvikelse som är en nationell parameter. Rekommenderas till 10 mm.

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

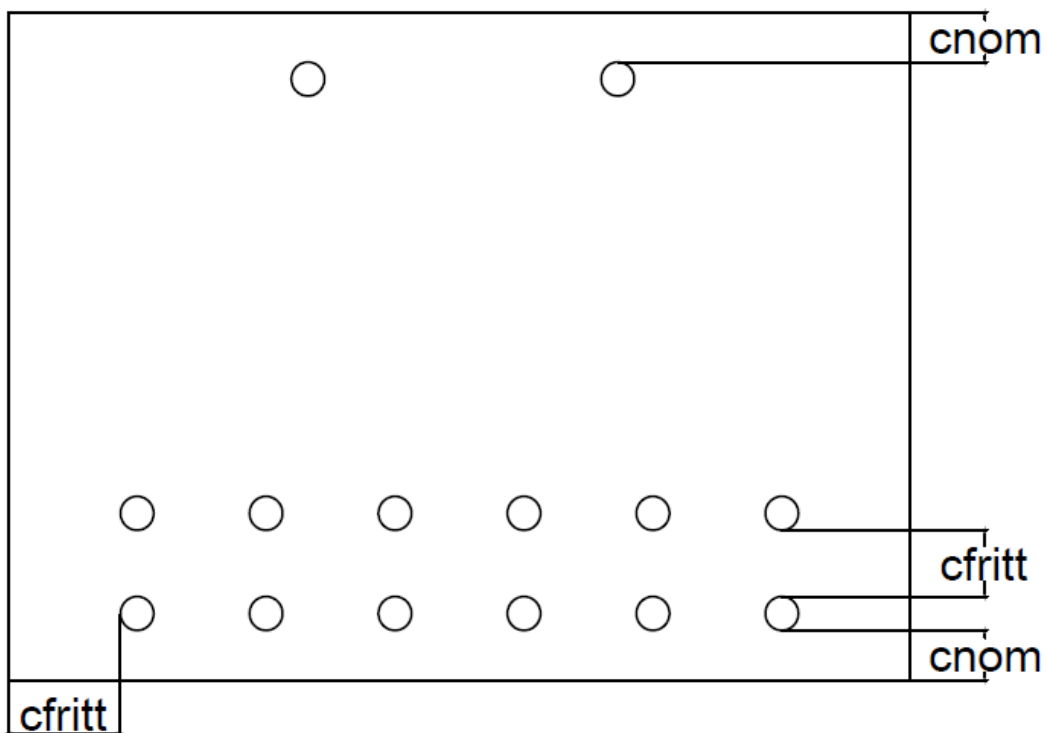
Erforderligt täckande betongsskikt. Ekvation (B 4-24)

Minsta fria avstånd mellan stängerna

$d_g := 16\text{mm}$

Största stenstorlek, hämtad ur betongrecept, se Bilaga XX.

$$c_{\text{frittavst.}} := \max(3 \cdot \phi_{\text{huvudarm.}}, \phi_{\text{huvudarm.}} + 20\text{mm}, d_g + 5\text{mm}) = 60\text{mm}$$



Figur 6. Principskiss av balkens tvärsnitt där ovan beräknade avstånd redovisas.

1.2.7 Noggrann analys av tvärsnittet, brottgränstillstånd

Materialegenskaper för betongen och armeringen:

$$\varepsilon_{cu} := 1.9 \cdot 10^{-3}$$

Brottstukning för högpresterande betong.
Taget från tabell (B 2.4)

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

Dimensionerande flyttöjning för armeringsstålet.
Taget från (B2-29a)

$$\alpha := 0.69$$

Tryckblocksfaktorer. Tagna från Tabell (B 5.1)

$$\beta := 0.37$$

Tvärsnittsgeometrier:

$$d_{\text{stöd1}} := h_{\text{balk}} - \left(c_{\text{nom}} + \phi_{\text{huvudarm.}} + c_{\text{frittavst.}} + \frac{\phi_{\text{huvudarm.}}}{2} \right) = 270 \text{ mm}$$

Effektiv tvärsnittshöjd
över stöd för lager 1

$$d_{\text{stöd2}} := h_{\text{balk}} - \left(c_{\text{nom}} + \frac{\phi_{\text{huvudarm.}}}{2} \right) = 350 \text{ mm}$$

Effektiv tvärsnittshöjd över stöd för
lager 2

$$d'_{\text{stöd}} := c_{\text{nom}} + \frac{\phi_{\text{huvudarm.}}}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$d_{\text{fält1}} := h_{\text{balk}} - \left(c_{\text{nom}} + \phi_{\text{huvudarm.}} + c_{\text{frittavst.}} + \frac{\phi_{\text{huvudarm.}}}{2} \right) = 270 \text{ mm}$$

Effektiv tvärsnittshöjd i
fält för lager 1

$$d_{\text{fält2}} := h_{\text{balk}} - \left(c_{\text{nom}} + \frac{\phi_{\text{huvudarm.}}}{2} \right) = 350 \text{ mm}$$

Effektiv tvärsnittshöjd i fält för
lager 2

$$d'_{\text{fält}} := c_{\text{nom}} + \frac{\phi_{\text{huvudarm.}}}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$A_{s.stöd} := n_{stöd} \cdot A_{si.huvudarm.} = 7.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Dragarmeringsmängd
över stöd

$$A_{s.stödlager1} := n_{stöd.lager} \cdot A_{si.huvudarm.} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Dragarmeringsmängd för respektive
armeringslager

$$A_{s.stödlager2} := n_{stöd.lager} \cdot A_{si.huvudarm.} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A'_{s.stöd} := n_{grundarm.} \cdot A_{si.huvudarm.} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Tryckarmeringsmängd
över stöd

$$A_{s.fält} := n_{fält} \cdot A_{si.huvudarm.} = 7.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s.fältlager1} := n_{fält.lager} \cdot A_{si.huvudarm.} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s.fältlager2} := n_{fält.lager} \cdot A_{si.huvudarm.} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

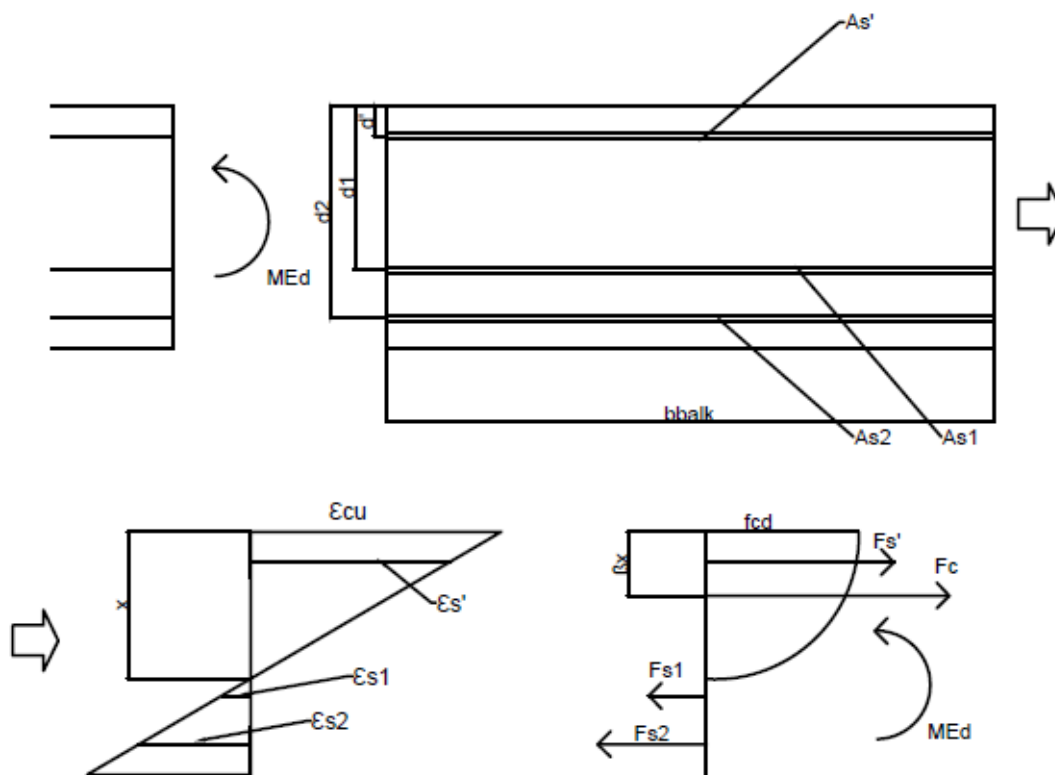
$$A'_{s.fält} := n_{grundarm.} \cdot A_{si.huvudarm.} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

1.2.8 Momentkapacitet

Följande beräkning avser att kontrollera om en tillräcklig momentkapacitet erhålls med den valda mängden armering och dess inläggning.

1.2.9 Stödsnitt

I figuren nedan visas de tvärsnittsdata, töjningar och kraftresultanter som används i tvärsnittsanalysen. För fallet över stöd har tvärsnittets beräkningsmodell roterats 180 grader och redovisas därmed "upp och ner".



Figur 8. Tvärsnittsanalysens beräkningsmodell där töjningar, krafter och geometrisk data redovisas.

Beräkning av tryckzon, $x_{\text{stöd}}$

Antar att armeringen flyter, dvs. $\sigma_s = f_{yd}$

Horisontell jämvikt

$$F_c = F_{s1} + F_{s2} - F'_s$$

$$\Leftrightarrow$$

$$b_{\text{balk}} \cdot x_{\text{stöd}} \cdot f_{cd} \cdot \alpha = f_{yd} \cdot A_{s,\text{stödlager1}} + f_{yd} \cdot A_{s,\text{stödlager2}} - f_{yd} \cdot A'_{s,\text{stöd}}$$

$$\Rightarrow x_{\text{stöd}} := \frac{(f_{yd} \cdot A_{s,\text{stödlager1}} + f_{yd} \cdot A_{s,\text{stödlager2}} - f_{yd} \cdot A'_{s,\text{stöd}})}{b_{\text{balk}} \cdot f_{cd} \cdot \alpha} = 0.098\text{m} \quad \text{Tryckzons höjden}$$

Kontroll av antagande att armeringsstålet flyter, enligt deformationsvillkor (B5-1).

$$\epsilon_{syd} = 2.174 \times 10^{-3} \quad \text{Dimensionerande flyttöjning för armeringsstålet.}$$

$$\epsilon_{s,\text{stöd1}} := \frac{(d_{\text{stöd1}} - x_{\text{stöd}})}{x_{\text{stöd}}} \cdot \epsilon_{cu} = 3.32 \times 10^{-3} \quad \text{Villkor: } \epsilon_{s,\text{stöd1}} \geq \epsilon_{syd} = 1 \quad \text{Armeringen flyter}$$

$$\epsilon_{s,\text{stöd2}} := \frac{(d_{\text{stöd2}} - x_{\text{stöd}})}{x_{\text{stöd}}} \cdot \epsilon_{cu} = 4.867 \times 10^{-3} \quad \text{Villkor: } \epsilon_{s,\text{stöd2}} \geq \epsilon_{syd} = 1 \quad \text{Armeringen flyter}$$

$$\epsilon'_{s,\text{stöd}} := \frac{(x_{\text{stöd}} - d'_{\text{stöd}})}{x_{\text{stöd}}} \cdot \epsilon_{cu} = 9.332 \times 10^{-4} \quad \text{Villkor: } \epsilon'_{s,\text{stöd}} \geq \epsilon_{syd} = 0 \quad \text{Armeringen flyter inte}$$

Antagandet om att all armering flyter är ej korrekt. Tryckarmeringen flyter inte och beräkningen utförs igen med ett nytt antagande för σ_s . Enligt (B5-10).

Sätter $\sigma_s = E_s \cdot \epsilon'_{s.stöd}$ för tryckarmeringens stålspanning

$$x_{stöd} := \frac{(f_{yd} \cdot A_{s.stödlager1} + f_{yd} \cdot A_{s.stödlager2} - f_{yd} \cdot A'_{s.stöd})}{b_{balk} \cdot f_{cd} \cdot \alpha} = 0.098m \quad \text{Tryckzons höjden}$$

$$\epsilon_{s.stöd1} := \frac{(d_{stöd2} - x_{stöd})}{x_{stöd}} \cdot \epsilon_{cu} = 3.32 \times 10^{-3} \quad \text{Villkor: } \epsilon_{s.stöd1} \geq \epsilon_{syd} = 1 \quad \text{Armeringen flyter}$$

$$\epsilon_{s.stöd2} := \frac{(d_{stöd2} - x_{stöd})}{x_{stöd}} \cdot \epsilon_{cu} = 4.867 \times 10^{-3} \quad \text{Villkor: } \epsilon_{s.stöd2} \geq \epsilon_{syd} = 1 \quad \text{Armeringen flyter}$$

$$\epsilon'_{s.stöd} := \frac{(x_{stöd} - d'_{stöd})}{x_{stöd}} \cdot \epsilon_{cu} = 9.332 \times 10^{-4} \quad \text{Villkor: } \epsilon'_{s.stöd} \geq \epsilon_{syd} = 0 \quad \text{Armeringen flyter inte}$$

Momentjämvikt

sätter $M_{Ed.stöd} = M_{Rd.stöd}$ där $M_{Ed.stöd}$ =Lasteffekt och $M_{Rd.stöd}$ =Momentkapacitet

$$M_{Rd.stöd} + F_{s1} \cdot (d_{stöd2} - d_{stöd1}) - F_c \cdot (d_{stöd2} - \beta \cdot x_{stöd}) - F'_s \cdot (d_{stöd2} - d'_{stöd}) = 0$$

$$\Leftrightarrow M_{Rd.stöd} + f_{yd} \cdot A_{s.stödlager1} \cdot (d_{stöd2} - d_{stöd1}) - b_{balk} \cdot x_{stöd} \cdot f_{cd} \cdot \alpha \cdot (d_{stöd2} - \beta \cdot x_{stöd}) - (E_s \cdot \epsilon'_{s.stöd} \cdot A'_{s.stöd}) \cdot (d_{stöd2} - d'_{stöd}) = 0$$

$$\Rightarrow M_{Rd.stöd} := b_{balk} \cdot x_{stöd} \cdot f_{cd} \cdot \alpha \cdot (d_{stöd2} - \beta \cdot x_{stöd}) + (E_s \cdot \epsilon'_{s.stöd} \cdot A'_{s.stöd}) \cdot (d_{stöd2} - d'_{stöd}) - f_{yd} \cdot A_{s.stödlager1} \cdot (d_{stöd2} - d_{stöd1}) = 794.17kN \cdot m$$

Villkor: $M_{Rd.stöd} \geq M_{Ed.stöd} = 1$ Momentkapaciteten över stöd är tillräcklig

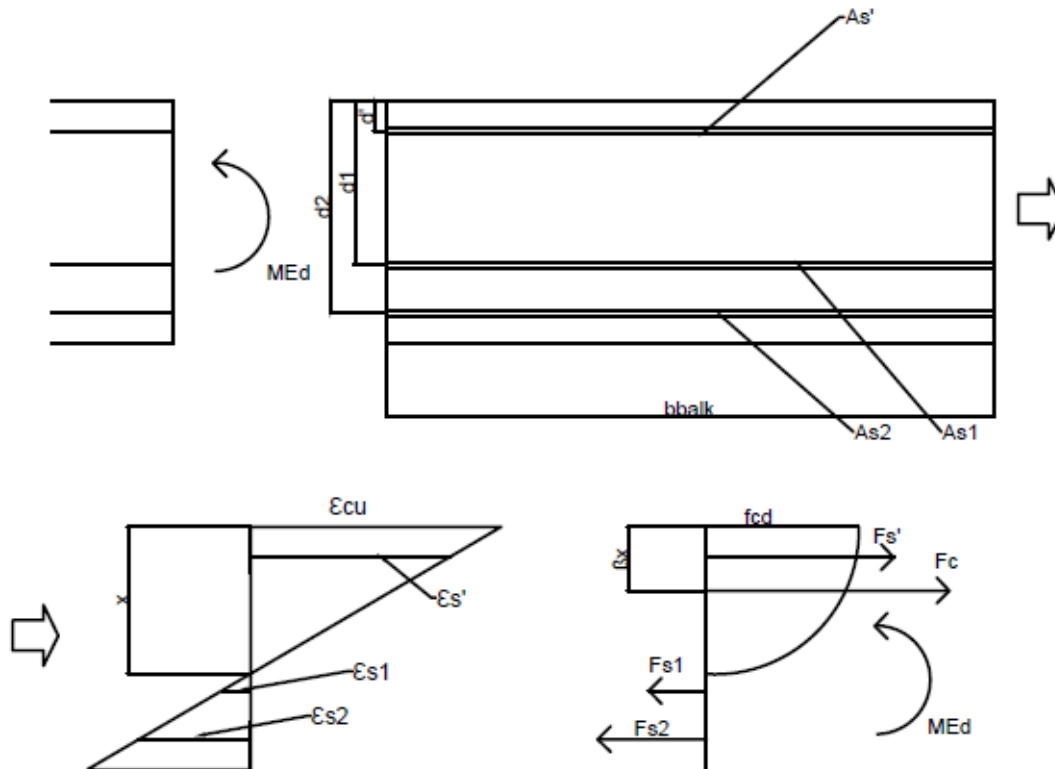
Kontroll av segt verkningsätt

$$d_{stödTP} := \frac{d_{stöd2} + d_{stöd1}}{2} = 0.31m$$

Betongklass C 60/75 $\Rightarrow x_{stöd} \leq 0.35 d_{stödTP} = 1$ OK!

1.2.10 Fältsnitt

I figuren nedan visas de tvärsnittsdata, töjningar och kraftresultanter som används i tvärsnittsanalysen.



Figur 9. Tvärsnittsanalysens beräkningsmodell där töjningar, krafter och geometrisk data redovisas.

Beräkning av tryckzonshöjd, $x_{fält}$

Antar att armeringen flyter, dvs. $\sigma_s = f_{yd}$

Horisontell jämvikt

$$F_C = F_{s1} + F_{s2} - F'_s$$

$$\Leftrightarrow$$

$$b_{balk} \cdot x_{fält} \cdot f_{cd} \cdot \alpha = f_{yd} \cdot A_{s, fältlager1} + f_{yd} \cdot A_{s, fältlager2} - f_{yd} \cdot A'_{s, fält}$$

$$\Rightarrow x_{fält} := \frac{(f_{yd} \cdot A_{s, fältlager1} + f_{yd} \cdot A_{s, fältlager2} - f_{yd} \cdot A'_{s, fält})}{b_{balk} \cdot f_{cd} \cdot \alpha} = 0.098m \quad \text{Tryckzons höjden}$$

Kontroll av antagande att armeringsstålet flyter, enligt deformationsvillkor (B5-1).

$$\epsilon_{syd} = 2.174 \times 10^{-3} \quad \text{Dimensionerande flyttöjning för armeringsstålet.}$$

$$\epsilon_{s, fält1} := \frac{(d_{fält1} - x_{fält})}{x_{fält}} \cdot \epsilon_{cu} = 3.32 \times 10^{-3} \quad \text{Villkor: } \epsilon_{s, fält1} \geq \epsilon_{syd} = 1 \quad \text{Armeringen flyter}$$

$$\epsilon_{s, fält2} := \frac{(d_{fält2} - x_{fält})}{x_{fält}} \cdot \epsilon_{cu} = 4.867 \times 10^{-3} \quad \text{Villkor: } \epsilon_{s, fält2} \geq \epsilon_{syd} = 1 \quad \text{Armeringen flyter}$$

$$\epsilon'_{s, fält} := \frac{(x_{fält} - d'_{fält})}{x_{fält}} \cdot \epsilon_{cu} = 9.332 \times 10^{-4} \quad \text{Villkor: } \epsilon'_{s, fält} \geq \epsilon_{syd} = 0 \quad \text{Armeringen flyter inte}$$

Antagandet om att all armering flyter är ej korrekt. Tryckarmeringen flyter inte och beräkningen utförs igen med ett nytt antagande för σ_s . Enligt (B5-10).

Sätter $\sigma_s = E_s \cdot \epsilon'_{s, \text{fält}}$ för tryckarmeringens stålspänning

$$x_{\text{fält}} := \frac{(f_{yd} \cdot A_{s, \text{fältlager1}} + f_{yd} \cdot A_{s, \text{fältlager2}} - f_{yd} \cdot A'_{s, \text{fält}})}{b_{\text{balk}} \cdot f_{cd} \cdot \alpha} = 0.098 \text{m} \quad \text{Tryckzons höjden}$$

$$\epsilon_{s, \text{fält1}} := \frac{(d_{\text{fält2}} - x_{\text{fält}})}{x_{\text{fält}}} \cdot \epsilon_{cu} = 3.32 \times 10^{-3} \quad \text{Villkor: } \epsilon_{s, \text{fält1}} \geq \epsilon_{syd} = 1 \quad \text{Armeringen flyter}$$

$$\epsilon_{s, \text{fält2}} := \frac{(d_{\text{fält2}} - x_{\text{fält}})}{x_{\text{fält}}} \cdot \epsilon_{cu} = 4.867 \times 10^{-3} \quad \text{Villkor: } \epsilon_{s, \text{fält2}} \geq \epsilon_{syd} = 1 \quad \text{Armeringen flyter}$$

$$\epsilon'_{s, \text{fält}} := \frac{(x_{\text{fält}} - d'_{\text{fält}})}{x_{\text{fält}}} \cdot \epsilon_{cu} = 9.332 \times 10^{-4} \quad \text{Villkor: } \epsilon'_{s, \text{fält}} \geq \epsilon_{syd} = 0 \quad \text{Armeringen flyter inte}$$

Momentjämvikt

sätter $M_{Ed, \text{fält}} = M_{Rd, \text{fält}}$ där $M_{Ed, \text{fält}} = \text{Lasteffekt}$ och $M_{Rd, \text{fält}} = \text{Momentkapacitet}$

$$M_{Rd, \text{fält}} + F_{s1} \cdot (d_{\text{fält2}} - d_{\text{fält1}}) - F_c \cdot (d_{\text{fält2}} - \beta \cdot x_{\text{fält}}) - F'_s \cdot (d_{\text{fält2}} - d'_{\text{fält}}) = 0$$

$$\Leftrightarrow M_{Rd, \text{fält}} + f_{yd} \cdot A_{s, \text{fältlager1}} \cdot (d_{\text{fält2}} - d_{\text{fält1}}) - b_{\text{balk}} \cdot x_{\text{fält}} \cdot f_{cd} \cdot \alpha \cdot (d_{\text{fält2}} - \beta \cdot x_{\text{fält}}) - (E_s \cdot \epsilon'_{s, \text{fält}} \cdot A'_{s, \text{fält}}) \cdot (d_{\text{fält2}} - d'_{\text{fält}}) = 0$$

$$\Rightarrow M_{Rd, \text{fält}} := b_{\text{balk}} \cdot x_{\text{fält}} \cdot f_{cd} \cdot \alpha \cdot (d_{\text{fält2}} - \beta \cdot x_{\text{fält}}) + (E_s \cdot \epsilon'_{s, \text{fält}} \cdot A'_{s, \text{fält}}) \cdot (d_{\text{fält2}} - d'_{\text{fält}}) - f_{yd} \cdot A_{s, \text{fältlager1}} \cdot (d_{\text{fält2}} - d_{\text{fält1}}) = 794.17 \text{kN} \cdot \text{m}$$

Villkor: $M_{Rd, \text{fält}} \geq M_{Ed, \text{fält}} = 1$ Momentkapaciteten över stöd är tillräcklig

Kontroll av segt verkningsätt

$$d_{\text{fältTP}} := \frac{d_{\text{fält1}} + d_{\text{fält2}}}{2} = 0.31 \text{m}$$

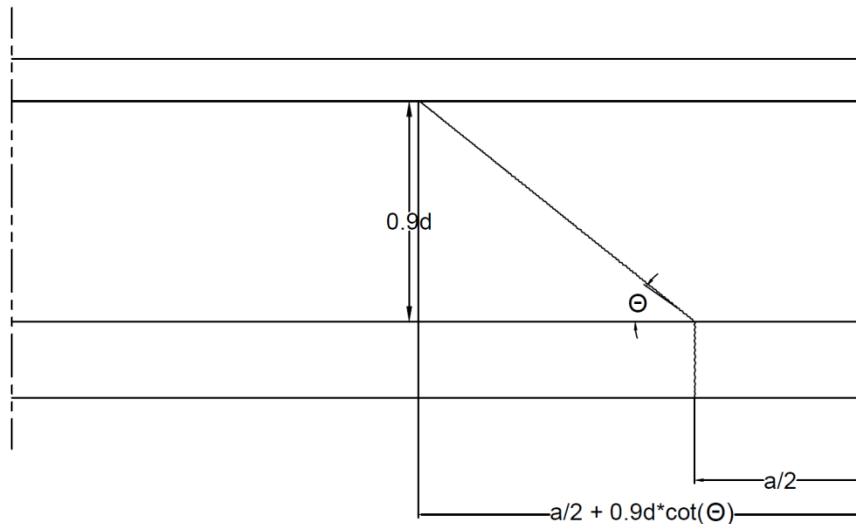
Betongklass C 60/75 $\Rightarrow x_{\text{fält}} \leq 0.35 d_{\text{fältTP}} = 1$ Ok!

1.2.11 Dimensionering av tvärkraftsarmering, transversell riktning

Följande beräkningar avser att kontrollera risken för livtryckbrott och skjuvglidbrott i det fall där ingen tvärkraftsarmering är inlagd i transversell riktning.

1.2.12 Kontroll av livtryckbrott, utan tvärkraftsarmering

Dimensionerande tvärkraft för kontroll av livtryckbrott fås vid ena stödet.



Figur 10. Dimensionerande snitt för tvärkraftsberäkningar

$$V_{Ed,max} := 490.5 \text{ kN}$$

Taget från lastframtagningen. Se bilaga 3, fig. 102

Enligt Eurocode 2 ska följande uttryck vara uppfyllt med hänsyn till risken för livtryckbrott.

$$V_{Ed,max} \leq 0.5 v \cdot f_{cd} \cdot b_{balk} \cdot d_{stödTF}$$

Ekvation (B 6-11)

där:

$$v := 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) = 0.456$$

$$f_{cd} = 40 \text{ MPa}$$

vilket ger:

$$V_{Ed,max} \leq 0.5 v \cdot f_{cd} \cdot b_{balk} \cdot d_{stödTP} = 1$$

Risk för livtryckbrott förefaller inte.

1.2.13 Kontroll av risk för skjuvglidbrott, utan tvärkraftsarmering

$$V_{Ed,max,skjuv} := 471 \text{ kN}$$

Tvärkraften i ett dimensionerande snitt på avståndet $a/2 + 0.9d \cdot \cot(\theta)$ från stödmitt

Risken för skjuvglidbrott kontrolleras enligt Eurocode 2 med följande villkor.

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \rho_l \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_{balk} \cdot d_{stödTP} \quad \text{Ekvation (B 6-14)}$$

$$\text{dock minst } v_{min} \cdot b_{balk} \cdot d_{stödTP}$$

där:

$$\gamma_c = 1.5 \quad \Rightarrow \quad C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12 \quad \text{Nationell parameter}$$

$$k := \min \left(1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d_{stödTP}}}, 2.0 \right) = 1.803 \quad \text{Parameter med krav}$$

$$v_{min} := 0.035 k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot (\text{MPa})^{\frac{1}{2}} = 0.656 \text{ MPa}$$

$$A_{sl} := A_{s,stöd} = 7.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad \rho_l := \min \left(\frac{A_{sl}}{b_{balk} \cdot d_{stödTP}}, 0.02 \right) = 0.02 \quad \text{Parameter med krav}$$

Vilket ger:

$$V_{Rd,c} := \max \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \rho_l \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (\text{MPa})^{\frac{2}{3}} \cdot b_{balk} \cdot d_{stödTP}, v_{min} \cdot b_{balk} \cdot d_{stödTP} \right] = 330.866 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ ska jämföras med lasteffekten $V_{Ed,max,skjuv}$ för att avgöra om tvärkraftsarmering erfordras

Villkor:

$$V_{Ed,max,skjuv} \leq V_{Rd,c} = 0$$

Villkoret är inte uppfyllt vilket innebär att tvärkraftsarmering behövs i plattans transversella riktning. Dimensionering av tvärkraftsarmering kommer dock inte utföras med motivering enligt rapportdel "Analys av tvärsnittet i brottgräns".

1.3 Bruksgränstillstånd

För att kontrollera plattans respons i brukgränstillstånd utförs kontroller av uppsprickning, sprickavstånd, sprickbredd och nedböjning.

Geometrisk indata

$h_{\text{balk}} := 0.4\text{r}$	Betongplattans höjd ansätts till det här värdet
$b_{\text{balk}} := 1\text{r}$	Beräkningarna utförs på en breddmeter
$d_{\text{stöd}} := 0.35\text{r}$	Antagen effektiv tvärsnittshöjd över stöd
$z_{\text{stöd}} := 0.9d_{\text{stöd}} = 0.315\text{m}$	Approximativt värde på den inre hävarmen över stöd
$d_{\text{fält}} := 0.35\text{r}$	
$z_{\text{fält}} := 0.9d_{\text{fält}} = 0.315\text{m}$	
$I_{\text{balk}} := \frac{b_{\text{balk}} \cdot h_{\text{balk}}^3}{12} = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$	Balkens yttröghetsmoment
$A_{\text{s.stöd}} := 7.54 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	Total armeringsmängd över stöd
$A_{\text{s.stöd1}} := \frac{A_{\text{s.stöd}}}{2} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	Dragarmeringsmängd för respektive armeringslager över stöd
$A_{\text{s.stöd2}} := \frac{A_{\text{s.stöd}}}{2} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	
$A'_{\text{s.stöd}} := 1.257 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	Tryckarmeringsmängd över stöd

Dimensionerande korttidsmoment

$$M_{\text{Edstöd kort}} := 793 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Edfält kort}} := 789 \text{ kNm}$$

Dimensionerande långtidsmoment

$$M_{\text{Edstöd lång}} := 86 \text{ kNm}$$

1.3.1 Kontroll av tvärsnittsstadium

För att avgöra om balken spricker upp beräknas ett kritiskt böjmoment, M_{cr} , som jämförs med den lastpåkänning som balken utsätts för. Resultatet visar i vilket Stadium balken befinner sig i och därmed också vilken beräkningsmodell som ska tillämpas.

$$f_{ctm} := 4.4 \text{ MPa}$$

Betongens böjdraghållfasthet
för C 60/75 enligt Tabell B2.2

Plattan antas vara utsatt för ren böjning vilket medför följande villkor för om uppsprickning sker.

Sprickspänningen

$$\sigma_c \leq f_{ct,fl}$$

Enligt villkor (B3-22)

$$f_{ct,fl} = k \cdot f_{ctm}$$

Betongens böjdraghållfasthet

Där:

$$\left(k = 1.6 - \frac{h_{balk}}{1000} \right) \geq 1$$

Där h_{balk} är i [mm]

Vid beräkning av det kritiska sprickmomentet används Naviers formel där σ_{cr} sätts till betongens böjdraghållfasthet, dvs. $\sigma_{cr} = f_{ct,fl}$. Därefter kan sprickmomentet jämföras mot lastpåkänningen, $M_{Ed,max}$, för korttidsfallet.

Naviers formel

$$M_{crstöd} = \frac{\sigma_c \cdot I_{balk}}{z}$$

Sprickmomentet över stöd

$$k := 1,6 - \frac{h_{\text{balk}} \cdot 10^3}{1000\text{m}}$$

$$\text{Villkor: } k \geq 1 = 1 \quad \text{Ok}$$

$$f_{\text{ct,fl}} := k \cdot f_{\text{ctm}} = 5,28 \text{MPa}$$

$$\sigma_c := f_{\text{ct,fl}}$$

$$M_{\text{crstöd}} := \frac{\sigma_c \cdot I_{\text{balk}}}{z_{\text{stöd}}} = 89,397 \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{crstöd}} \geq M_{\text{Edstöd kort}} = 0$$

Balken spricker upp över stöd

Sprickmomentet i fält

$$M_{\text{crfält}} := \frac{\sigma_c \cdot I_{\text{balk}}}{z_{\text{fält}}} = 89,397 \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{crfält}} \geq M_{\text{Edfält kort}} = 0$$

Balken spricker upp i fält

Sprickmomentet är vid både stöd och i fält mindre än de dimensionerande momenten i respektive område. Plattan spricker därmed upp och fortsatta beräkningar sker med en beräkningsmodell som utgår ifrån ett böjsprucket betongtvärsnitt i Stadium II.

1.3.2 Tvärsnittsanalys av böjsprucket tvärsnitt över stöd

Tvärsnittsanalysen utförs för långtidsrespons. Det innebär att inverkan av betongens krympning och krypning kommer beaktas.

Dimensionerande långtidsmoment:

$$M_{Ed\text{stöd lång}} := 86 \text{ kNm}$$

Krympning

För att beakta betongens krympningsverkan beräknas en krympkraft. Den kommer verka på stålspänningen i armeringen och därmed också påverka sprickbredden i ett senare skede. Krympkraftens storlek påverkas i stort av ett slutligt krympmått, ϵ_{cs} , vilket beräknas nedan.

Slutligt krympmått tas enligt Eurocode 2 fram med ekvation (B 2-17)

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

Där:

$$\epsilon_{cd} = k_h \cdot \beta_{RH} \epsilon_{cdi} \quad \text{Slutligt värde på uttorkningskrympning enligt (B 2-18)}$$

k_h är en faktor som interpoleras fram utifrån h_0 . h_0 beror i sin tur på tvärsnittets bruttoarea samt den omkrets av tvärsnittet som utsätts för uttorkning. Då plattan i överkant skyddas av vägbeläggningen kommer ingen uttorkning ske i den riktningen. Enda möjliga uttorkningsriktning är nedåt, men för att lägga in en extra säkerhet i beräkningarna antas att tvärsnittet kan torka ut i alla riktningar.

$$A_c := b_{\text{balk}} \cdot h_{\text{balk}} = 0.4 \text{ m}^2 \quad \text{Tvärsnittets bruttoarea (dvs. utan armering)}$$

$$u := 2.8 \text{ r} \quad \text{Omkrets för den del av tvärsnittet som kan torka ut}$$

$$h_0 := \frac{2 \cdot A_c}{u} = 0.286 \text{ m} \quad ==>$$

$$k_h := 0.75 + \left(\frac{300 \text{ mm} - h_0}{300 \text{ mm} - 200 \text{ mm}} \right) \cdot (0.85 - 0.75) = 0.764 \quad \text{Enligt Tabell B 2.7}$$

$$\beta_{RH} := 0.75 \quad \text{Faktor som beaktar omgivningens relativa fuktighet. Enligt Tabell B 2.6}$$

$$\epsilon_{cdi} := 0.248 \cdot 10^{-3} \quad \text{Faktor som beaktar hållfasthetsklass och cementtyp. Enligt Tabell B2.5}$$

Vilket ger:

$$\varepsilon_{cd} := k_h \cdot \beta_{RH} \varepsilon_{cdi} = 1.433 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{ca} := 0.12510^{-3}$$

Slutligt värde på autogen krympning. Enligt Tabell 2.8

Det slutliga krympmåttet blir därmed:

$$\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 2.683 \times 10^{-4}$$

Krympkraften

$$F_{cs} = E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot A_{s.stöd}$$

Där:

$$E_s := 210 \text{ GPa}$$

Stålets elasticitetsmodul

$$A_{s.stöd} := 7.5410^{-3} \text{ m}^2$$

Area dragarmering

$$A_{s.stöd1} := \frac{A_{s.stöd}}{2} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Area dragarmering lager 1

$$A_{s.stöd2} := \frac{A_{s.stöd}}{2} = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Area dragarmering lager 2

$$A'_{s.stöd} := 1.25710^{-3} \text{ m}^2$$

Area tryckarmering

Krympkraften i armeringsstålet på respektive nivå blir därmed:

$$F_{cs1} := E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot (A_{s.stöd1}) = 212.409 \text{ kN}$$

Krympkraften i det första armeringslagret

$$F_{cs2} := E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot (A_{s.stöd2}) = 212.409 \text{ kN}$$

Krympkraften i det andra armeringslagret

$$F'_{cs} := E_s \cdot \varepsilon_{cs} \cdot A'_{s.stöd} = 70.822 \text{ kN}$$

Krympkraften i det tryckta armeringslagret

Krypning

Betongens krypning beaktas med ett beräknat kryptal, φ_{slut} , som används för att ta fram en skalfaktor α_{ef} . Den här skalfaktorn används vid framtagandet av tvärsnittskonstanter i tvärsnittsanalysen.

Slutligt kryptal kan enligt Eurocode 2 beräknas som:

$$\varphi_{\text{slut}} = \varphi_{\text{RH}} \beta_{\text{fcm}} \beta_{\text{t0}} \quad \text{Ekvation (B 2-23)}$$

Faktorn φ_{RH} beaktar inverkan av relativ fuktighet enligt:

$$\text{RH} := 80 \quad \text{Relativ fuktighet Enligt Tabell B 2.6}$$

$$f_{\text{cm}} := 68 \text{ MPa} \quad \text{Betongens medeltryckhållfasthet}$$

$$\varphi_{\text{RH}} := \left[1 + \frac{1 - \frac{\text{RH}}{100}}{0.1 \sqrt{\frac{h_0}{\text{m}}}} \cdot \left(\frac{35}{\frac{f_{\text{cm}}}{\text{MPa}}} \right)^{0.7} \right] \cdot \left(\frac{35}{\frac{f_{\text{cm}}}{\text{MPa}}} \right)^{0.2} = 2.546 \quad \text{För } f_{\text{cm}} > 35 \text{ MPa}$$

$$\beta_{\text{fcm}} := 2.0 \quad \text{Faktor som beaktar betongens hållfasthetsklass Enligt Tabell B 2.9}$$

$$\beta_{\text{t0}} := 0.4 \quad \text{Faktor som beaktar betongens ålder vid pålastning (28dagar) Enligt Fig. B 2.20}$$

$$\varphi_{\text{slut}} := \varphi_{\text{RH}} \beta_{\text{fcm}} \beta_{\text{t0}} = 2.493$$

$$E_{\text{cm}} := 39 \text{ GPa} \quad \text{Medelvärde för betongens elasticitetsmodul}$$

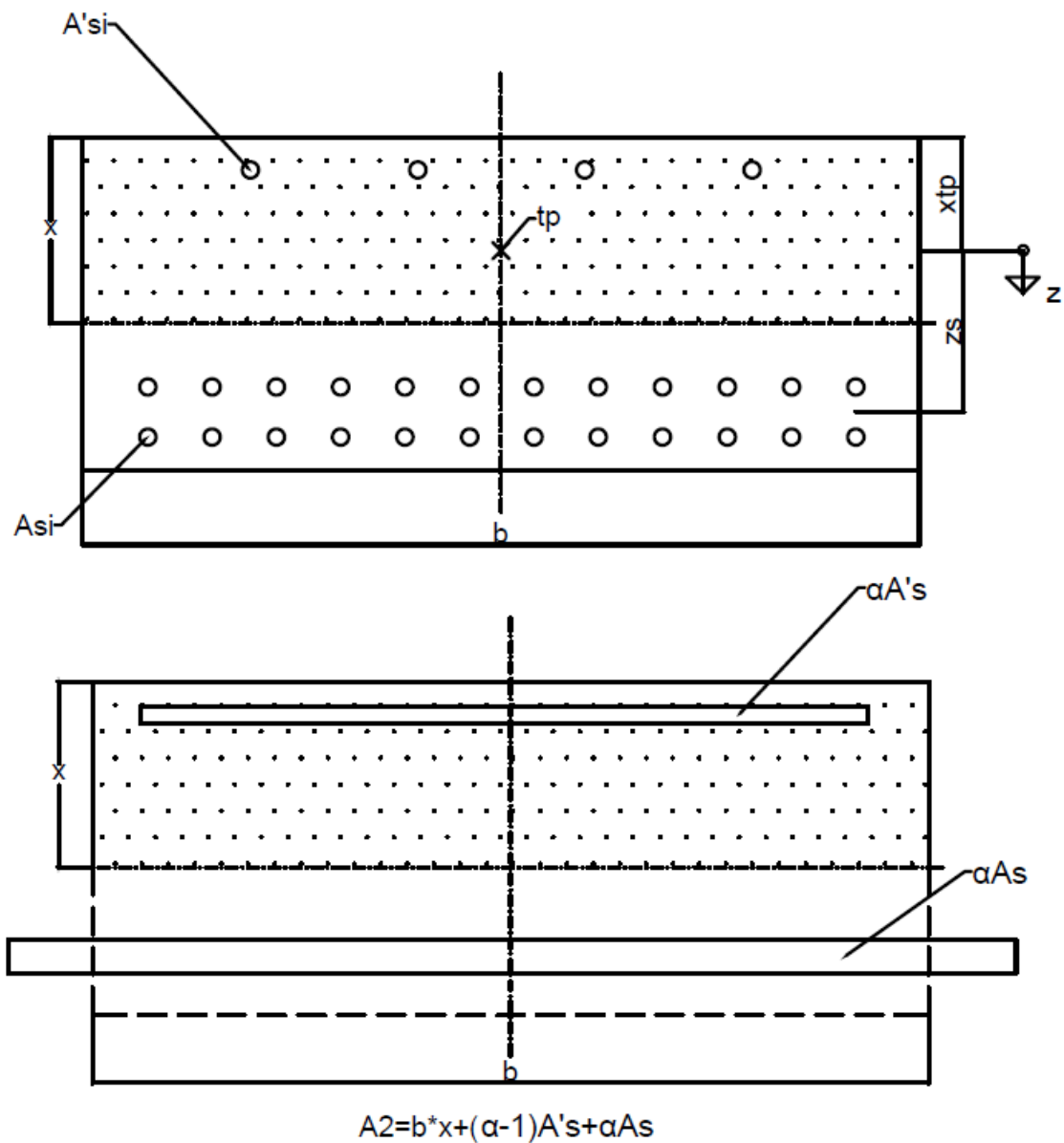
$$E_{\text{s}} = 210 \text{ GPa} \quad \text{Stålets elasticitetsmodul}$$

Det slutliga kryptalet blir därmed:

$$\alpha_{\text{ef}} := \frac{E_{\text{s}}}{E_{\text{cm}}} (1 + \varphi_{\text{slut}}) = 18.808$$

Tvärsnittsanalys med ekvivalent betongtvärsnitt

För ett böjsprucket tvärsnitt försummas betongens inverkan på hållfastheten i den dragna delen. Beräkningarna underlättas dessutom ytterligare om armeringsarean kan göras om till en ekvivalent betongarea. Det här är möjligt med skalfaktorn α som beräknades på föregående sida.



Figur 11. Överst i bilden visas ett böjsprucket tvärsnitt. Den undre bilden visar samma tvärsnitt där armeringens area gjorts om till ekvivalenta betongareor.

En noggrann analys genomförs på tvärsnittet. Då långtidseffekter beaktas kommer en förskjutning uppstå mellan det neutrala lagret och tvärsnittets tyngdpunkt vilket innebär att analysen får ett iterativt förfarande.

Tryckzonshöjden tas fram enligt avsnitt B 7.3.3.

Ett startvärde på x antas till en början. Värdet justeras sedan tills det att rätt tryckzonshöjd erhållits. Det x -värde som visas nedan är det slutliga värdet på x , dvs. efter iterationsprocessen.

$$x := 0.0521r$$

Tvärsnittskonstanter:

$$d'_{\text{stöd}} := 50\text{mm}$$

$$d_{\text{stöd1}} := 270\text{mm}$$

$$d_{\text{stöd2}} := 350\text{mm}$$

$$A_{\text{cc}} := b_{\text{balk}} \cdot x$$

Tvärsnittets ekvivalenta area:

$$A_{\text{II}} := A_{\text{cc}} + (\alpha_{\text{ef}} - 1) \cdot A'_{\text{s.stöd}} + \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{\text{s.stöd1}} + \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{\text{s.stöd2}}$$

Tvärsnittets tyngdpunkt:

$$x_{\text{tp}} := \frac{b_{\text{balk}} \cdot \frac{x^2}{2} + (\alpha_{\text{ef}} - 1) \cdot A'_{\text{s.stöd}} \cdot d'_{\text{stöd}} + \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{\text{s.stöd1}} \cdot d_{\text{stöd1}} + \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{\text{s.stöd2}} \cdot d_{\text{stöd2}}}{A_{\text{II}}} = 0.215\text{m}$$

Yttröghetsmoment för det ekvivalenta tvärsnittet:

$$I_{\text{II}} := \frac{b_{\text{balk}} \cdot x^3}{12} + b_{\text{balk}} \cdot x \left(\frac{x}{2} - x_{\text{tp}} \right)^2 + (\alpha_{\text{ef}} - 1) A'_{\text{s.stöd}} (x_{\text{tp}} - d'_{\text{stöd}})^2 + \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{\text{s.stöd1}} (d_{\text{stöd1}} - x_{\text{tp}})^2 + \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{\text{s.stöd2}} (d_{\text{stöd2}} - x_{\text{tp}})^2 \dots = 3.988 \times 10^{-3} \text{m}^4$$

Krympkrafternas excentricitet tas fram

(avståndet från respektive armeringslager till tvärsnittets tyngdpunkt)

$$e_{\text{s1}} := x_{\text{tp}} - d_{\text{stöd1}} = -0.055\text{m}$$

$$e_{\text{s2}} := x_{\text{tp}} - d_{\text{stöd2}} = -0.135\text{m}$$

$$e'_{\text{s}} := x_{\text{tp}} - d'_{\text{stöd}} = 0.165\text{m}$$

Med Naviers formel beräknas en fiktiv betongspänning i det neutrala lagret, sigma. Tryckzonshöjden justeras till spänningen här är nära noll. Då en tillräckligt liten felnorm har uppnåtts har rätt tryckzonshöjd erhållits.

$$z := x - x_{tp} = -0.163\text{m}$$

$$\sigma_{ce} := \frac{F_{cs1} + F_{cs2} + F'_{cs}}{A_{II}} + \frac{F_{cs1} \cdot e_{s1} + F_{cs2} \cdot e_{s2} + F'_{cs} \cdot e'_s + M_{Edstöd lång}}{I_{II}} \cdot z = -0.04\text{MPa}$$

Stålspänning i tryckt och dragen armering. Enligt (B 7-71):

$$\sigma'_s = \frac{-F'_{cs}}{A'_{s.stöd}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_c (d'_{stöd} - x_{tp}) \quad \sigma_{s1} = \frac{-F_{cs1}}{A_{s.stöd}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_c (d_{stöd1} - x_{tp})$$

$$\sigma_{s2} = \frac{-F_{cs2}}{A_{s.stöd}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_c (d_{stöd2} - x_{tp})$$

Vilket ger:

$$\sigma'_s := \frac{-F'_{cs}}{A'_{s.stöd}} \dots = -57.656\text{MPa}$$

$$+ \alpha_{ef} \cdot \left[\frac{F_{cs1} + F_{cs2} + F'_{cs}}{A_{II}} \dots + \frac{F_{cs1} \cdot e_{s1} + F_{cs2} \cdot e_{s2} + F'_{cs} \cdot e'_s + M_{Edstöd lång}}{I_{II}} \cdot (d'_{stöd} - x_{tp}) \right]$$

$$\sigma_{s1} := \frac{-F_{cs1}}{A_{s.stöd1}} \dots = 1.669\text{MPa}$$

$$+ \alpha_{ef} \cdot \left[\frac{F_{cs1} + F_{cs2} + F'_{cs}}{A_{II}} \dots + \frac{F_{cs1} \cdot e_{s1} + F_{cs2} \cdot e_{s2} + F'_{cs} \cdot e'_s + M_{Edstöd lång}}{I_{II}} \cdot (d_{stöd1} - x_{tp}) \right]$$

$$\sigma_{s2} := \frac{-F_{cs2}}{A_{s.stöd}} \dots = 51.413\text{MPa}$$

$$+ \alpha_{ef} \cdot \left[\frac{F_{cs1} + F_{cs2} + F'_{cs}}{A_{II}} \dots + \frac{F_{cs1} \cdot e_{s1} + F_{cs2} \cdot e_{s2} + F'_{cs} \cdot e'_s + M_{Edstöd lång}}{I_{II}} \cdot (d_{stöd2} - x_{tp}) \right]$$

De beräknade stålspänningarna jämförs med stålets karakteristiska flytspänning. Om armeringsstålet flyter innebär det att tvärsnittet befinner sig i Stadium III och beräkningarna måste utföras i brottgränstillstånd.

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

$$\sigma_{s1} \leq f_{yk} = 1$$

$$\sigma_{s2} \leq f_{yk} = 1$$

$$\sigma'_s \leq f_{yk} = 1$$

Armeringsstålet flyter inte vilket innebär att beräkningsmodellen är tillämplig

1.3.3 Kontroll av sprickor

Beräkning av sprickavstånd

Enligt Eurocode 2 kontrolleras sprickavståndet med ekvation (B 9-11)

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{huvudarm}}{\rho_{p,ef}}$$

Där:

$k_3 := 3.4$ Nationell parameter

$c_{aa} := 40\text{mm}$ Täcksikt för längsgående armering

$k_1 := 0.8$ Faktor som beaktar armeringens ytegenskaper

$k_2 := 0.5$ Faktor som beaktar inverkan av böjningsgradienten

$k_4 := 0.42$ Nationell parameter

$\phi_{huvudarm} := 20\text{mm}$ Huvudarmeringens diameter

$$\rho_{ef} = \frac{A_{s,stöd}}{A_{ef}}$$

Där:

$A_{s,stöd} = 7.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ Arean av den dragna armeringen.

$$A_{ef} = b_{balk} \cdot h_{c,ef}$$

$h_{c,ef}$ är höjden på effektiv betongarea

$$d_{stödTP} := \frac{d_{stöd1} + d_{stöd2}}{2} = 0.31\text{m}$$

$$h_{c,ef} := \min \left[2.5(h_{balk} - d_{stöd}), \frac{h_{balk} - x}{3}, \frac{h_{balk}}{2} \right] = 0.116\text{m}$$

Vilket ger:

$$A_{ef} := b_{balk} \cdot h_{c,ef} = 0.116m^2$$

$$\rho_{p,ef} := \frac{A_{s,stöd}}{A_{ef}} = 0.065$$

$$s_{r,max} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{huvudarm}}{\rho_{p,ef}} = 0.188m$$

För att medverkande betongarea ska kunna uppskattas enligt figur B 9-17 får inte armeringen vara för glest placerad, det här kontrolleras med hjälp av uttryck B (9-14).

$$\phi_{cc} := 1 \frac{m}{22} = 0.045m$$

$$s_{r,max} := \begin{cases} s_{r,max} & \text{if } \phi_{cc} < 5 \left(c + \frac{\phi_{huvudarm}}{2} \right) \\ 1.3(h_{balk} - x) & \text{otherwise} \end{cases} = 0.188m$$

Beräkning av sprickbredd

Enligt Eurocode 2 beräknas sprickbredden med ekvation (B 9-18):

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

Där:

$$s_{r,max} = 0.188m$$

Karakteristiskt sprickavstånd

ε_{sm} är stålets medeltöjning inklusive effekter från påtvingad deformation

ε_{cm} är betongens medeltöjning mellan sprickor

Töjningsdifferansen tas fram enligt (B 9-19)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,ef}} \cdot (1 + \alpha \rho_{p,ef})}{E_s} \quad \text{dock minst} \quad 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Där:

$$\sigma_s := \sigma_{s1} + \sigma_{s2} = 53.082 \text{ MPa}$$

Dragarmeringens stålspanning i det yttersta armeringslagret.

$$k_t := 0.4$$

Faktor som beaktar lastens varaktighet (långtidslast)

$$\alpha := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.385$$

Förhållande mellan stålets och betongens elasticitetsmoduler

$$\rho_{p,ef} = 0.065$$

Förhållande mellan dragen armeringsarea och den medverkande betongarean.

$$f_{ctm} = 4.4 \text{ MPa}$$

Betongens draghållfasthet

$$\Delta \varepsilon := \max \left[\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,ef}} \cdot (1 + \alpha \rho_{p,ef})}{E_s}, 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s} \right] = 1.517 \times 10^{-4}$$

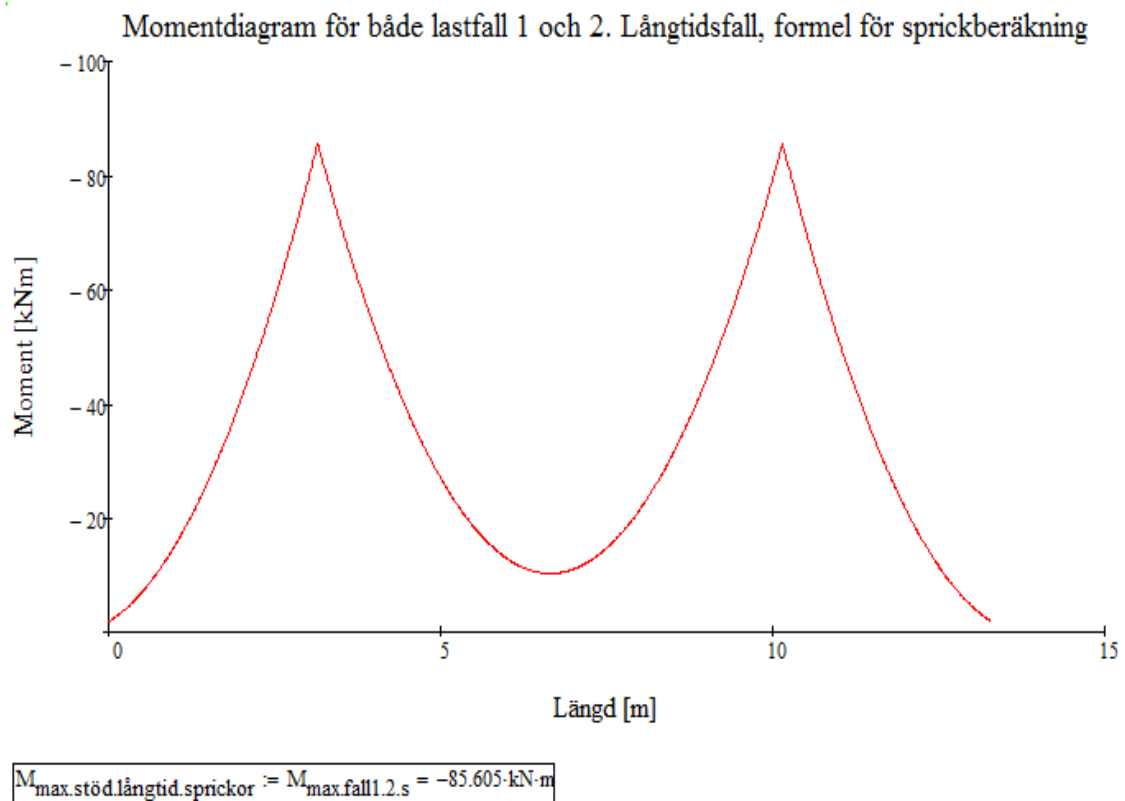
Vilket ger:

$$w_k := s_{r,max} \Delta \varepsilon = 0.029 \text{ mm}$$

Sprickorna uppträder över stöd och därmed på plattans dragna ovansida. Här kommer vägbeläggningen fungera som ett skyddslager vilket medför att en någon större sprickbredd kan tillåtas än vad som annars anses acceptabelt.

1.3.4 Tvärsnittsanalys vid böjsprucket tvärsnitt över fält

Vid sprickberäkningar beaktas enbart egenvikten. Momentdiagrammet nedan är taget från lastframtagningen och visar hur det dimensionerande fälttvärsnittet blir draget i överkant.



Figur 12. Momentdiagram för långtidsfall. Lastfall 1 och 2.

De sprickor som slår ut i fält kommer av kortidslaster och uppstår i plattans då dragna undersida. Då plattan i långtidsfallet får en tryckt undersida kommer sprickorna kunna sluta sig och därmed förvärras de inte ytterligare.

Risk för sprickbildning i plattans övre del föreligger inte då $M_{cr} = 89.4 \text{ kNm}$

1.3.5 Avkortning och förankring av armering

Vidhäftningshållfasthet

Enligt Eurocode 2 beräknas dimensionerande vidhäftningshållfasthet med ekvation (B 10-37)

$$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

Där:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c}$$

Betongens dimensionerande draghållfasthet.
Ekvation (B 2-10)

$$f_{ctk0.05} := 3.2 \text{ MPa}$$

Draghållfasthetens undre karakteristiska värde.
Tabell B 2.2.

$$\alpha_{ct} := 1$$

Nationell parameter enligt (B 2-10)

$$\gamma_c := 1.5$$

Partialkoefficient för betong

Vilket ger f_{ctd} :

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c} = 2.133 \text{ MPa}$$

$$\eta_{1\text{stöd}} := 0.7$$

Faktor som beaktar vidhäftningsförhållandena.
Ekvation (B 10-37)

$$\eta_{1\text{fält}} := 1$$

$$\eta_2 := 1$$

Faktor som beaktar armeringsstångens diameter

Vilket ger f_{bd} :

$$f_{bd\text{stöd}} := 2.25 \eta_{1\text{stöd}} \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3.36 \text{ MPa}$$

$$f_{bd\text{fält}} := 2.25 \eta_{1\text{fält}} \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 4.8 \text{ MPa}$$

Krafttillväxt per stång

Vid avkortning av armering och beräkning av förankringslängder uttrycks förankringskapaciteten som möjlig förankrad kraft per längdenhet enligt ekvation (B 10-39).

$$S_{bd} = \frac{\pi \cdot \phi \cdot f_{bd}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5}$$

Där:

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

Armeringsstängernas diameter

$\alpha_1 - \alpha_5$ är faktorer som beaktar olika gynnsamma effekter inom förankringszonen, för att utföra beräkningarna på säker sida bortses helt från eventuell gynnsam inverkan och alla faktorer sätts därmed till 1.

Vilket ger:

$$S_{bdfält} := \frac{\pi \cdot \phi \cdot f_{bdfält}}{1} = 301.593 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$S_{bdstöd} := \frac{\pi \cdot \phi \cdot f_{bdstöd}}{1} = 211.115 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Förankringskapaciteter och förankringslängder

Följande förankringskapaciteter och förankringslängder är beräknade som stöd för ett förankringsdiagram. Diagrammet har ritats för hand på ett A3 millimeterpapper och redovisas på följande sida.

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

Area för en armeringsstång

$$f_{yd} := 434.7 \text{ MPa}$$

Armeringens flytspänning

$$F_{sy4} := 4 A_{si} \cdot f_{yd} = 546.31 \text{ kN}$$

Förankringskapacitet för 4 armeringsstänger

$$F_{sy12} := 12 A_{si} \cdot f_{yd} = 1.639 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Förankringskapacitet för 12 armeringsstänger

$$F_{sy24} := 24 A_{si} \cdot f_{yd} = 3.278 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Förankringskapacitet för 24 armeringsstänger

$$\frac{F_{sy12} - F_{sy4}}{8 \cdot S_{bdfält}} = 0.453 \text{ m}$$

Erforderlig sträcka för att fullt förankra 8 stänger i fält

$$\frac{F_{sy24} - F_{sy12}}{12 \cdot S_{bdfält}} = 0.453 \text{ m}$$

Erforderlig sträcka för att fullt förankra 12 stänger i fält

$$\frac{F_{sy12} - F_{sy4}}{8 \cdot S_{bdstöd}} = 0.647 \text{ m}$$

Erforderlig sträcka för att fullt förankra 8 stänger över stöd

$$\frac{F_{sy24} - F_{sy12}}{12 \cdot S_{bdstöd}} = 0.647 \text{ m}$$

Erforderlig sträcka för att fullt förankra 12 stänger över stöd

1.3.6 Skarvning av armering

Armeringsstänger levereras i en mängd olika standardlängder varav de längsta är på 12 meter. De armeringsstänger som utgör minimiarmering i plattan och därmed löper längs hela plattans transversella längd måste därför skarvas.

Den vanligaste typen av skarvningsmetoder kallas omlottskarvning och det är också en som kommer användas för att beräkna erforderlig skarvlängd i plattan.

Enligt Eurocode 2 beräknas erforderlig skarvlängd med ekvation (B 10-45)

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{brqd}$$

dock minst

$$l_{0,min} = \max(0.3 \alpha_6 l_{brqd}, 15\phi, 200\text{mm})$$

Där:

$\alpha_1 := 1$ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_5$ är faktorer som beaktar gynnsamma inverkningszoner enligt Tabell B10.3

$\alpha_2 := 1$

$\alpha_5 := 1$ α_5 får sättas till ett då den inte har något värde vid tryckarmering

$\alpha_3 := 1$ Faktor som beaktar gynnsam inverkan av tvärarmering
Enligt Tabell B10.3

$\alpha_4 := 0.7$

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{\rho_1}{0.25}} \quad 1 < \alpha_6 < 1.5$$

$\rho_1 := 1$ Andelen av den totala armeringen som är skarvad inom avståndet $0.65l_0$ åt varje håll från skarvens centrum

$$\alpha_6 := \sqrt{\frac{\rho_1}{0.25}} = 2 \quad ==> \quad \alpha_6 := 1.5$$

$l_{b.rqd}$ får samma värde som l_b då alla faktorer för S_b har satts till ett (se beräkning för Krafttillväxt)

$$l_{b.fält} := 0.453r$$

$$l_{b.stöd} := 0.647r$$

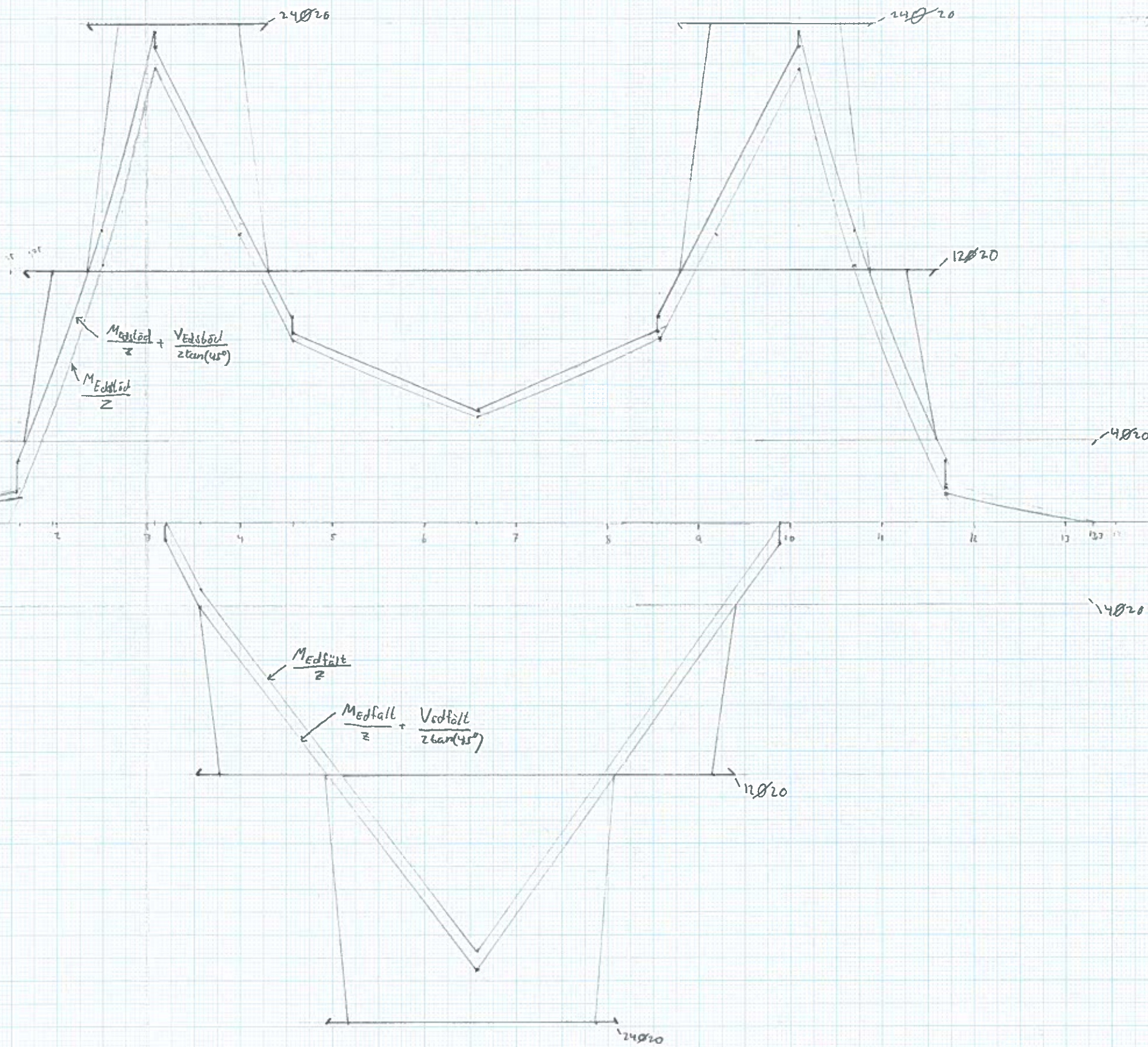
Vilket ger:

$$l_{0.fält} := \max(\alpha_4 \alpha_G l_{b.fält}, 0.3 \alpha_G l_{b.fält}, 15\phi, 200\text{mm}) = 0.476\text{m}$$

$$l_{0.stöd} := \max(\alpha_4 \alpha_G l_{b.stöd}, 0.3 \alpha_G l_{b.stöd}, 15\phi, 200\text{mm}) = 0.679\text{m}$$

I Eurocode 2 anges vissa begränsningar när det gäller skarvarnas utformning

- Skarvar ska normalt vara förskjutna i förhållande till varandra (det vill säga alla stänger bör inte skarvas i samma snitt)
- Skarvar ska undvikas i tvärsnitt med stora moment, till exempel inom områden som kan bli flytleder.
- Skarvar bör anordnas symmetriskt i tvärsnittet.
- Minimikrav på detaljutformning och tvärarmering ska vara uppfyllda.
- För tryckta stänger eller sekundär armering gäller att alla stänger får skarvas i samma snitt.



Bilaga 7

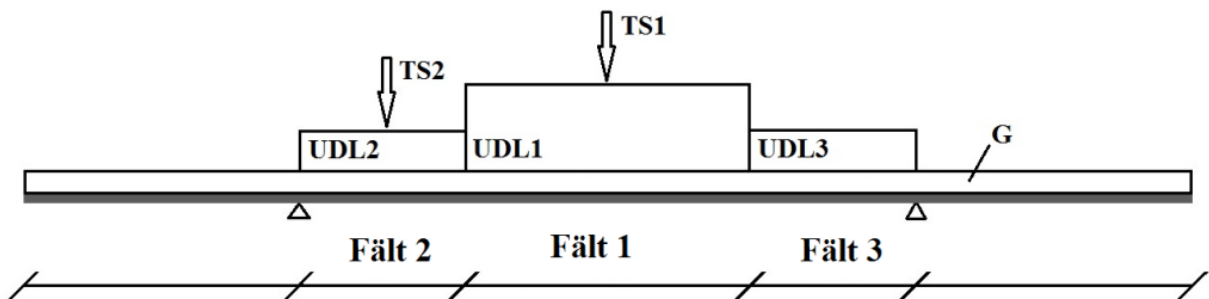
Beräkningar för nedböjning

Beräkningsmodell för nedböjning i CALFEM

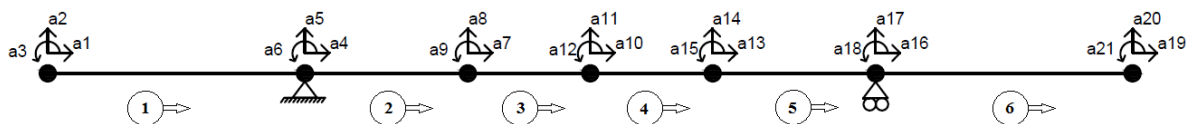
För beräkning av nedböjningen på plattan används MatLab med programpaketet CALFEM vilket bygger på strukturmekanik. Det vill säga att flera mindre element kopplas samman till ett större system och med hjälp av beräkningsmetoder som bygger på elementens styvhet ge förskjutningar, upplagskrafter och snittkrafter i hela systemet.

Lastfall 1

Det första lastfallet har en utbreddlast, UDL1, en punktlast, TS1, och egenvikten av balken, G, resterande krafter är noll. Efter som det egentligen handlar om en platta och punktlasten därför sprider sig räknas den om till moment som läggs på i stöden. Balken delas upp i mindre element för att få en struktur av balkar som användas för att beräkna förskjutningar.



För att få ett fungerande system beskrivs balken i sex element och sju noder, där det blir en ny nod vid varje förändring av förutsättningar, till exempel ny last. Varje nod har tre frihetsgrader som motsvarar förskjutning, x- och y-led, och rotation, θ . Varje balk består av en startnod och en slutnod, till exempel element två går från 4, 5 och 6 till 7, 8 och 9.



Nästa steg i beräkningen är att i Matlab definiera koordinater för varje nod och koppla samman elementen med frihetsgraderna. Detta görs med hjälp av en topologimatrix, Edof i Matlab. Första kolonnen motsvarar elementen och de resterande kolonnerna är dess frihetsgrader i start respektive slutnod.

$$Edof = \begin{bmatrix} & x & y & \theta & x & y & \theta \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 3 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 \\ 4 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 \\ 5 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 \\ 6 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 \end{bmatrix}$$

För att kunna lösa systemet undersöks varje element separat och följande ekvation används:

$$K^e a^e = f^e$$

$$f^e = f_l^e + f_b^e$$

Där:

K^e är elementets styvhetsmatris.

a^e är elementets frihetsgrader.

f_l^e är statiskt ekvivalenta resultanter till den utbredda lasten i elementets noder.

f_b^e är nodkrafter, det vill säga de normalkrafter som verkar på elementets båda sidor.

Dessa tas sedan fram med hjälp av kommandon i CALFEM och aktuella laster används på korresponderande element. När elementstyvhetsmatriser tagits fram för alla sex element används topologimatrizen för att assemblera alla K^e i en styvhetsmatris, K , för hela systemet. Sedan ska följande ekvation lösas:

$$Ka = f$$

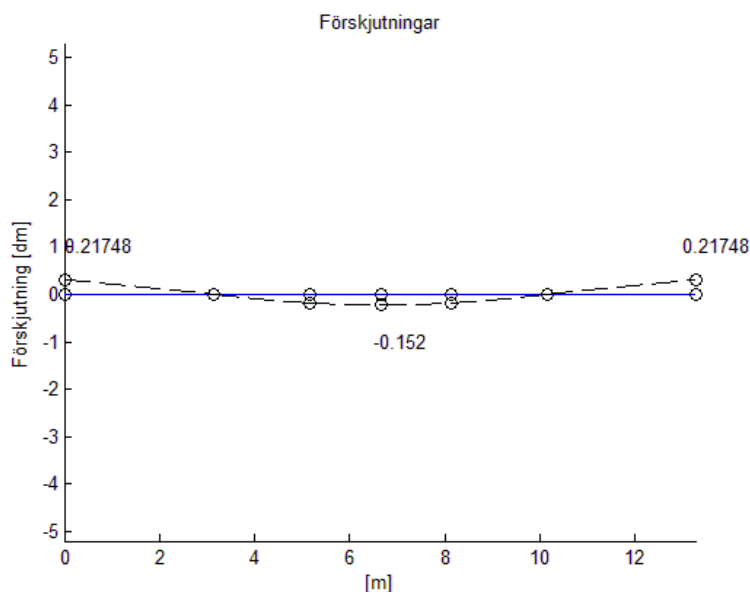
För att kunna lösa den krävs det att randvillkor definieras, detta görs genom att skapa en vektor där alla frihetsgrader som inte kommer kunna förskjutas sätt till noll. Det vill säga:

$$bc=[4 \ 0; 5 \ 0; 17 \ 0]$$

Sedan löses ekvationen med hjälp och Matlab, vilket ger alla förskjutningar och upplagskrafter i systemet i form av vektorerna a och f .

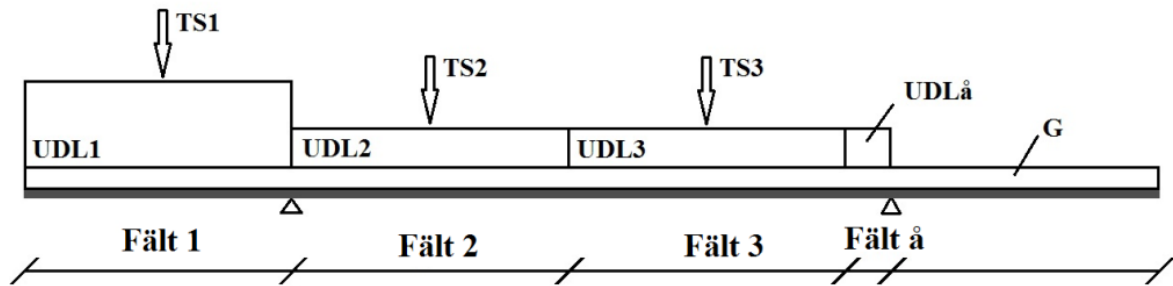
Resultat lastfall 1:

För Matlab-kod och utförliga beräkningar se Bilaga XX

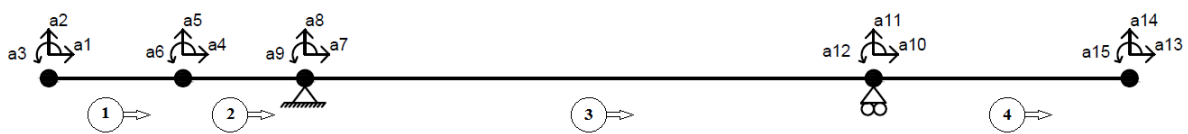


Lastfall 2

Det andra lastfallet har en utbredd last, UDL1, en punktlast, TS1, och egenvikten av balken, G, resterande krafter är noll.

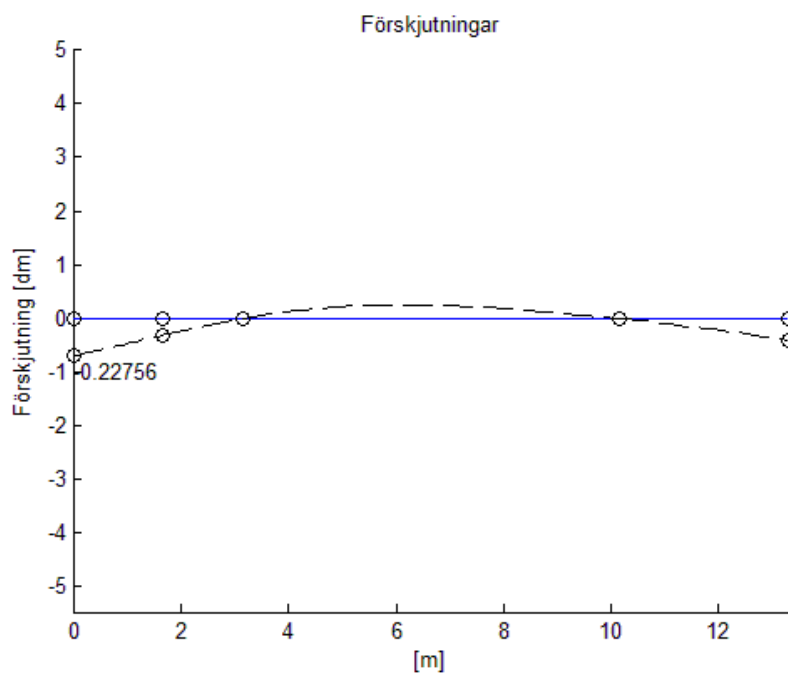


Den delas upp i fyra mindre element och fem noder, beräkningar av förskjutningar sker analogt med lastfall 1.



Resultat lastfall 2:

För Matlab-kod och utförliga beräkningar se bilaga XX



Matlabkod

Nedan följer matlabkoden som användes för att beräkna nedböjningen av plattan.

Nedböjning i fält

```
%Indata
```

```
E=1.117e10;           % Ekvivalent E-modul för sprucken betong
A2=0.332;             % Ekvivalent area för sprucket tvärsnitt
I2=4.944e-3;          % Ekvivalent yttröghetsmoment för sprucket tvärsnitt
L1=3.15;              % Längd element 1
L2=2;                 % Längd element 2
L3=1.5;               % Längd element 3
L4=1.5;               % Längd element 4
L5=2;                 % Längd element 5
L6=3.15;              % Längd element 6
q1=6.3e3;             % Utbredd last
G=10.947e3;           % Egentyngd
Ts1=270e3;            % Punktlast
```

```
% Fördelar ut punktlasten med en spridning på 45 grader och gör om den till ett moment i stödet.
```

```
Ms1=((L2+L3)*Ts1)/(L2*2+L3*2+1.2);
```

```
% Skapar vektorer med elementegenskaper
```

```
ep=[E A2 I2];
```

```
% Skapar lastvektorer för de utbreddalasterna
```

```
eq1=[0 -G];           % Lastvektor för egenvikten
```

```
eq2=[0 -(q1+G)];      % Lastvektor för egenvikten och den utbredda lasten UDL1
```

```
K=zeros(21,21);       % Skapar nollmatris för balkensstyvheter
```

```
f=zeros(21,1);        % Skapar nollvektor för lasterna i systemet
```

```
% Placerar ut punktlastens motsvarande moment i korrekt frihetsgrad
```

```
f(6)=-Ms1;
```

```
% Placerar ut punktlastens motsvarande moment i korrekt frihetsgrad
```

```
f(18)=+Ms1;
```

```
% Nodernas koordinater
```

```
Coord=[0 0
```

```
    L1 0
```

```
    L2+L1 0
```

```
    L3+L2+L1 0
```

```
    L4+L3+L2+L1 0
```

```
    L5+L4+L3+L2+L1 0
```

```
    L6+L5+L4+L3+L2+L1 0];
```

```
% Frihetsgrader i varje nod
```



```
Dof=[1 2 3
      4 5 6
      7 8 9
      10 11 12
      13 14 15
      16 17 18
      19 20 21];
```

% Topologimatrix där elementen beskrivs med korresponderande noder

```
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];
```

% Extraherar koordinatvektorer för systemet

```
[Ex,Ey]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2);
```

% Skapar for-loopar som tar fram elementstyvhetmatriser för varje element,
% för att sedan assemblerar dem i en styvhetsmatrix för hela systemet.

```
for i=1:2
```

```
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq1);
```

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

```
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq1);
```

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

```
end
```

```
for i=3:4
```

```
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq2);
```

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

```
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq2);
```

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

```
end
```

```
for i=5:6
```

```
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq1);
```

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

```
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq1);
```

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

```
end
```

% Definerar randvillkor, frihetsgrader som inte får någon förskjutning sätts till 0.

```
bc=[4 0;5 0 ;17 0];
```

```
% Löser ekvationssystemet och får en förskjutningsvektor, a, och en reaktions krafter i upplagen, r.
```

```
[a,r]=solveq(K,f,bc);
```

```
% Extraherar förskjutningarna till en matris, Ed.
```

```
Ed=extract(Edof,a);
```

```
% Plottar förskjutningarna
```

```
figure(1)
```

```
eldraw2(Ex,Ey,[1 3 1]);
```

```
eldraw2(Ex,Ey,[1 2 1]);
```

```
[sfac]=scalfact2(Ex,Ey,Ed,0.1);
```

```
eldisp2(Ex,Ey,Ed,[2 1 1],sfac);
```

```
eldisp2(Ex,Ey,Ed,[2 1 1],sfac);
```

```
Freqtext1=num2str(a(2)*10);
```

```
text(0,1,Freqtext1);
```

```
Freqtext2=num2str(a(11)*10);
```

```
text(6.5,-1,Freqtext2);
```

```
Freqtext3=num2str(a(20)*10);
```

```
text(13,1,Freqtext3);
```

```
ylabel('Förskjutning [dm]');
```

```
xlabel(' [m]');
```

```
title('Förskjutningar');
```

```
title('Förskjutningar');
```

Nedböjning över stöd

```
% Indata
I1=(0.4^3)/12;           % Yttröghetsmoment
E=1.117e10;              % Ekvivalent E-modul för sprucken betong
A2=0.332;                % Ekvivalent area för sprucket tvärsnitt
I2=4.944e-3;             % Ekvivalent yttröghetsmoment för sprucket tvärsnitt
L1=1.65;                 % Längd element 1
L2=1.5;                  % Längd element 2
L3=7;                    % Längd element 3
L4=3.15;                 % Längd element 4
q1=6.3e3;                % Utbredd last
G=10.947e3;              % Egentyngd
Ts1=270e3;               % Punktlast
```

% Fördelar ut punktlasten med en spridning på 45 grader och gör om den till ett moment i stödet.

```
Ms1=(L2*Ts1)/(L2*2+1.2);
```

% Skapar vektorer med elementegenskaper

```
ep1=[E1 A1 I1];
ep=[E A2 I2];
```

% Skapar lastvektorer för de utbreddalasterna

```
eq1=[0 -G];              % Lastvektor för egenvikten
eq2=[0 -(q1+G)];         % Lastvektor för egenvikten och den utbredda lasten UDL1
K=zeros(15,15);          % Skapar nollmatris för balkensstyvheter
f=zeros(15,1);           % Skapar nollvektor för lasterna i systemet
```

% Placerar ut punktlastens motvarande moment i korrekt frihetsgrad

```
f(9)=Ms1;
```

% Nodernas koordinater

```
Coord=[0 0
        L1 0
        L2+L1 0
        L3+L2+L1 0
        L4+L3+L2+L1 0];
```

```
% Frihetsgrader i varje nod
```

```
Dof=[1 2 3  
      4 5 6  
      7 8 9  
     10 11 12  
     13 14 15];
```

```
% Topologimatrix där elementen beskrivs med korresponderande noder
```

```
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];
```

```
% Extraherar koordinatvektorer för systemet
```

```
[Ex,Ey]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,2);
```

```
% Skapar for-loopar som tar fram elementstyvhetmatriser för varje element,  
% för att sedan assemblerar dem i en styvhetsmatrix för hela systemet.
```

```
for i=1:2  
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq2);  
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);  
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq2);  
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);  
end  
for i=3:4  
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq1);  
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);  
    [Ke,fe]=beam2e(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,eq1);  
    [K,f]=assem(Edof(i,:),K,Ke,f,fe);  
end
```

```
% Definerar randvillkor, frihetsgrader som inte får någon förskjutning sätts till 0.  
bc=[7 0;8 0;11 0];
```

```
% Löser ekvationssystemet och får en förskjutningsvektor, a, och en reaktionskrafter i upplagen, r.
```

```
[a,r]=solveq(K,f,bc);
```

```
% Extraherar förskjutningarna till en matrix, Ed.
```

```
Ed=extract(Edof,a);
```

```
% Plottar förskjutningarna
```

```
figure(1)
eldraw2(Ex,Ey,[1 3 1]);
eldraw2(Ex,Ey,[1 2 1]);
[sfac]=scalfact2(Ex,Ey,Ed,0.1);
eldisp2(Ex,Ey,Ed,[2 1 1],sfac);
Freqtext=num2str(a(2)*10);
text(0,-1,Freqtext);
ylabel('Förskjutning [dm]');
xlabel('[m]');
title('Förskjutningar');
```

Bilaga 8

– Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Variabelförteckning – Lastframtagning längsled

Versala latinska tecken

$A_{\text{hål}}$	lådans invändiga tvärsnittsarea
A_{kantbalk}	kantabalkens tvärsnittsarea
$A_{\text{låda}}$	lådans totala tvärsnittsarea, inklusive hålets area
$A_{\text{tvärsnitt}}$	arean för hela betongtvärsnittet
$A_{\text{vägbana}}$	broplattans tvärsnittsarea som kan utnyttjas till att ta laster
$M_{1,\text{fall } i,j,k,a}$	momentfunktionen för snittet $0 \leq x \leq l.\text{bro}/2$, för fallet i.j.k.a, där i – lastfall, j – lastfält, k – lastvaraktighet (0- kort, 1- lång), a – beräkningsformel 6.10a resp. 6.10 b
$M_{2,\text{fall } i,j,k,a}$	momentfunktionen för snittet $l.\text{bro}/2 \leq x \leq l.\text{bro}$, för fallet i.j.k.a, där i – lastfall, j – lastfält, k – lastvaraktighet (0 – kort, 1- lång), a – beräkningsformel 6.10a resp. 6.10 b
Q_{egenvikt}	uppskattning av egenvikten för bron, inklusive beläggning och räcken
$Q_{\text{fall } i,j,k,a}$	sammanvägning av punktlaster för fallet i.j.k.a, där i – lastfall, j – lastfält, k – lastvaraktighet (0 – kort, 1- lång), a – beräkningsformel 6.10a resp. 6.10 b
$q_{\text{fall } i,j,k,a}$	sammanvägning av jämnt utbredd last för fallet i.j.k.a, där i – lastfall, j – lastfält, k – lastvaraktighet (0 – kort, 1- lång), a – beräkningsformel 6.10a resp. 6.10 b
Q_{ik}	axellast för lastfält i
$Q_{k,\text{fall } i}$	karaktéristisk punktlast för fall i

$R_{A,\text{fall } i,j,k,a}$	stödreaktion vid A för fallet i.j.k.a, där i – lastfall, j – lastfält, k – lastvaraktighet (0 – kort, 1- lång), a – beräkningsformel 6.10a resp. 6.10 b
$R_{A,\text{punkt},i}$	stödreaktion vid A pga punktlast, lastfall i
$R_{A,\text{utbredd},i}$	stödreaktion vid A pga jämnt utbredd last, lastfall i
TS_i	efter svenska förhållanden reducerad axellast för lastfält i
UDL_i	efter svenska förhållanden reducerad jämnt utbredd fillast för lastfält i
$V_{1,\text{fall } i,j,k,a}$	tvärkraftsfunktionen för snittet $0 \leq x \leq l.\text{bro}/2$, för fallet i.j.k.a, där i – lastfall, j – lastfält, k – lastvaraktighet (0- kort, 1- lång), a – beräkningsformel 6.10a resp. 6.10 b
$V_{2,\text{fall } i,j,k,a}$	tvärkraftsfunktionen för snittet $l.\text{bro}/2 \leq x \leq l.\text{bro}$, för fallet i.j.k.a, där i – lastfall, j – lastfält, k – lastvaraktighet (0- kort, 1- lång), a – beräkningsformel 6.10a resp. 6.10 b

Gemena latinska tecken

a_{konsol}	avståndet mellan lådans liv och den utnyttjningsbara vägbanans ytterkant
$a_{\text{stöd}}$	avståndet mellan lådans två liv, centrum-centrum avstånd
$b_{\text{beläggning}}$	bredden på ytan som ska förses med beläggning
$b_{\text{fält}}$	bredden för ett standardlastfält
$b_{\text{hål}}$	lådans invändiga bredd
b_{kantbalk}	kantbalkens bredd
$b_{\text{låda}}$	lådans utvändiga bredd

b_{reduk}	reduktionsvärdet för reducering av vägbanebredden pga kantbalksinfästning
$b_{\text{vägbana}}$	den del av vägbanan som kan utnyttjas till att ta laster
$b_{\text{vägbana.tot}}$	den totala vägbanebredden
f_{pi}	filfaktor vid jämnt utbredd last, lastfall i
f_{pi}	filfaktor vid punktlast, lastfall i
$h_{\text{beläggning}}$	beläggningens höjd
$h_{\text{hål}}$	lådans invändiga höjd
h_{kantbalk}	kantbalkens höjd
$h_{\text{konstruktion}}$	den totala konstruktionshöjden
$h_{\text{låda}}$	lådans utvändiga höjd
$h_{\text{vägbana}}$	broplattans höjd
l_{bro}	brons längd i longitudinell riktning
$q_{\text{k.fall i}}$	karaktäristisk jämnt utbredd last för fall i
q_{ki}	jämnt utbredd fillast för lastfält i
$q_{\text{räcke}}$	tyngden för räcke, per meter
$t_{\text{betong.fläns}}$	tjockleken på lådbotten
$t_{\text{betong.liv}}$	tjockleken på lådans sidor, även kallat liv då lådan betraktas som två T-balkar vid dimensionering
x_1	fördefinierade x-värden för intervallet $0 \leq x \leq l_{\text{bro}}/2$, används vid plottning av tvärkrafts- samt momentdiagram

x_2 fördefinierade x-värden för intervallet $l.bro/2 \leq x \leq l.bro$, används vid plottning av tvärkrafts- samt momentdiagram

Gemena grekiska tecken

α_{Qi} anpassningsfaktor för axellast, lastfält i, nationell parameter

α_{qi} anpassningsfaktor för jämnt utbredd last, lastfält i, nationell parameter

γ_d säkerhetsfaktor, säkerhetsklass 3

$\gamma_{G.kort}$ partialkoefficient för egenvikt, vid brottgränsberäkningar

$\gamma_{G.lång}$ partialkoefficient för egenvikt, vid bruksgränsberäkningar

γ_Q partialkoefficient för punktlast

ξ_0 reduktionsfaktor

ρ_{asfal} densiteten för asfalt

ρ_{betong} densiteten för betong, cirkavärde

$\psi_{0.punkt}$ lastreduktionstal för axellast, kort lastvaraktighet

$\psi_{0.utbredd}$ lastreduktionstal för jämnt utbredd last, kort lastvaraktighet

$\psi_{2.punkt}$ lastreduktionstal för axellast, lång lastvaraktighet

$\psi_{2.utbredd}$ lastreduktionstal för jämnt utbredd last, lång lastvaraktighet

Innehållsförteckning

1. Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns	1
1.1 Tvärsnittskonstanter för broplatta	1
1.2 Lastframtagning enligt LM1 och säkerhetsfaktorer	6
1.3 Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram, lastfall 1 och 2	10
1.3.1 Lastfall 1, last koncentrerad till mittenspannet	11
1.3.2 Lastfall 2, last koncentrerad över vänstra stödet	15
1.4 Moment- och tvärkraftsberäkningar för lastfall 1 respektive lastfall 2	19

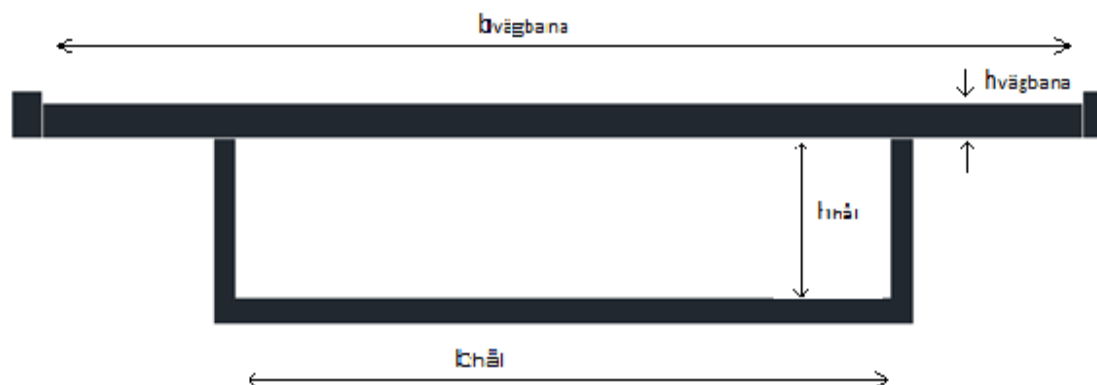
1. Tvärledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Lastframtagningen görs enligt Eurocode 1: Laster på bärverk, Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2

I verkligheten är lådans liv sneda men lådan förenklas till en rektangulär låda för att underlätta beräkningarna, se bild nedan.

I verkligheten minskas brobanans tjocklek ut mot kantbalken men den antas ha konstant tjocklek hela vägen ut, se bild nedan.

1.1 Tvärsnittskonstanter för broplatta



Under lastframtagningen vid tvärledsberäkningar får inte brobanan närmast kantbalken antas kunna bära några laster. Detta gör att brobanan minskas med 100mm på vardera sida under beräkningarna.

Den tillgängliga konstruktionshöjden är 2.7m.

$$h_{\text{konstruktion.tillgänglig}} := 2.7\text{m}$$

Vägens tvärsnittskonstanter

Hela vägbanebredden:

$$b_{\text{vägbana.tot}} = 13.5\text{m}$$

Breddreduktion pga kantbalksinfästning avser 100mm på vardera sida:

$$b_{\text{reduk}} := 100\text{mm}$$

Den del av vägbanan som kan utnyttjas:

$$b_{\text{vägbana}} = b_{\text{vägbana.tot}} - 2 \cdot b_{\text{reduk}} = 13.3\text{m}$$

$$h_{\text{vägbana}} = 0.40\text{m}$$

$$A_{\text{vägbana}} = b_{\text{vägbana}} \cdot h_{\text{vägbana}} = 5.32\text{m}^2$$

Arean för kantbalken

$$h_{\text{kantbalk}} := 0.55\text{m}$$

$$b_{\text{kantbalk}} := 0.4\text{m}$$

$$A_{\text{kantbalk}} := h_{\text{kantbalk}} \cdot b_{\text{kantbalk}} = 0.22\text{m}^2$$

Lådans tvärsnittsarea

Lådan kommer att utformas som en rektangulär låda. Då den kommer vara ihålig beräknas arean genom att hålets area subtraheras från den yttre arean.

Arean av hålet

$$h_{\text{hål}} := 1.8\text{m}$$

$$b_{\text{hål}} := 6.0\text{m}$$

$$A_{\text{hål}} := \frac{b_{\text{hål}}}{2} \cdot h_{\text{hål}} = 5.4\text{m}^2$$

Arean för hela lådan

$$t_{\text{betong.liv}} = 1.00\text{m}$$

$$t_{\text{betong.fläns}} = 0.40\text{m}$$

$$h_{\text{låda}} := h_{\text{hål}} + t_{\text{betong.fläns}} = 2.2\text{m}$$

$$b_{\text{låda}} := b_{\text{hål}} + 2 \cdot t_{\text{betong.liv}} = 8.0\text{m}$$

$$A_{\text{låda}} := b_{\text{låda}} \cdot h_{\text{låda}} = 17.6\text{m}^2$$

Arean för hela betongtvärsnittet

$$A_{\text{tvärsnitt}} := A_{\text{låda}} - A_{\text{hål}} + b_{\text{vägbana}} \cdot t_{\text{vägbana}} + A_{\text{kantbalk}} = 17.82 \text{ m}^2$$

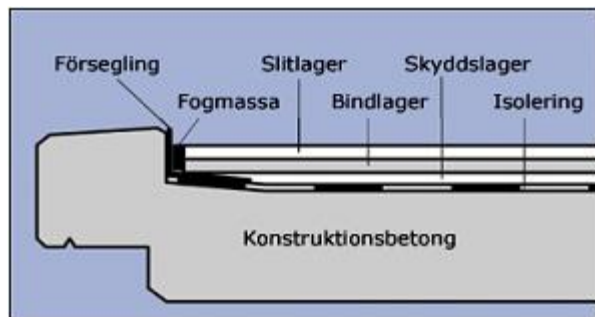
Avstånd mellan lådans liv, c-c avstånd

$$a_{\text{stöd}} := b_{\text{hål}} + t_{\text{betong.liv}} = 7 \text{ m}$$

$$a_{\text{konsol}} := \frac{b_{\text{vägbana}} - a_{\text{stöd}}}{2} = 3.15 \text{ m}$$



Arean för beläggningen



Beläggningen består av slitlager, bindlager, skyddslager och isolering.

$$b_{\text{beläggning}} = b_{\text{vägbana}} = 13.3\text{m}$$

$$h_{\text{beläggning}} = 0.1\text{m}$$

$$A_{\text{beläggning}} = h_{\text{beläggning}} b_{\text{beläggning}} = 1.33\text{m}^2$$

Konstruktionshöjd

$$h_{\text{konstruktion}} := h_{\text{vägbana}} + h_{\text{låda}} + h_{\text{beläggning}} = 2.7\text{m}$$

Egenvikter

För att kunna påbörja dimensioneringen av bron behövs en uppskattad egenvikt.
Denna tas fram med hjälp av ett ungefärligt tvärsnitt som sedan kommer att revideras under dimensioneringen.

Egenvikt per meter

Egenvikten för betong kan antas vara 25 kN/m^3 enligt Sören Lindgrens föreläsning 22/3-2013 och egenvikten för asfalt antas vara 23 kN/m^3 .

Detta ger en permanent utbreddlast som kan användas vid dimensionering av bron.

$$\rho_{\text{betong}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{asfalt}} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

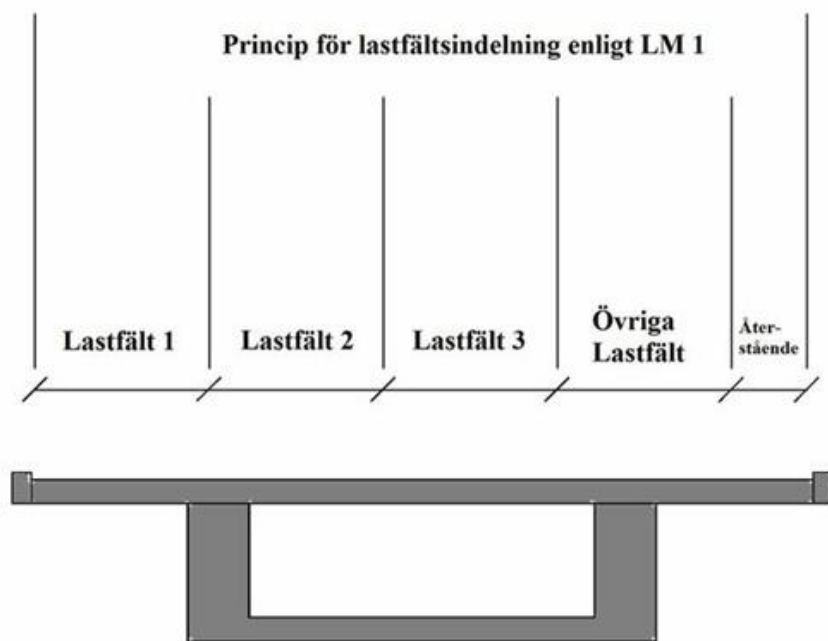
$$q_{\text{räcke}} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Q_{\text{egenvikt}} := A_{\text{tvärsnitt}} \rho_{\text{betong}} + q_{\text{räcke}} + A_{\text{beläggning}} \rho_{\text{asfalt}} = 476.59 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

1.2 Lastframtagning enligt LM1 och säkerhetsfaktorer

LM1 är en lastmodell enligt Eurocode som med hjälp av punktlaster (Q) och utbredda laster (q) täcker in de flesta effekterna av trafik med last- och personbilar. Modellen används för samtliga lastberäkningar i detta kapitel.

Enligt Eurocode beaktas lastkombinationerna 6.10a och 6.10b, av vilka det minst gynnsamma fallet används. Lastkombinationerna använder olika säkerhetsfaktorer. 6.10b förväntas bli dimensionerande.



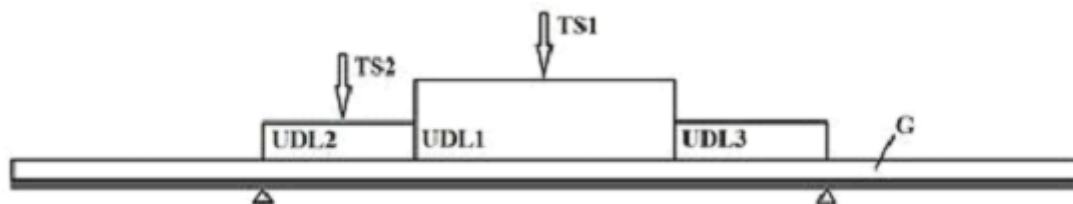
Standardlastfält

$b_{\text{fält}} := 3\text{m}$

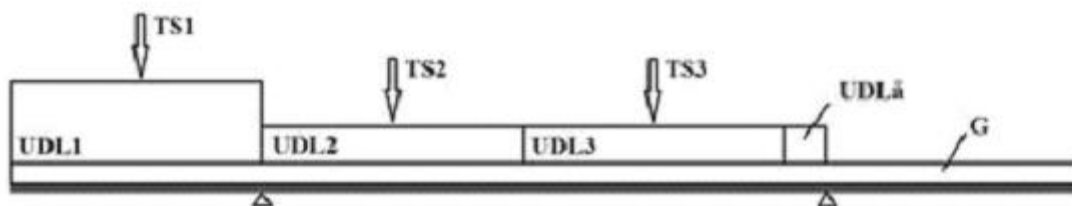
Bilaga 8: Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Vid beräkningar används två olika lastfall; lastfall 1 där lasten är koncentrerad till mitten och lastfall 2 där lasten är koncentrerad till sidan. Dessa två lastfall används för att skapa de värsta lastkombinationerna.

Lastfall 1:



Lastfall 2:



Lastmodell 1 (LM1). Tabell över de punktlaster och utbredda laster som verkar på bronns olika lastfält

	Axellast	Jämt utbredd	Svenska förhållanden			
	TS	fillast UDL				
	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m ²]	α_{Q1}	α_{q1}	TS [kN]	UDL [kN/m ²]
Lastfält 1	300	9	0,9	0,7	270	6,3
Lastfält 2	200	2,5	0,9	1,0	180	2,5
Lastfält 3	100	2,5	0	1,0	0	2,5
Övriga	0	2,5	-	1,0	0	2,5
Återstående	0	2,5	-	1,0	0	2,5

Lastfält 1: $Q_{1k} := 300 \text{ kN}$

$$q_{1k} := 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha_{Q1} := 0.9$$

$$\alpha_{q1} := 0.7$$

$$TS_1 := Q_{1k} \cdot \alpha_{Q1} = 270 \text{ kN}$$

$$UDL_1 := q_{1k} \cdot \alpha_{q1} = 6.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastfält 2: $Q_{2k} := 200 \text{ kN}$

$$q_{2k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha_{Q2} := 0.9$$

$$\alpha_{q2} := 1.0$$

$$TS_2 := Q_{2k} \cdot \alpha_{Q2} = 180 \text{ kN}$$

$$UDL_2 := q_{2k} \cdot \alpha_{q2} = 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastfält 3: $Q_{3k} := 100 \text{ kN}$

$$q_{3k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha_{Q3} := 0$$

$$\alpha_{q3} := 1.0$$

$$TS_3 := Q_{3k} \cdot \alpha_{Q3} = 0 \cdot \text{kN}$$

$$UDL_3 := q_{3k} \cdot \alpha_{q3} = 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Bilaga 8: Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Säkerhetsfaktorer

$$\gamma_Q := 1.5$$

$$\psi_{0.\text{punkt}} := 0.7$$

$$\psi_{2.\text{punkt}} := 0$$

$$\xi_0 := 0.8$$

$$\gamma_{G.\text{kort}} := 1.3$$

$$\psi_{0.\text{utbredd}} := 0.4$$

$$\psi_{2.\text{utbredd}} := 0$$

$$\gamma_{G.\text{lång}} := 1.1$$

Säkerhetsklass 3

Utgår från säkerhetsklass 3 när bron dimensioneras. Detta medför ytterligare en säkerhetsfaktor.

$$\gamma_d := 1.0$$

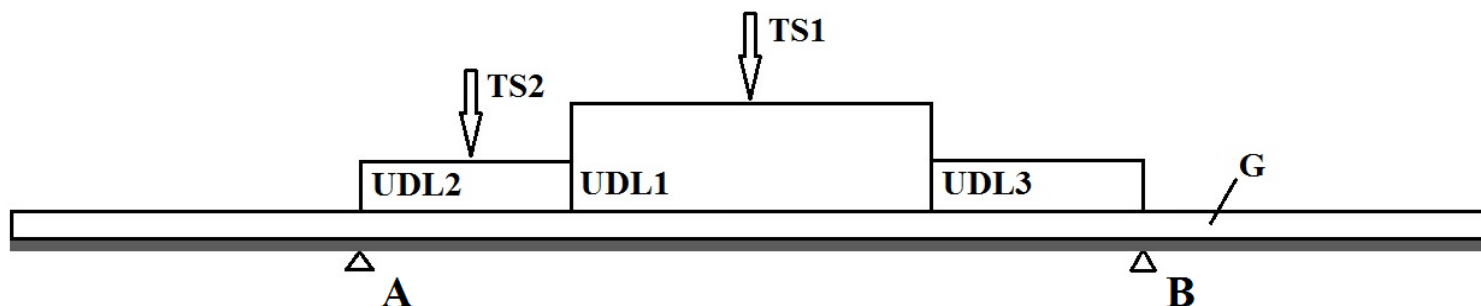
1.3 Beräkning av moment- och tvärkraftsdiagram, lastfall 1 och 2

Enligt Eurocode 1: Laster på bärverk - Del 2: Trafiklast på broar, SS-EN 1991-2 beaktas lastkombinationerna 6.10a och 6.10b, det minst gynnsamma fallet används. Lastkombinationerna använder olika säkerhetsfaktorer, 6.10b förväntas bli dimensionerande.

Formel 6.10a: $\gamma_G G_k + \gamma_P P + \gamma_{Qi} \psi_{0,i} Q_{k,i} + \sum \gamma_{Qj} \psi_{0,j} Q_{k,j}$

Formel 6.10b: $\xi \cdot \gamma_G G_k + \gamma_P P + \gamma_{Qi} Q_{k,i} + \sum \gamma_{Qj} \psi_{0,j} Q_{k,j}$

1.3.1 Lastfall 1, last koncentrerad till mittenspannet



Beräkning av filfaktor för punktlasterna

Moment kring stöd B

$$R_{A,\text{punkt.1}} := \frac{TS_2 \cdot \left(\frac{b_{\text{hål}} + t_{\text{betong.liv}}}{2} + b_{\text{fält}} \right) + TS_1 \cdot \left(\frac{b_{\text{hål}} + t_{\text{betong.liv}}}{2} \right)}{b_{\text{hål}} + t_{\text{betong.liv}}} = 302.143 \text{ kN}$$

$$f_{P1} := \frac{R_{A,\text{punkt.1}}}{TS_1} = 1.119$$

Filfaktor för punktlast

Beräkning av filfaktor för utbredd last

Momentjämvikt runt B

$$R_{A. \text{utbredd.1}} := \frac{\left(UDL_1 \cdot b_{fält} \right) \cdot \left(\frac{b_{hål} + t_{betong.liv}}{2} \right) + \left(UDL_2 \cdot b_{fält} \right) \cdot \left(\frac{b_{hål} + t_{betong.liv}}{2} + b_{fält} \right) \dots}{b_{hål} + t_{betong.liv}} = 17.129 \frac{kN}{m}$$

$$f_{p1} := \frac{R_{A. \text{utbredd.1}}}{UDL_1} = 2.719m$$

Filfaktor för utbredd last

Bilaga 8: Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Beräkning av dimensionerande laster i fall 1, korttidslast

Formel 6.10a - korttid

2 sammanförda punktlaster (axellaster)

$$Q_{kfall1} := 2 \cdot f_{p1} \cdot TS_1 = 604.286 \text{ kN}$$

$$Q_{fall1.1.0.a} = \gamma_Q \cdot \psi_{0.punkt} \cdot Q_{kfall1} = 679.821 \text{ kN}$$

Utbredd last

$$q_{kfall1} := f_{p1} \cdot UDL_1 = 17.129 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{fall1.1.0.a} = \gamma_G \cdot \text{G.kort} \cdot \frac{Q_{egenvikt}}{2} + \gamma_Q \cdot \psi_{0.utbredd} \cdot q_{kfall1} = 331.975 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Formel 6.10b - korttid

2 sammanförda punktlaster (axellaster)

$$Q_{fall1.1.0.b} = \gamma_Q \cdot Q_{kfall1} = 906.429 \text{ kN}$$

Utbredd last

$$q_{fall1.1.0.b} = \xi_0 \cdot \gamma_G \cdot \text{G.kort} \cdot \frac{Q_{egenvikt}}{2} + \gamma_Q \cdot q_{kfall1} = 312.004 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Bilaga 8: Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Beräkningar för långtidslast för lastfall 1

Formel 6.10a - långtid

2 sammanförda punktlaster (axellaster)

$$Q_{fall1.1.1.a} = \gamma_Q \cdot \psi_{2,punkt} \cdot Q_{kfall1} = 0 \cdot kN$$

Utbredd last

$$q_{fall1.1.1.a} = \gamma_G \cdot l_{ang} \frac{Q_{egenvikt}}{2} + \gamma_Q \cdot \psi_{2,utbredd} q_{kfall1} = 262.125 \frac{kN}{m}$$

Formel 6.10b - långtid

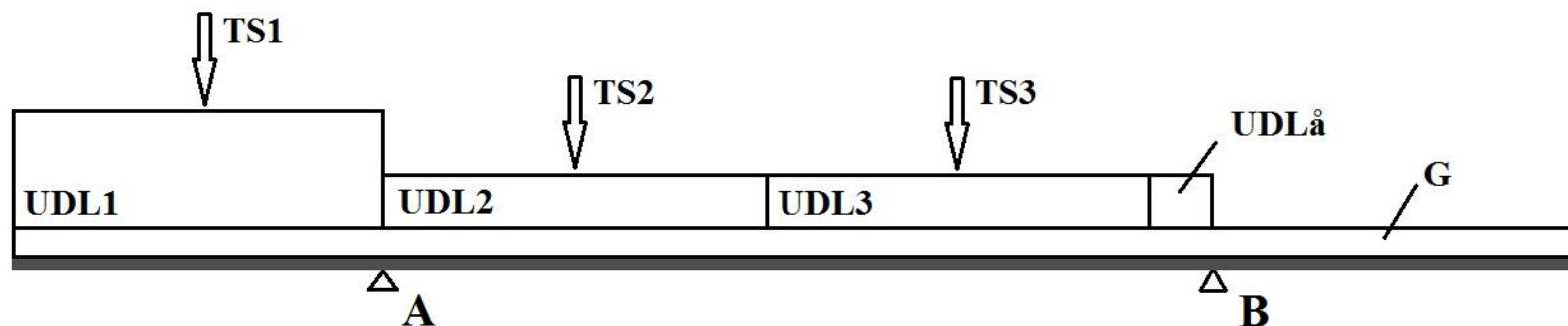
2 sammanförda punktlaster (axellaster)

$$Q_{fall1.1.1.b} = \gamma_Q \cdot Q_{kfall1} = 906.429 kN$$

Utbredd last

$$q_{fall1.1.1.b} = \xi_0 \cdot \gamma_G \cdot l_{ang} \frac{Q_{egenvikt}}{2} + \gamma_Q \cdot q_{kfall1} = 258.984 \frac{kN}{m}$$

1.3.2 Lastfall 2, last koncentrerad över vänstra stödet



Beräkning av filfaktor för punktlasterna

Moment kring stöd B

$$R_{A,\text{punkt.2}} := \frac{\left[TS_1 \cdot \left(b_{\text{vägbana}} \cdot a_{\text{konsol}} - \frac{b_{\text{fält}}}{2} \right) + TS_2 \cdot \left(b_{\text{vägbana}} \cdot a_{\text{konsol}} - 1.5 \cdot b_{\text{fält}} \right) \right]}{a_{\text{stöd}}} = 478.929 \text{ kN}$$

$$f_{P2} := \frac{R_{A,\text{punkt.2}}}{TS_1} = 1.774$$

Beräkning av filfaktor för utbredd last

Moment kring stöd B

$$R_{A. \text{utbredd.2}} := \frac{b_{\text{fält}} \cdot UDL_1 \cdot \left(b_{\text{vägbana}} - a_{\text{konsol}} - \frac{b_{\text{fält}}}{2} \right) + (b_{\text{vägbana}} - a_{\text{konsol}} - b_{\text{fält}}) \cdot UDL_2 \cdot \frac{b_{\text{vägbana}} - a_{\text{konsol}} - b_{\text{fält}}}{2}}{a_{\text{stöd}}} = 32.484 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_{p2} := \frac{R_{A. \text{utbredd.2}}}{UDL_1} = 5.156 \text{m}$$

Formel 6.10a - korttid

2 sammanförda punktlaster (axellaster)

$$Q_{kfall2} := 2 \cdot f_{p2} \cdot TS_1 = 957.857 \text{ kN}$$

$$Q_{fall2.1.0.a} = \gamma_Q \cdot \psi_{0.punkt} \cdot Q_{kfall2} = 1.078 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last

$$q_{kfall2} := f_{p2} \cdot UDL_1 = 32.484 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{fall2.1.0.a} = \gamma_G \cdot \frac{Q_{egenvikt}}{2} + \gamma_Q \cdot \psi_{0.utbredd} q_{kfall2} = 341.189 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Den karaktäristiska lasten för axellast i fall 2

Storlek på punktlasten i fall 2 ekvation a

Den karaktäristiska lasten för utbredd last i fall 2

Storlek på den utbredda lasten i fall 2 ekvation a

Formel 6.10b - korttid

2 sammanförda punktlaster (axellaster)

$$Q_{fall2.1.0.b} = \gamma_Q \cdot Q_{kfall2} = 1.437 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last

$$q_{fall2.1.0.b} = \xi_0 \cdot \gamma_G \cdot \frac{Q_{egenvikt}}{2} + \gamma_Q \cdot q_{kfall2} = 335.037 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Storlek på punktlasten i fall 2 ekvation b

Storlek på den utbredda lasten i fall 2 ekvation b

Storlek på den utbredda lasten i fall 2 ekvation b

Formel 6.10a - långtid

2 sammanförda punktlaster (axellaster)

$$Q_{fall2.1.1.a} = \gamma_Q \cdot \psi_{2,punkt} \cdot Q_{kfall2} = 0 \cdot kN$$

Utbredd last

$$q_{fall2.1.1.a} = \gamma_G \cdot l_{ång} \frac{Q_{egenvikt}}{2} + \gamma_Q \cdot \psi_{2,utbredd} q_{kfall2} = 262.125 \frac{kN}{m}$$

Formel 6.10b - långtid

2 sammanförda punktlaster (axellaster)

$$Q_{fall2.1.1.b} = \gamma_Q \cdot Q_{kfall2} = 1.437 \times 10^3 \cdot kN$$

Utbredd last

$$q_{fall2.1.1.b} = \xi_0 \cdot \gamma_G \cdot l_{ång} \frac{Q_{egenvikt}}{2} + \gamma_Q \cdot q_{kfall2} = 282.017 \frac{kN}{m}$$

1.4 Moment- och tvärkraftsberäkningar för lastfall 1 respektive lastfall 2

Moment- och tvärkraftsfördelning tas fram för respektive lastfall. Varje fördelning åskådliggörs med diagram.

Inför plottningen av diagrammen fördefinieras här x-värden för snitt 1 och 2 då de är samma för alla lastfall.

$$x_1 := \left(0\text{m}, 0.05\text{m} \dots \frac{l_{\text{bro}}}{2} \right)$$
$$x_2 := \left(\frac{l_{\text{bro}}}{2}, \frac{l_{\text{bro}}}{2} + 0.05\text{m} \dots l_{\text{bro}} \right)$$

Lastfall 1, korttid, framtaget med ekvation a

$$Q_{\text{fall1.1.0.a}} = 679.821\text{kN}$$

$$q_{\text{fall1.1.0.a}} = 331.975 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momentjämvikt runt B ger stödreaktionen i A:

$$R_{A,\text{fall1.1.0.a}} = \frac{Q_{\text{fall1.1.0.a}} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2} + q_{\text{fall1.1.0.a}} \cdot l_{\text{bro}} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2}}{l_{\text{bro}}} = 7.975 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Bilaga 8: Längsleddsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Beräkning av moment- och tvärkraftsfördelning:

snitt 1: $0 < x_1 < l_{bro}/2$

$$M_{1.fall1.1.0.}(x_1) := R_{A.fall1.1.0.} \cdot x_1 - q_{fall1.1.0.} \cdot \frac{x_1^2}{2}$$

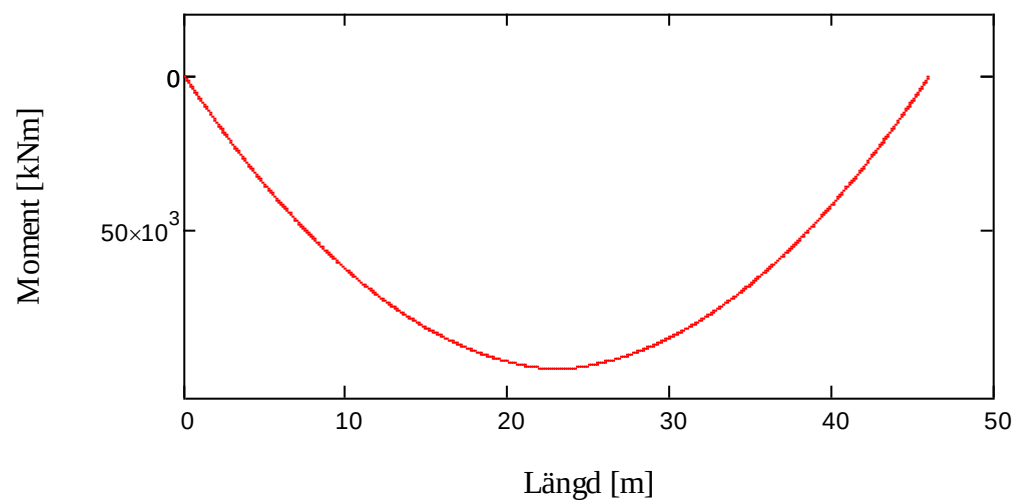
$$V_{1.fall1.1.0.}(x_1) := R_{A.fall1.1.0.} - q_{fall1.1.0.} \cdot x_1$$

snitt 2: $l_{bro}/2 < x_2 < l_{bro}$

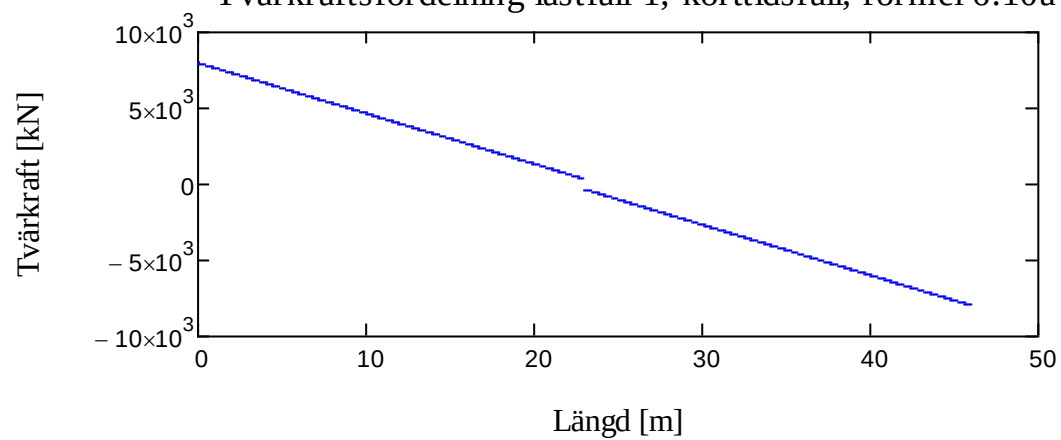
$$M_{2.fall1.1.0.}(x_2) := R_{A.fall1.1.0.} \cdot x_2 - q_{fall1.1.0.} \cdot \frac{x_2^2}{2} - Q_{fall1.1.0.} \cdot \left(x_2 - \frac{l_{bro}}{2} \right)$$

$$V_{2.fall1.1.0.}(x_2) := R_{A.fall1.1.0.} - Q_{fall1.1.0.} - q_{fall1.1.0.} \cdot x_2$$

Momentfördelning lastfall 1, korttidsfall, formel 6.10a



Tvärkraftsfördelning lastfall 1, korttidsfall, formel 6.10a



Bilaga 8: Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Lastfall 1, korttid, framtaget med ekvation b

$$Q_{\text{fall1.1.0.b}} = 906.429 \text{ kN}$$

$$q_{\text{fall1.1.0.b}} = 312.004 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momentjämvikt runt B ger stödreaktionen i A:

$$R_{A.\text{fall1.1.0.b}} = \frac{Q_{\text{fall1.1.0.b}} \frac{l_{\text{bro}}}{2} + q_{\text{fall1.1.0.b}} l_{\text{bro}} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2}}{l_{\text{bro}}} = 7.629 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Beräkning av moment- och tvärkraftsfördelning:

snitt 1: $0 < x_1 < l_{\text{bro}}/2$

$$M_{1.\text{fall1.1.0.b}}(x_1) := R_{A.\text{fall1.1.0.b}} x_1 - q_{\text{fall1.1.0.b}} \frac{x_1^2}{2}$$

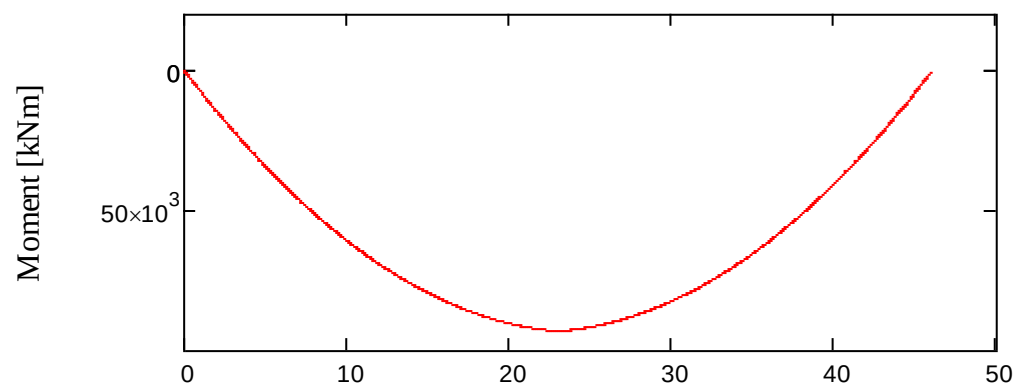
$$V_{1.\text{fall1.1.0.b}}(x_1) := R_{A.\text{fall1.1.0.b}} - q_{\text{fall1.1.0.b}} x_1$$

snitt 2: $l_{\text{bro}}/2 < x_2 < l_{\text{bro}}$

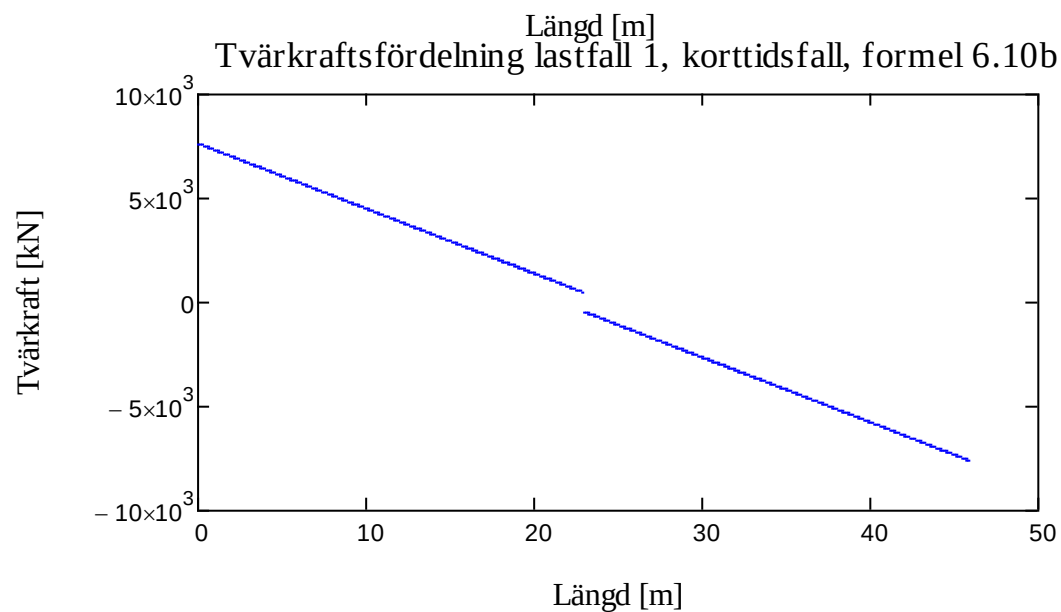
$$M_{2.\text{fall1.1.0.b}}(x_2) := R_{A.\text{fall1.1.0.b}} x_2 - q_{\text{fall1.1.0.b}} \frac{x_2^2}{2} - Q_{\text{fall1.1.0.b}} \left(x_2 - \frac{l_{\text{bro}}}{2} \right)$$

$$V_{2.\text{fall1.1.0.b}}(x_2) := R_{A.\text{fall1.1.0.b}} - Q_{\text{fall1.1.0.b}} - q_{\text{fall1.1.0.b}} x_2$$

Momentfördelning lastfall 1, korttidsfall, formel 6.10b



Tvärkraftsfördelning lastfall 1, korttidsfall, formel 6.10b



Lastfall 1, långtid, framtaget med ekvation a

$$Q_{\text{fall1.1.1.a}} = 0 \cdot \text{kN}$$

$$q_{\text{fall1.1.1.a}} = 262.125 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momentjämvikt runt B ger stödreaktionen i A:

$$R_{A,\text{fall1.1.1.a}} = \frac{Q_{\text{fall1.1.1.a}} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2} + q_{\text{fall1.1.1.a}} \cdot l_{\text{bro}} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2}}{l_{\text{bro}}} = 6.029 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Beräkning av moment- och tvärkraftsfördelning:

snitt 1: $0 < x_1 < l_{\text{bro}}/2$

$$M_{1,\text{fall1.1.1.a}}(x_1) := R_{A,\text{fall1.1.1.a}} \cdot x_1 - q_{\text{fall1.1.1.a}} \cdot \frac{x_1^2}{2}$$

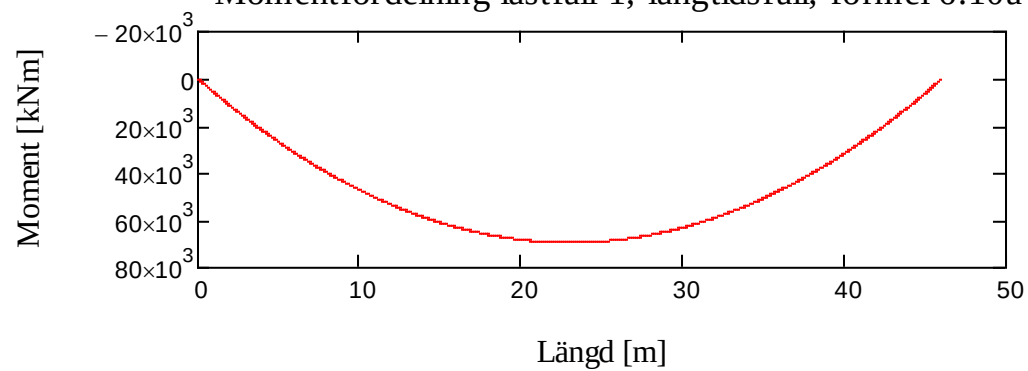
$$V_{1,\text{fall1.1.1.a}}(x_1) := R_{A,\text{fall1.1.1.a}} - q_{\text{fall1.1.1.a}} \cdot x_1$$

snitt 2: $l_{\text{bro}}/2 < x_2 < l_{\text{bro}}$

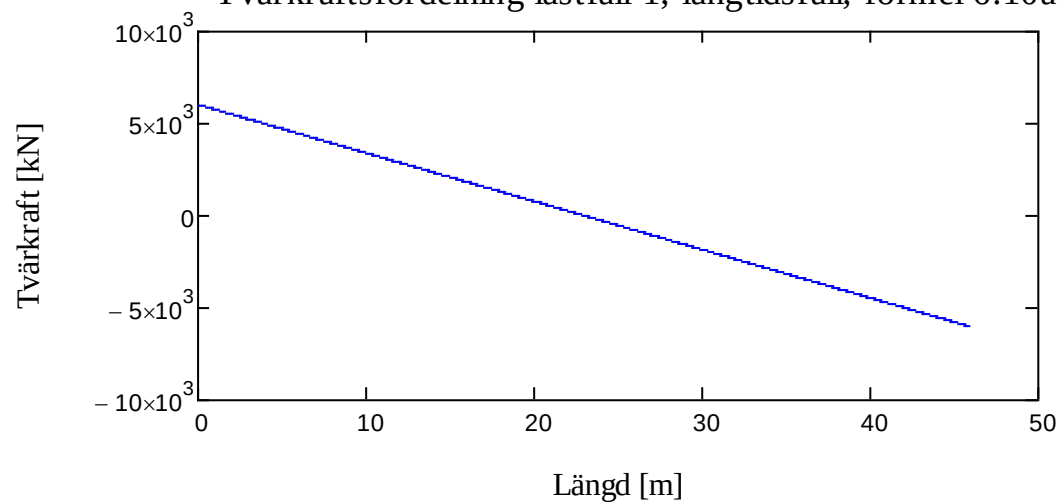
$$M_{2,\text{fall1.1.1.a}}(x_2) := R_{A,\text{fall1.1.1.a}} \cdot x_2 - q_{\text{fall1.1.1.a}} \cdot \frac{x_2^2}{2} - Q_{\text{fall1.1.1.a}} \cdot \left(x_2 - \frac{l_{\text{bro}}}{2} \right)$$

$$V_{2,\text{fall1.1.1.a}}(x_2) := R_{A,\text{fall1.1.1.a}} - Q_{\text{fall1.1.1.a}} - q_{\text{fall1.1.1.a}} \cdot x_2$$

Momentfördelning lastfall 1, långtidsfall, formel 6.10a



Tvärkraftsfördelning lastfall 1, långtidsfall, formel 6.10a



Bilaga 8: Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Lastfall 1, långtid, framtaget med ekvation b

$$Q_{\text{fall1.1.1.b}} = 906.429 \text{ kN}$$

$$q_{\text{fall1.1.1.b}} = 258.984 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momentjämvikt runt B ger stödreaktionen i A:

$$R_{\text{A.fall1.1.1.b}} = \frac{Q_{\text{fall1.1.1.b}} \frac{l_{\text{bro}}}{2} + q_{\text{fall1.1.1.b}} l_{\text{bro}} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2}}{l_{\text{bro}}} = 6.41 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Beräkning av moment- och tvärkraftsfördelning:

snitt 1: $0 < x_1 < l_{\text{bro}}/2$

$$M_{1.\text{fall1.1.1.b}}(x_1) := R_{\text{A.fall1.1.1.b}} x_1 - q_{\text{fall1.1.1.b}} \frac{x_1^2}{2}$$

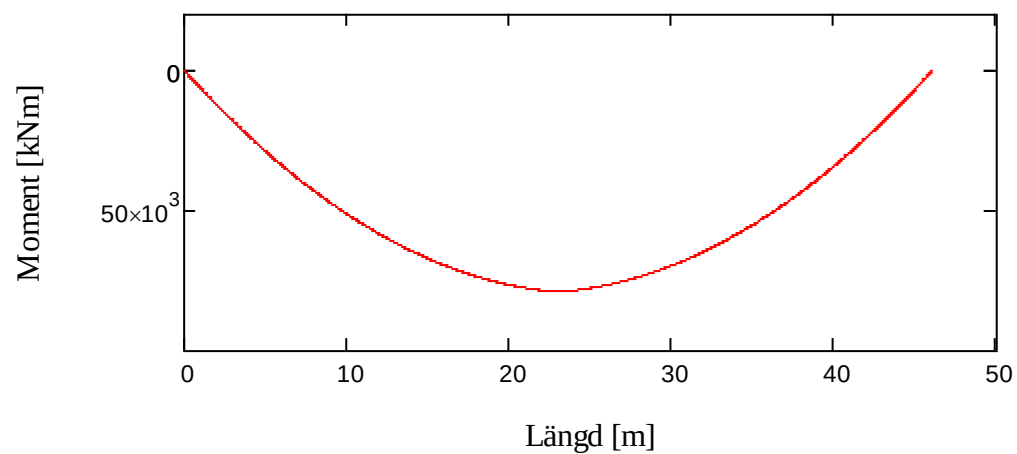
$$V_{1.\text{fall1.1.1.b}}(x_1) := R_{\text{A.fall1.1.1.b}} - q_{\text{fall1.1.1.b}} x_1$$

snitt 2: $l_{\text{bro}}/2 < x_2 < l_{\text{bro}}$

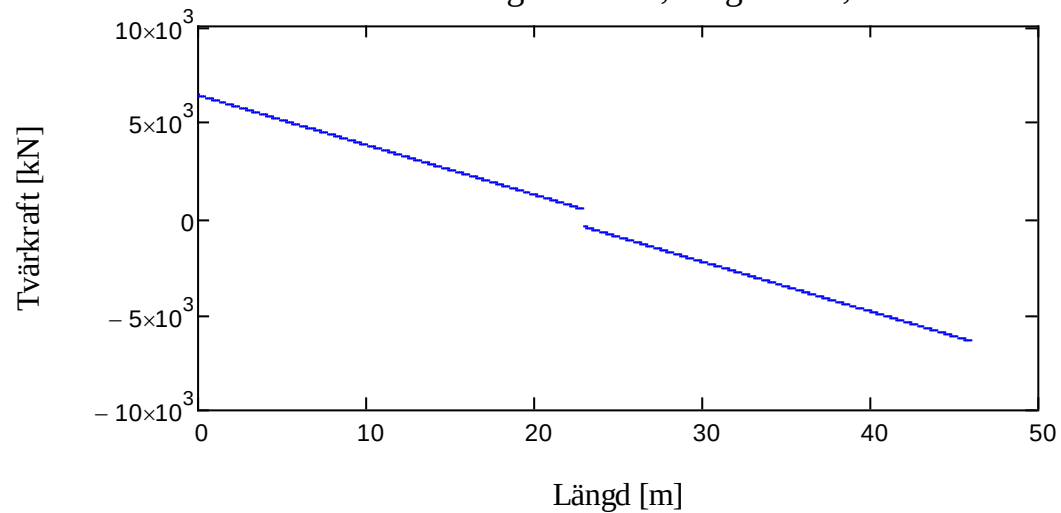
$$M_{2.\text{fall1.1.1.b}}(x_2) := R_{\text{A.fall1.1.1.b}} x_2 - q_{\text{fall1.1.1.b}} \frac{x_2^2}{2} - Q_{\text{fall1.1.1.b}} \left(x_2 - \frac{l_{\text{bro}}}{2} \right)$$

$$V_{2.\text{fall1.1.1.b}}(x_2) := R_{\text{A.fall1.1.1.b}} - Q_{\text{fall1.1.1.b}} - q_{\text{fall1.1.1.b}} x_2$$

Momentfördelning lastfall 1, långtidsfall, formel 6.10b



Tvärkraftsfördelning lastfall 1, långtidsfall, formel 6.10b



Bilaga 8: Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Lastfall 2, korttid, framtaget med ekvation a

$$Q_{\text{fall2.1.0.a}} = 1.078 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$q_{\text{fall2.1.0.a}} = 341.189 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momentjämvikt runt B ger stödreaktionen i A:

$$R_{A,\text{fall2.1.0.a}} = \frac{Q_{\text{fall2.1.0.a}} \frac{l_{\text{bro}}}{2} + q_{\text{fall2.1.0.a}} l_{\text{bro}} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2}}{l_{\text{bro}}} = 8.386 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Beräkning av moment- och tvärkraftsfördelning:

snitt 1: $0 < x_1 < l_{\text{bro}}/2$

$$M_{1,\text{fall2.1.0.a}}(x_1) := R_{A,\text{fall2.1.0.a}} x_1 - q_{\text{fall2.1.0.a}} \frac{x_1^2}{2}$$

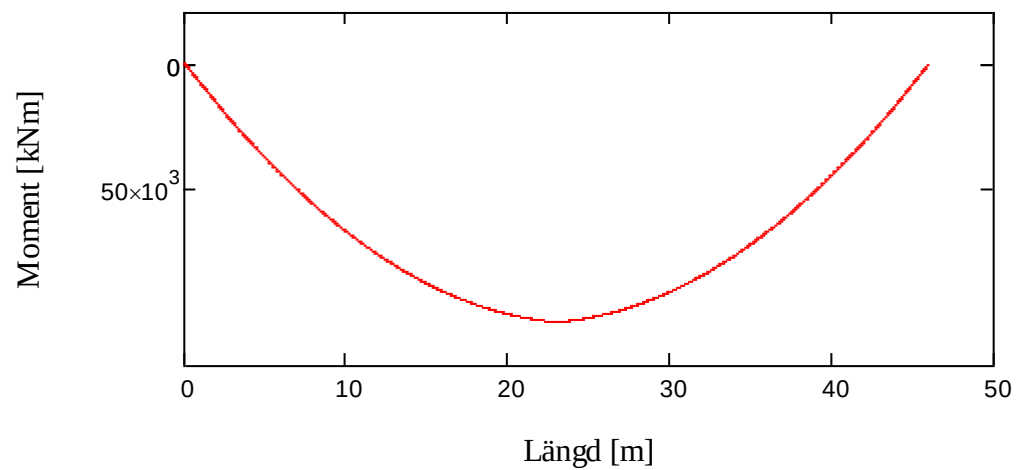
$$V_{1,\text{fall2.1.0.a}}(x_1) := R_{A,\text{fall2.1.0.a}} - q_{\text{fall2.1.0.a}} x_1$$

snitt 2: $l_{\text{bro}}/2 < x_2 < l_{\text{bro}}$

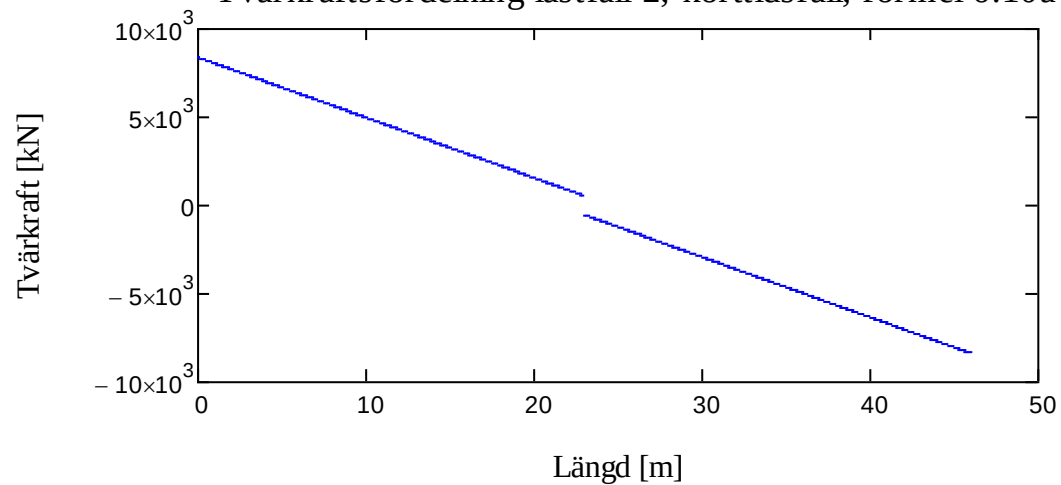
$$M_{2,\text{fall2.1.0.a}}(x_2) := R_{A,\text{fall2.1.0.a}} x_2 - q_{\text{fall2.1.0.a}} \frac{x_2^2}{2} - Q_{\text{fall2.1.0.a}} \left(x_2 - \frac{l_{\text{bro}}}{2} \right)$$

$$V_{2,\text{fall2.1.0.a}}(x_2) := R_{A,\text{fall2.1.0.a}} - Q_{\text{fall2.1.0.a}} - q_{\text{fall2.1.0.a}} x_2$$

Momentfördelning lastfall 2, korttidsfall, formel 6.10a



Tvärkraftsfördelning lastfall 2, korttidsfall, formel 6.10a



Bilaga 8: Längsledsberäkning: Lastframtagning och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram för brobanan i brott- och bruksgräns

Lastfall 2, korttid, framtaget med ekvation b

$$Q_{\text{fall2.1.0.b}} = 1.437 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$q_{\text{fall2.1.0.b}} = 335.037 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momentjämvikt runt B ger stödreaktionen i A:

$$R_{\text{A.fall2.1.0.b}} = \frac{Q_{\text{fall2.1.0.b}} \frac{l_{\text{bro}}}{2} + q_{\text{fall2.1.0.b}} l_{\text{bro}} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2}}{l_{\text{bro}}} = 8.424 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Beräkning av moment- och tvärkraftsfördelning:

snitt 1: $0 < x_1 < l_{\text{bro}}/2$

$$M_{1.\text{fall2.1.0.b}}(x_1) := R_{\text{A.fall2.1.0.b}} x_1 - q_{\text{fall2.1.0.b}} \frac{x_1^2}{2}$$

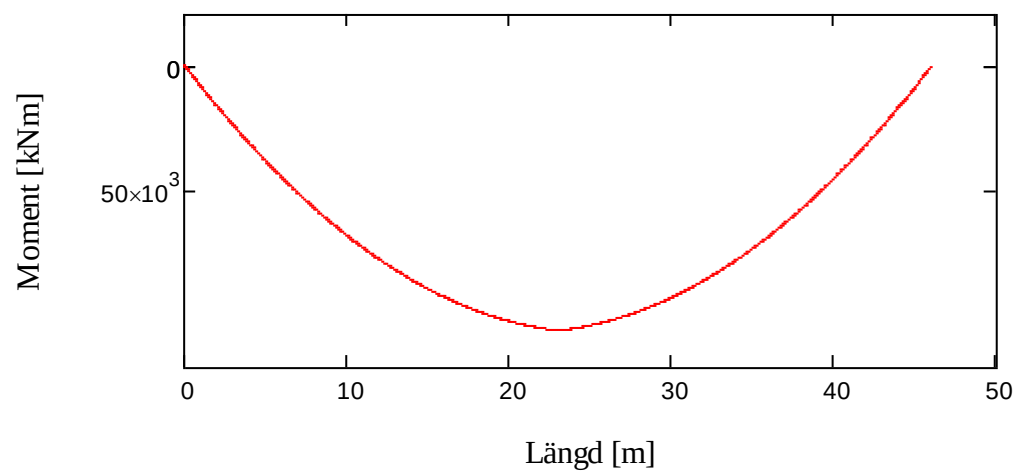
$$V_{1.\text{fall2.1.0.b}}(x_1) := R_{\text{A.fall2.1.0.b}} - q_{\text{fall2.1.0.b}} x_1$$

snitt 2: $l_{\text{bro}}/2 < x_2 < l_{\text{bro}}$

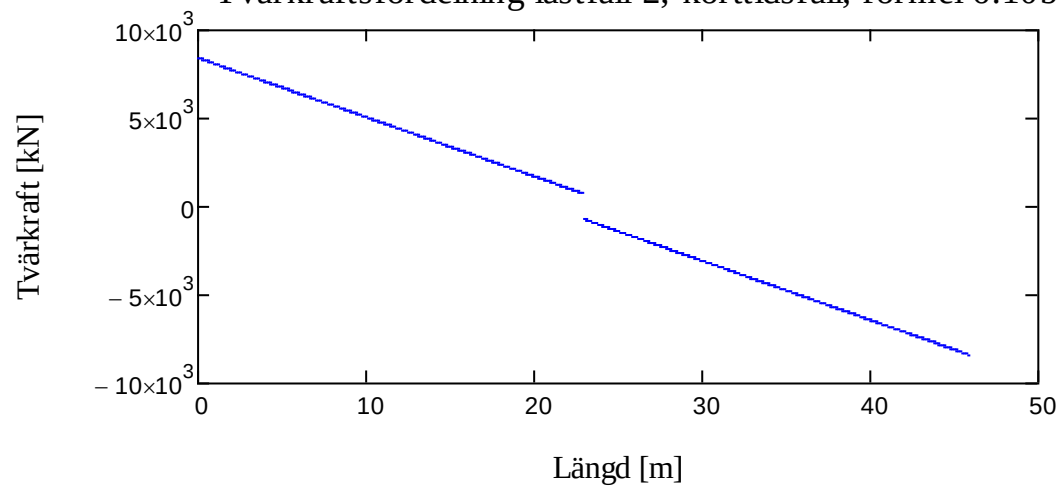
$$M_{2.\text{fall2.1.0.b}}(x_2) := R_{\text{A.fall2.1.0.b}} x_2 - q_{\text{fall2.1.0.b}} \frac{x_2^2}{2} - Q_{\text{fall2.1.0.b}} \left(x_2 - \frac{l_{\text{bro}}}{2} \right)$$

$$V_{2.\text{fall2.1.0.b}}(x_2) := R_{\text{A.fall2.1.0.b}} - Q_{\text{fall2.1.0.b}} - q_{\text{fall2.1.0.b}} x_2$$

Momentfördelning lastfall 2, korttidsfall, formel 6.10b



Tvärkraftsfördelning lastfall 2, korttidsfall, formel 6.10b



Lastfall 2, långtid, framtaget med ekvation a

$$Q_{\text{fall}2.1.1.a} = 0 \cdot \text{kN}$$

$$q_{\text{fall}2.1.1.a} = 262.125 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momentjämvikt runt B ger stödreaktionen i A:

$$R_{A.\text{fall}2.1.1.a} = \frac{Q_{\text{fall}2.1.1.a} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2} + q_{\text{fall}2.1.1.a} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2}}{l_{\text{bro}}} = 6.029 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Beräkning av moment- och tvärkraftsfördelning:

snitt 1: $0 < x_1 < l_{\text{bro}}/2$

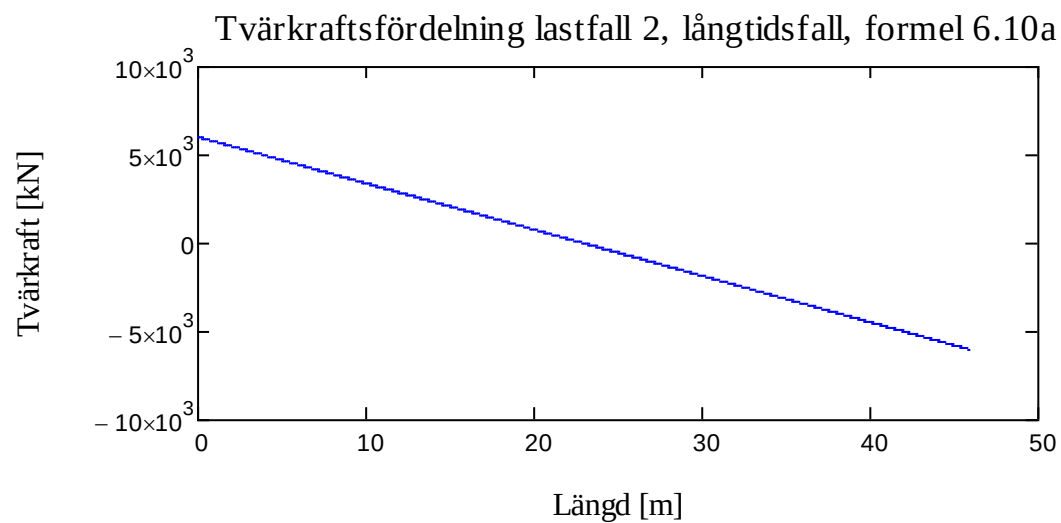
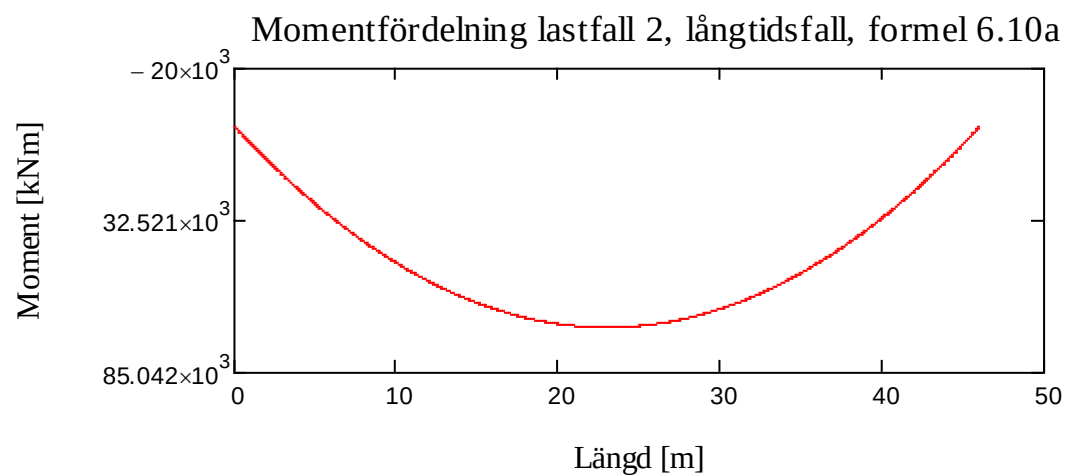
$$M_{1.\text{fall}2.1.1.a}(x_1) := R_{A.\text{fall}2.1.1.a} \cdot x_1 - q_{\text{fall}2.1.1.a} \cdot \frac{x_1^2}{2}$$

$$V_{1.\text{fall}2.1.1.a}(x_1) := R_{A.\text{fall}2.1.1.a} - q_{\text{fall}2.1.1.a} \cdot x_1$$

snitt 2: $l_{\text{bro}}/2 < x_2 < l_{\text{bro}}$

$$M_{2.\text{fall}2.1.1.a}(x_2) := R_{A.\text{fall}2.1.1.a} \cdot x_2 - q_{\text{fall}2.1.1.a} \cdot \frac{x_2^2}{2} - Q_{\text{fall}2.1.1.a} \cdot \left(x_2 - \frac{l_{\text{bro}}}{2} \right)$$

$$V_{2.\text{fall}2.1.1.a}(x_2) := R_{A.\text{fall}2.1.1.a} - Q_{\text{fall}2.1.1.a} - q_{\text{fall}2.1.1.a} \cdot x_2$$



Lastfall 2, långtid, framtaget med ekvation b

$$Q_{\text{fall2.1.1.b}} = 1.437 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$q_{\text{fall2.1.1.b}} = 282.017 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momentjämvikt runt B ger stödreaktionen i A:

$$R_{A.\text{fall2.1.1.b}} = \frac{Q_{\text{fall2.1.1.b}} \frac{l_{\text{bro}}}{2} + q_{\text{fall2.1.1.b}} l_{\text{bro}} \cdot \frac{l_{\text{bro}}}{2}}{l_{\text{bro}}} = 7.205 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Beräkning av moment- och tvärkraftsfördelning:

snitt 1: $0 < x_1 < l_{\text{bro}}/2$

$$M_{1.\text{fall2.1.1.b}}(x_1) := R_{A.\text{fall2.1.1.b}} x_1 - q_{\text{fall2.1.1.b}} \frac{x_1^2}{2}$$

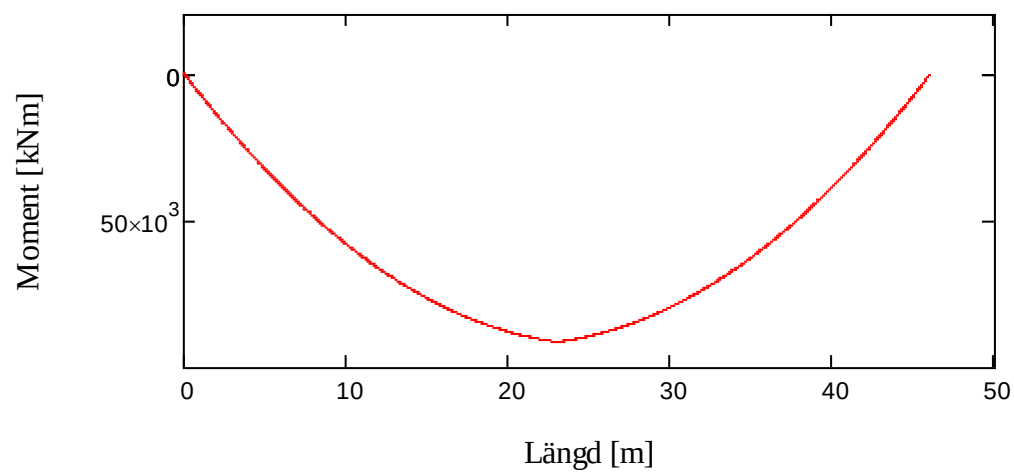
$$V_{1.\text{fall2.1.1.b}}(x_1) := R_{A.\text{fall2.1.1.b}} - q_{\text{fall2.1.1.b}} x_1$$

snitt 2: $l_{\text{bro}}/2 < x_2 < l_{\text{bro}}$

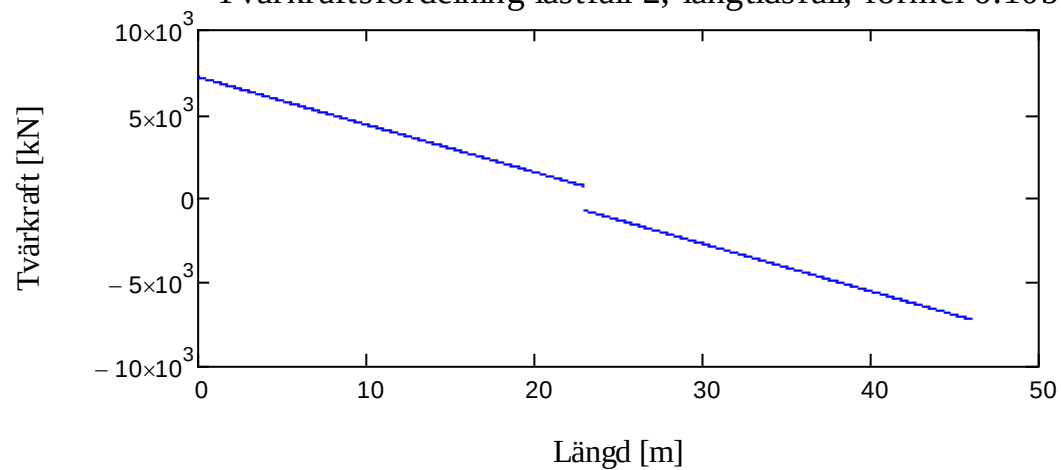
$$M_{2.\text{fall2.1.1.b}}(x_2) := R_{A.\text{fall2.1.1.b}} x_2 - q_{\text{fall2.1.1.b}} \frac{x_2^2}{2} - Q_{\text{fall2.1.1.b}} \left(x_2 - \frac{l_{\text{bro}}}{2} \right)$$

$$V_{2.\text{fall2.1.1.b}}(x_2) := R_{A.\text{fall2.1.1.b}} - Q_{\text{fall2.1.1.b}} - q_{\text{fall2.1.1.b}} x_2$$

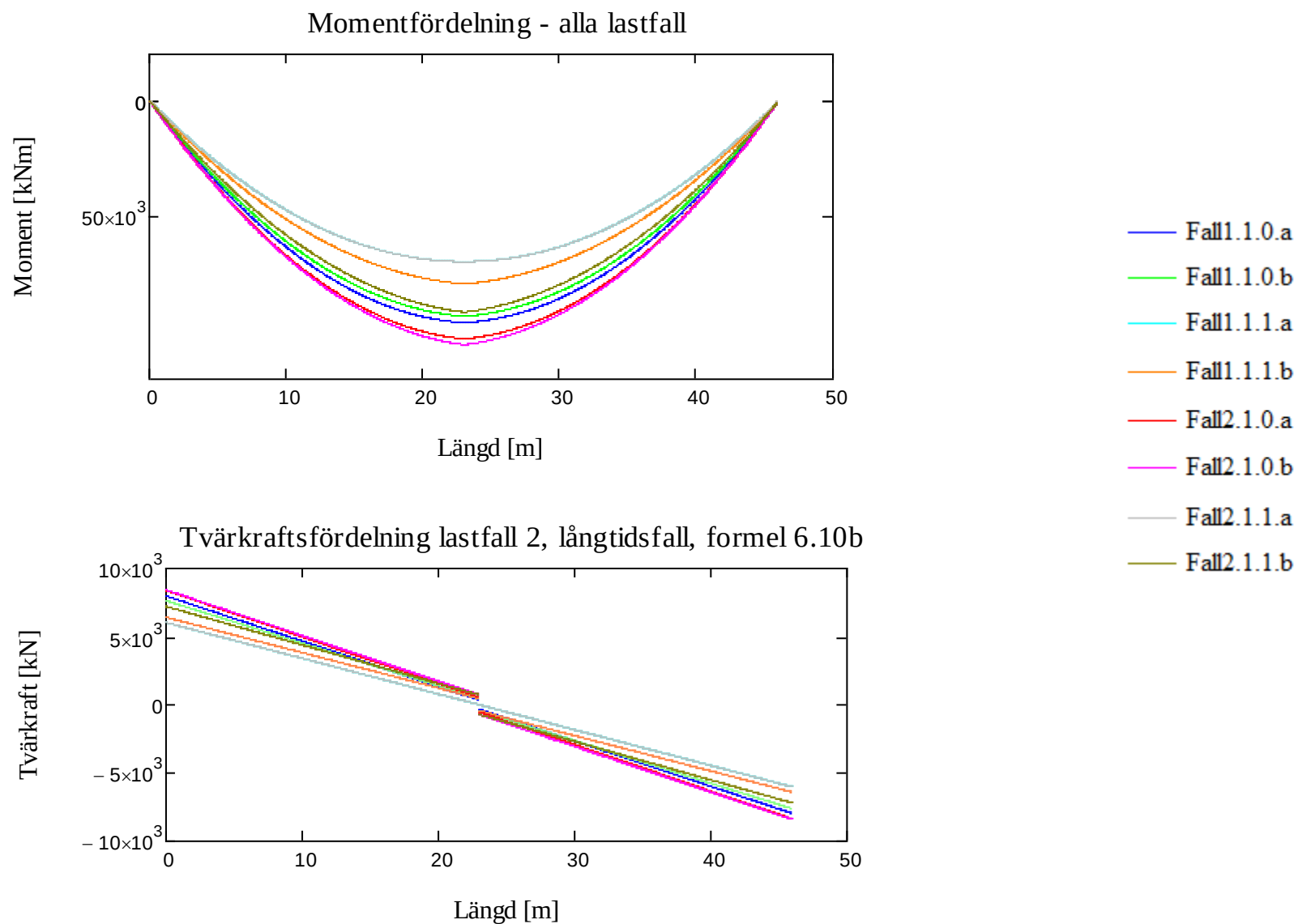
Momentfördelning lastfall 2, långtidsfall, formel 6.10b



Tvärkraftsfördelning lastfall 2, långtidsfall, formel 6.10b



Sammanställning av de olika lastfallen för att kunna avgöra det värsta fallet



Bilaga 9

– Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Variabelförteckning – Dimensionering av lådbalken

Versala latinska tecken

A	spännkabelankarets bredd
A_c	bruttotvårsnittets area, per balk
$A_{ct.botten}$	area av betongens dragzon i lådbotten omedelbart före sprickbildning
$A_{ct.liv}$	area av betongens dragzon i livet omedelbart före sprickbildning
A_{liv}	tvärsnittsarea för balklivet
A_p	spännarmeringsarea som krävs för att klara uppspänningskraften
A_{pi}	tvärsnittsarea, spännkabeltråd
$A_{rör}$	urspärningsrörens sammanlagda area
$A_{s.min}$	minsta mängd sprickfördelande slakarmering
$A_{s.min.botten}$	minsta mängd sprickfördelande slakarmering i lådbotten
$A_{s.min.liv}$	minsta mängd sprickfördelande slakarmering i livet
A_{sl}	parameter med krav
A_{slak}	slakarmeringens sammanlagda area
$A_{spänn}$	spännarmeringens sammanlagda area
A_{sw}	tvärsnittsarean hos en tvärarmeringsenhet

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

$A_{\varphi 16}$	tvärsnittsarea, slakarmering med diameter 16mm
$A_{\varphi 20}$	tvärsnittsarea, slakarmering med diameter 20mm
B	spännkabelankaret höjd
E_{cm}	sekantvärde för elasticitetsmodul, betong
$E_{cm,i}$	sekantvärde för elasticitetsmodul, betong
E_{ef}	effektiv elasticitetsmodul med hänsyn till krypning
E_p	elasticitetsmodul, spännstål
E_s	elasticitetsmodul, stål
$L_{fri.avstånd}$	minsta fria avstånd
$M_{1,g}$	maxmoment pga egentyngd
$M_{1,k}$	karakteristiskt maxmoment
M_{Ed}	dimensionerande maxmoment
M_{Ed}	lasteffekten för det dimensionerande fallet
M_{Rd}	preliminärt beräknad momentkapacitet
M_{upplag}	mothållande moment pga spännarmering
N_{Ed}	dimensionerande normalkraft
P_0	uppspänningskraft
P_{under}	undre gräns för spännkraft, med hänsyn till sprickbegränsning vid karakteristisk last

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

$P_{\text{över.sprick}}$	övre gräns för spännkraft, med hänsyn till sprickbegränsning vid uppspanning
$P_{\text{över.tryck}}$	övre gräns för spännkraft, men hänsyn till tryckspänningsbegränsning
$Q_{k.1}$	karateristisk punktlast med last 1 som huvudlast
$Q_{k.2}$	karakteristisk punktlast med last 2 som huvudlast
$Q_{k.max}$	dimensionerande punktlast
RH	relativ luftfuktighet
V_{Ed}	dimensionerande tvärkraft
$V_{Ed.dim.red}$	dimensionerande tvärkraft reducerad pga gynnsamma effekter av last nära upplag
$V_{Rd.c}$	tvärkraftskapacitet vid skjuvglidbrott

Gemena latinska tecken

a_{upplag}	upplagets längd
b	flänsbredd
b_1	flänsbredd, utanför livet
b_{1eff}	effektiv bredd, utanför livet
b_2	flänsbredd, över låda
b_{2eff}	effektiv bredd, över låda
b_{eff}	medverkande flänsbredd
$b_{hål}$	lådans invändiga bredd

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

b_{tot}	flänsbredd
b_{upplag}	livets ökade bredd vid upplag pga förankringsutrymme
b_w	lådlevets bredd
$c_{\text{min.b.rör}}$	täckande betongskikt med avseende på vidhäftning, spännarmering
$c_{\text{min.b.slak}}$	täckande betongskikt med avseende på vidhäftning, slakarmering
$c_{\text{min.dur}}$	täckande betongskikt med avseende på kloridinträngning
$c_{\text{min.rör}}$	minsta täckande betongskikt, spännarmering
$c_{\text{min.slak}}$	minsta täckande betongskikt, slakarmering
$c_{\text{nom.rör}}$	nominellt täckande betong, spännarmering
$c_{\text{nom.slak}}$	nominellt täckande betong, slakarmering
d	avstånd till spännarmeringens tyngdpunkt från tvärsnittets ovkant
d_g	största stenstorlek
d_p	avstånd till spännarmeringens tyngdpunkt från tvärsnittets ovkant
e_c	spännkraftens excentricitet från neutrala lagret
e_{slak}	slakarmeringen i tvärsnittsbottens excentricitet från neutrala lagret
$e_{\text{spänn}}$	spännkraftens excentricitet från neutrala lagret
f_b	vidhäftningshållfasthet
f_{cd}	dimensionerande tryckhållfasthet, betong

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

f_{ck}	karaktäristisk tryckhållfasthet, betong
$f_{ck,i}$	karaktäristisk tryckhållfasthet vid uppspanning, betong
f_{cm}	tryckhållfasthetsmedelvärde, betong
f_{ctd}	dimensionerande draghållfasthet, betong
$f_{ctk0.05}$	karaktäristisk draghållfasthet, 5 %-fraktil, betong
$f_{ctk0.05,i}$	karaktäristisk draghållfasthet vid uppspanning, 5 %-fraktil, betong
f_{ctm}	draghållfasthetsmedelvärde, betong
$f_{ctm,i}$	draghållfasthetsmedelvärde vid uppspanning, betong
$f_{p0.1k}$	0,1-gräns, den spänning som ger 0,1 % kvarstående deformation, spännstål
f_{pd}	dimensionerande gränsspänning, spännstål
f_{pud}	dimensionerande brotthållfasthet, spännstål
f_{puk}	karaktäristisk brotthållfasthet, spännstål
f_{yd}	dimensionerande flytgräns, stål
f_{yk}	karaktäristisk flytgräns, stål
f_{ywd}	dimensionerande flytgräns för tvärkraftsarmering
h_0	tvärsnittets nominella tjocklek
$h_{låda}$	lådans utvändiga höjd
$h_{spänn}$	höjden spännarmeringen är fördelad på

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

$h_{\text{vägbana}}$	broplattans höjd
I_c	bruttotvärnittets yttröghetsmoment
$I_{c.ef}$	ekvivalenta yttröghetsmomentet
k	faktor som beaktar spänningsfördelningen av inre spänningar uppkomna genom förhindrat rörelsebehov
k_1	nationell parameter
k_{12}	nationell parameter för beräkning av minsta fria avstånd mellan stänger
k_2	faktor för beräkning av $V_{Rd.c}$
k_{22}	nationell parameter för beräkning av minsta fria avstånd mellan stänger
$k.c$	faktor som beaktar spänningsfördelningen före sprickbildning
krav	minimikrav på slakarmeringsarea enligt TRVK Bro 11
l_0	avstånd mellan momentnollpunkter, longitudinell riktning
$l_{b.rqd}$	erforderlig förankringslängd
l_{bro}	brons längd i longitudinell riktning
l_{skarv}	skarvlängd
$l_{skarv.min}$	minimigräns för skarvlängd vid omlottskarvning
n_{botten}	minsta antal slakarmeringsjärn som behövs i livet
n_{bredd}	antal ankare som får plats i sidled
$n_{höjd}$	antal ankare som får plats i höjdledd

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

n_{kabel}	antal kabel som krävs för att klara uppspänningskraften
n_{lager}	antal lager som krävs för att få plats med spännarmeringen
$n_{\text{lager.exakt}}$	det oavrundade värdet för n_{lager}
$n_{\text{lager.prel}}$	preliminärt antaget antal lager med spännarmering
n_{liv}	minsta antal slakarmeringsjärn som behövs i livet
n_{min}	minsta antal slakarmeringsjärn som behövs allmänt
n_p	antal tråd som krävs för att klara uppspänningskraften
$n_{\text{rör}}$	antal spännkabelrör som ryms i ett lager
n_{slak}	antal slakarmeringsjärn i tvärsnittet
$p_{\text{nedböjning}}$	brons nedböjning
$q_{k.1}$	karateristisk jämnt utbredd last med last 1 som huvudlast
$q_{k.2}$	karateristisk jämnt utbredd last med last 1 som huvudlast
$q_{k.\text{max}}$	dimensionerande jämnt utbredd last
r_{inf}	nationell parameter
r_{sup}	nationell parameter
s_e	avstånd mellan kant och centrum foderrör
s_h	minsta fria avstånd mellan rör i samma lager, centrum till centrum
$s_{h.\text{prim}}$	minsta fria avstånd mellan rör i samma lager, kant till kant

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

$s_{l,max}$	övre gräns för centrumavstånd, tvärkraftsarmering
s_v	minsta fria avstånd mellan lager, centrum till centrum
$s_{v,prim}$	minsta fria avstånd mellan lager, kant till kant
s_1	maximalt centrumavstånd mellan byglar
s_2	valt centrumavstånd, byglar
$t_{betong,fläns}$	tjockleken på lådbotten
$t_{betong,liv}$	tjockleken på lådans sidor, även kallat liv då lådan betraktas som två T-balkar vid dimensionering
u	för uttorkning utsatt konstruktionsdels omkrets
$V_{Rd,s,min}$	tvärkraftskapaciteten, minimiarmering
x	minsta avstånd mellan ankare i x-led, centrum till centrum
x_c	bruttotvärsnittets tyngdpunkt i z-led från tvärsnittets ovkant
x_{dim}	avståndet till det dimensionerande snittet
x_{prim}	täckskikt i x-led vid ankring, kant till centrum
$x_{tp,p}$	spännarmeringens tyngdpunkt vid upplag
y	minsta avstånd mellan ankare i y-led, centrum till centrum
y_{prim}	täckskikt i y-led vid ankring, kant till centrum
y_{start}	minsta avstånd mellan ankare i y-led, centrum till centrum
z	inre hävarm för spännarmeringen

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Gemena grekiska tecken

α	vinkeln mellan tvärkraftsarmeringen och horisontalplanet
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_5, \alpha_6$	parametrar
α_{cc}	reduktionsfaktor för f.ck pga långvarig belastning, betong
α_{ct}	reduktionsfaktor för f.ck pga långvarig belastning, betong
α_{cw}	parameter som beaktar ogynnsam inverkan av tryckande normalkraft
$\alpha_{ef.p}$	effektiva nångonting faktorn, spännarmering
$\alpha_{ef.s}$	effektiva faktorn för omräkning till ekvivalent betongtvärsnitt, slakarmering
α_{Tc}	betongens termiska längdutvidgningskoefficient
β_{fcm}	faktor som beaktar hållfasthetsklass, betong
β_{t0}	faktor som beaktar betongens ålder vid pålastning
γ_c	partialkoefficient som beaktar modellosäkerheter och variationer i tvärsnittsmått, betong
γ_s	partialkoefficient för armeringsstål
ΔC_{dev}	tolerans, nationell parameter
Δl_{bro}	brons längdändring pga temperaturändring
ΔT	differensen mellan medeltemperaturen på vinter och sommaren
ϵ_{puk}	karaktäristisk gränstöjning, spännstål

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

ϵ_T	töjning pga temperaturändring
η	faktor som beaktar långtidsförlust med hänsyn till relaxation av spännstålet
η_1	faktor med hänsyn till vidhäftningsförhållanden
η_2	faktor som beaktar stångdiametern
Θ	vald lutning på trycksträvorna
v	nationell parameter
$v_{\min}$	nationell parameter
ρ_l	parameter med krav
ρ_w	minimigräns för mängden tvärkraftsarmering
$\rho_{w, \text{aktuell}}$	minsta tillåtna tvärkraftsarmeringsinnehåll
$\rho_{w, \min}$	minsta tillåtna tvärkraftsarmeringsinnehåll
$\sigma_{cc, \max}$	spänningskriterium för tryckspänning, betong
$\sigma_{cci, \max}$	spänningskriterium för tryckspänning vid uppspänning, betong
σ_{cp}	parameter med krav
$\sigma_{ct, \max}$	spänningskriterium för dragspänning, betong
$\sigma_{cti, \max}$	spänningskriterium för dragspänning vid uppspänning, betong
σ_{pi}	stålet uppspänning
$\sigma_{pi, \max}$	maximal stålsänning vid uppspänning

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

φ_{16}	diameter, slakarmering med diameter 16mm
φ_{20}	diameter, slakarmering med diameter 20mm
$\phi_{\text{oändlig}}$	slutligt kryptal
φ_p	diameter, spännkabeltråd
ϕ_{RH}	faktor som beaktar omgivningens relativa fuktighet
$\varphi_{\text{rör}}$	diameter, spännarmering
φ_{slak}	diameter, slakarmering

Innehållsförteckning

1. Dimensionering av lådbalken	1
1.1 Förutsättningar	1
1.2 Preliminär dimensionering för brottgränstillstånd	4
1.2.1 Tvärsnitt	4
1.2.2 Möjlig placering av spännkablar	7
1.2.3 Preliminärt val av förspänningskraft	10
1.2.4 Anordning av spännkablar och övrig längsarmering	13
1.2.5 Möjlig placering av spännkabelsförankring	16
1.3 Kontroll av nedböjning	19
1.4 Beräkning av förlängning av konstruktionen på grund av skillnader i temperatur	22
1.5 Dimensionering av slakarmering samt tvärkraftsarmering i längsled	23
1.5.1 Beräkning av minsta armeringsmängd	25
1.5.2 Skarvning av armering	27
1.5.3 Kontroll av livtryckbrott, utan tvärkraftsarmering	28
1.5.4 Kontroll av tvärkraftskapacitet vid skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering	29
1.5.5 Kontroll av livtryckbrott med tvärkraftsarmering	31
1.5.6 Kontroll av risk för skjuvglidbrott, med tvärkraftsarmering	33
1.5.7 Kontroll av minsta mängd tvärkraftsarmering	36
1.5.8 Anpassning av tvärarmeringsintensitet	37

1. Dimensionering av lådbalken

Dimensioneringsgången följer Betonghandbok - Konstruktion, avsnitt 6.2:7 Exempel 4.

Antagande: full samverkan mellan lådan och brobaneplattan

1.1 Förutsättningar

Då bron fungerar som en fritt upplagd balk i longitudinell led kommer maximalt moment återfinnas på mitten av bron. Från lastframtagningen ges att Lastfall 2, där all last är placerad i ytterkanten av bron, beräknad med formel 6.10 b för korttidsfallet är det dimensionerande för både moment och tvärkraft.

$$M_{Ed} := M_{1.fall2.1.0} \cdot \left(\frac{l_{bro}}{2} \right) = 105.14 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

Betong C 60/75

$$f_{ck} := 60 \text{ MPa}$$

Vid uppspanning har betongen en hållfasthet motsvarande klass C 55/67

$$\alpha_{cc} := 1.0$$

$$f_{ck,i} := 55 \text{ MPa}$$

$$\gamma_C := 1.5$$

$$f_{ctm,i} := 4.2 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0.05,i} := 3.0 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0.05} := 3.1 \text{ MPa}$$

$$E_{cm,i} := 38 \text{ GPa}$$

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

$$\alpha_{ct} := 1.0$$

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_C} = 2.067 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} := 4.4 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} := 39 \text{ GPa}$$

Armeringsstål B500b

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

karaktäristisk flytgräns

$$\gamma_S := 1.15$$

partialkoefficient för armeringsstål

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_S} = 434.78 \text{ MPa}$$

dimensionerande flytgräns

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

Spännstål

Spänntråd ϕ_p 15.7mm

$$f_{p0.1k} := 1640 \text{ MPa}$$

$$E_p := 195 \text{ GPa}$$

$$f_{puk} := 1860 \text{ MPa}$$

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

$$f_{pd} := \frac{f_{p0.1k}}{\gamma_s} = 1.426 \text{ GPa}$$

$$f_{pud} := \frac{f_{puk}}{\gamma_s} = 1.617 \text{ GPa}$$

Spänningskriterier

För att den använda beräkningsmodellen ska vara tillämplig måste följande villkor vara uppfyllda vid uppspanning och i brukgränstillstånd:

$$\sigma_{ct,max} := f_{ctk0.05} = 3.1 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{cti,max} := f_{ctk0.05,i} = 3 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{cc,max} := 0.45 \cdot f_{ck} = 27 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{cci,max} := 0.6 \cdot f_{ck,i} = 33 \cdot \text{MPa}$$

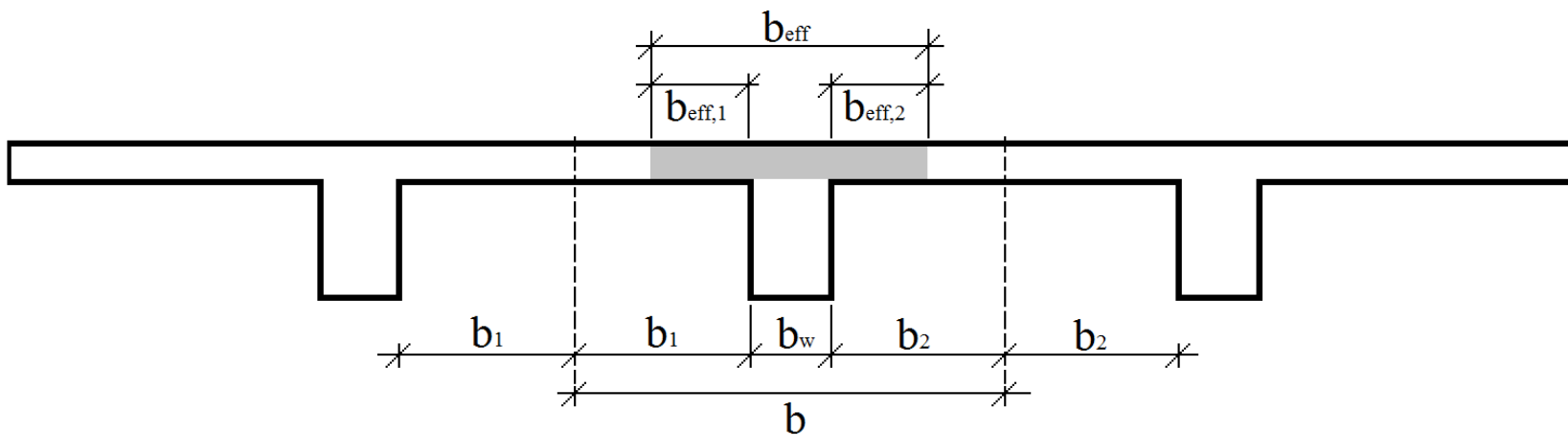
1.2 Preliminär dimensionering för brottgränstillstånd

1.2.1 Tvärsnitt

Medverkande flänsbredd

Då bron är fritt upplagd utan några mittstöd är avståndet mellan momentnollpunkterna detsamma som bronns fulla längd:

$$l_0 := l_{bro} = 46\text{m}$$



Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

$$b_w := t_{\text{betong.liv}} = 1\text{ m}$$

$$b_1 := \frac{b_{\text{vägbana}} - b_{\text{hål}} - 2 \cdot b_w}{2} = 2.65\text{ m}$$

$$b_2 := \frac{b_{\text{hål}}}{2} = 3\text{ m}$$

$$b_{\text{tot}} := b_1 + b_w + b_2 = 6.65\text{ m}$$

$$b_{1.\text{eff}} := 0.2 \cdot b_1 + 0.1 \cdot l_0 = 5.13\text{ m}$$

$$b_{1.\text{eff}} \leq 0.2 \cdot l_0 = 1 \quad \text{OK}$$

1 är sant

$$b_{1.\text{eff}} \leq b_1 = 0 \quad \text{Ej OK}$$

0 är falskt

$b_{1.\text{eff}}$ sätts till b_1 då $b_{1.\text{eff}}$ inte kan överskrida b_1

$$b_{1.\text{eff.ny}} := b_1 = 2.65\text{ m}$$

$$b_{2.\text{eff}} := 0.2 \cdot b_2 + 0.1 \cdot l_0 = 5.2\text{ m}$$

$$b_{2.\text{eff}} \leq 0.2 \cdot l_0 = 1 \quad \text{OK}$$

$$b_{2.\text{eff}} \leq b_2 = 0 \quad \text{Ej OK}$$

$b_{2.\text{eff}}$ sätts till b_2 då $b_{2.\text{eff}}$ inte kan överskrida b_2

$$b_{2.\text{eff.ny}} := b_2 = 3\text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} := b_{1.\text{eff.ny}} + b_{2.\text{eff.ny}} + t_{\text{betong.liv}} = 6.65\text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} \leq 0.2 \cdot l_0 = 1 \quad \text{OK}$$

Tvärsnittskonstanter

Tvärsnittskonstanter för betongtvärsnittet (bruttotvärsnitt utan hänsyn till armering och ursparningar):

$$A_c := h_{\text{vägbana}}(b_{\text{eff}} - t_{\text{betong.fläns}}) + t_{\text{betong.liv}}(h_{\text{vägbana}} + h_{\text{låda}}) + \frac{b_{\text{hål}}}{2} \cdot t_{\text{betong.fläns}} = 6.06 \text{ m}^2$$

Bruttotvärsnittets tyngdpunkt i z-led räknat från tvärsnittets ovkant:

$$x_c := \frac{t_{\text{betong.liv}}(h_{\text{låda}} + h_{\text{vägbana}}) \cdot \frac{h_{\text{låda}} + h_{\text{vägbana}}}{2} + b_1 \cdot h_{\text{vägbana}} \cdot \frac{h_{\text{vägbana}}}{2} + b_2 \cdot h_{\text{vägbana}} \cdot \frac{h_{\text{vägbana}}}{2} \dots + \frac{b_{\text{hål}}}{2} \cdot t_{\text{betong.fläns}} \left(h_{\text{vägbana}} + h_{\text{låda}} - \frac{t_{\text{betong.fläns}}}{2} \right)}{A_c} = 1.108 \text{ m}$$

$$I_c := \frac{b_1 \cdot h_{\text{vägbana}}^3}{12} + b_1 \cdot h_{\text{vägbana}} \left(x_c - \frac{h_{\text{vägbana}}}{2} \right)^2 - \frac{b_2 \cdot h_{\text{vägbana}}^3}{12} + b_2 \cdot h_{\text{vägbana}} \left(x_c - \frac{h_{\text{vägbana}}}{2} \right)^2 \dots + \frac{t_{\text{betong.liv}}(h_{\text{låda}} + h_{\text{vägbana}})^3}{12} + t_{\text{betong.liv}}(h_{\text{låda}} + h_{\text{vägbana}}) \left(\frac{h_{\text{låda}} + h_{\text{vägbana}}}{2} - x_c \right)^2 \dots + \frac{b_2 \cdot t_{\text{betong.fläns}}^3}{12} + b_2 \cdot t_{\text{betong.fläns}} \left(h_{\text{vägbana}} + h_{\text{låda}} + \frac{t_{\text{betong.fläns}}}{2} - x_c \right)^2 = 5.441 \text{ m}^4$$

1.2.2 Möjlig placering av spännkablar

Utgående från de avstånd som krävs mellan kant och armering samt kablar emellan med hänsyn till kloridinträngning och vidhäftning avgörs hur många kablar som får plats i sid- och höjdedd i mittsnitt. För upplagssnitten studeras avståndskraven vid förankring av spännkablar.

Minsta täckande betongskikt för **slakarmeringen**:

$$\phi_{slak} := 0.020m$$

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

$$c_{min.dur} := 30mm$$

$$c_{min.b.slak} := \phi_{slak} = 20 \cdot mm$$

$$c_{min.slak} := \max(c_{min.dur}, c_{min.b.slak}, 10mm) = 30 \cdot mm$$

Nominellt täckande betongskikt för slakarmeringen:

$$c_{nom.slak} := \text{Ceil}(c_{min.slak} + \Delta c_{dev}, 5mm) = 40 \cdot mm$$

Toleransen. En tillåten måttavvikelse som är en nationell parameter. Rekommenderas till 10 mm.

Täckande betongsskikt med avseende på kloridinträngning

Täckande betongsskikt med avseende på armeringens vidhäftning.

Minsta täckande betongskikt för **foderrör**:

Antar cirkulära foderrör.

$$\phi_{rör} := 85mm$$

$$c_{min.b.rör} := \phi_{rör} = 85 \cdot mm$$

AnC15-ankare, 12C15

Täckande betongsskikt med avseende på armeringens vidhäftning.

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

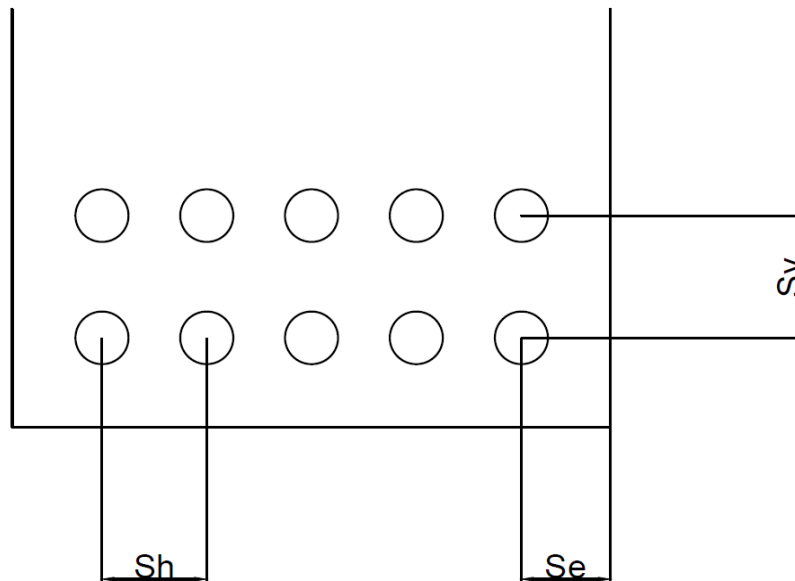
$$c_{\min.\text{rör}} := \max(c_{\min.\text{dur}}, c_{\min.\text{b.rör}} + 10\text{mm}) = 85\text{ mm}$$

Nominellt täckande betongskikt för foderrör:

$$c_{\text{nom.rör}} := \text{Ceil}(c_{\min.\text{rör}} + \Delta c_{\text{dev}}, 5\text{mm}) = 95\text{ mm}$$

Avståndskrav för foderrör:

(EK2 avsnitt 8.10.1.3)



Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Minsta fria avstånd mellan rör i samma lager:

$$d_g := 16\text{mm}$$

$$s_{h.\text{prim}} := \max(d_g, \phi_{\text{rör}}, 50\text{mm}) = 85\text{mm}$$

Centrumavstånd mellan rör i samma lager:

$$s_h := s_{h.\text{prim}} + 2 \cdot \frac{\phi_{\text{rör}}}{2} = 170\text{mm}$$

Minsta fria avstånd mellan lager:

$$s_{v.\text{prim}} := \max(d_g, \phi_{\text{rör}}, 40\text{mm}) = 85\text{mm}$$

Centrumavstånd mellan lager:

$$s_v := s_{v.\text{prim}} + 2 \cdot \frac{\phi_{\text{rör}}}{2} = 170\text{mm}$$

Avstånd mellan kant och centrum foderrör:

$$s_e := \max\left(c_{\text{nom.rör}} + \frac{\phi_{\text{rör}}}{2}, c_{\text{nom.slak}} + \phi_{\text{slak}} + s_{h.\text{prim}}\right) = 0.145\text{m}$$

Antal rör som ryms i ett lager:

$$n_{\text{rör}} := \text{floor}\left(\frac{t_{\text{betong.liv}} - 2 \cdot s_e}{s_h} + 1\right) = 5$$

Högst 5 rör ryms i ett lager.

Största stenstorlek, hämtad ur betongrecept Bilaga XX.

1.2.3 Preliminärt val av förspänningskraft

Antag spännkraft efter lång tid $P_{\text{oändlig}} = \eta \cdot P_i = 0.8 \cdot P_i$

För iterationen:

$$\eta_{\text{lager.prel}} = 7$$

Justeras för iterationen, $\eta_{\text{lager.prel}} = \eta_{\text{lager}}$ i slutändan

Effektiv höjd:

$$d_p := h_{\text{låda}} - \left(s_e + \frac{\eta_{\text{lager.prel}} - 1}{2} \cdot s_h \right) = 1.545 \text{ m}$$

Spännkraftens excentricitet:

$$e_c := d_p - x_c = 0.437 \text{ m}$$

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Erforderlig spännkraft med hänsyn till sprickbegränsning vid karaktäristisk last

$$r_{inf} := 1.0$$

$$\eta := 0.9$$

Faktor som beaktar långtidsförlust med hänsyn till spännstål

$$Q_{k1} := 2 \cdot TS_1 \cdot f_{P2} + \psi_{0,punkt} \cdot 2 \cdot TS_2 \cdot f_{P2} = 1.437 \times 10^3 \cdot kN$$

$$Q_{k2} := 2 \cdot TS_2 \cdot f_{P2} + \psi_{0,punkt} \cdot 2 \cdot TS_1 \cdot f_{P2} = 1.357 \times 10^3 \cdot kN$$

$$q_{k1} := \frac{A_{tvärsnitt}}{2} \cdot \rho_{betong} + UDL_1 \cdot f_{p2} + \psi_{0,utbredd} UDL_2 \cdot f_{p2} = 260.39 \frac{kN}{m}$$

$$q_{k2} := \frac{A_{tvärsnitt}}{2} \cdot \rho_{betong} + UDL_2 \cdot f_{p2} + \psi_{0,utbredd} UDL_1 \cdot f_{p2} = 248.634 \frac{kN}{m}$$

$$Q_{kmax} := \max(Q_{k1}, Q_{k2}) = 1.437 \times 10^3 \cdot kN$$

$$q_{kmax} := \max(q_{k1}, q_{k2}) = 260.39 \frac{kN}{m}$$

$$M_{1,k} := \frac{Q_{kmax} \cdot l_{bro}}{4} + \frac{q_{kmax} \cdot l_{bro}^2}{8} = 85.396 MN \cdot m$$

$$P_{under} := \left[\frac{1}{\eta} \cdot \frac{M_{1,k} - \frac{l_c}{h_{låda} + h_{vägbana} - x_c} \cdot \sigma_{ct,max}}{e_c + \frac{l_c}{(h_{låda} + h_{vägbana} - x_c) \cdot A_c}} \right] \cdot \frac{1}{r_{inf}} = 79.234 MN$$

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Begränsning av spännkraft vid uppspanning med hänsyn till sprickbegränsning

$$r_{\text{sup}} := 1$$

$$M_{1.g} := \frac{\frac{A_{\text{tvärsnitt}}}{2} \cdot \rho_{\text{betong}} l_{\text{bro}}^2}{8} = 58.917 \text{ MN}\cdot\text{m}$$

$$P_{\text{över.sprick}} := \frac{-M_{1.g} + \frac{l_c}{x_c} \cdot \sigma_{\text{cti.max}}}{e_c - \frac{l_c}{x_c \cdot A_c}} \cdot \frac{1}{r_{\text{sup}}} = 118.37 \text{ MN}$$

Begränsning av spännkraft vid uppspanning med hänsyn till tryckspänningsbegränsning

$$P_{\text{över.tryck}} := \frac{M_{1.g} + \frac{l_c}{h_{\text{låda}} + h_{\text{vägbana}} - x_c} \cdot \sigma_{\text{cci.max}}}{e_c + \frac{l_c}{(h_{\text{låda}} + h_{\text{vägbana}} - x_c) \cdot A_c}} \cdot \frac{1}{r_{\text{sup}}} = 172.497 \text{ MN}$$

1.2.4 Anordning av spännkablar och övrig längsarmering

Val av spännkraft och spännenheter

Maximal stålspänning vid uppspänning:

$$\sigma_{pi,max} := \min(0.8 \cdot f_{puk}, 0.9 \cdot f_{p0.1k}) = 1.476 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

Välj stålspänning vid uppspänning. Måste vara mindre än $\sigma_{pi,max}$

$$\sigma_{pi} := 1350 \text{MPa}$$

$$P_0 := \frac{1.1 P_{\text{under}}}{0.8} = 108.947 \text{MN}$$

1/0.8 representerar den uppskattade 20%-iga spännkraftsförlusten pga krympning, krypning och friktion. Uppspänningskraften får inte överskrida någon av de övre gränser som angivits för att undvika uppsprickning vid uppspänning samt krossning av tryckt betong.

$$P_0 \leq P_{\text{över.sprick}} = 1 \quad \text{OK}$$

$$P_0 \leq P_{\text{över.tryck}} = 1 \quad \text{OK}$$

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

$$A_p := \frac{P_0}{\sigma_{pi}} = 0.081 \text{ m}^2$$

$$\phi_p := 15.7 \text{ mm}$$

$$A_{pi} := \phi_p^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 1.936 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Antal tråd som krävs:

$$n_p := \frac{A_p}{A_{pi}} = 416.863$$

Antal kablar á 12 tråd:

$$n_{kabel} := \text{ceil}\left(\frac{n_p}{12}\right) = 35$$

Antal lager som krävs:

$$n_{lager} := \text{ceil}\left(\frac{n_{kabel}}{n_{rör}}\right) = 7$$

$$n_{lager.exakt} := \frac{n_{kabel}}{n_{rör}} = 7$$

Höjden lagren är fördelade på:

$$h_{spänn} := s_e + (n_{lager} - 0.5) \cdot s_h = 1.25 \text{ m}$$

Preliminär kontroll av momentkapacitet

$$d_p = 1.545\text{m}$$

$$z := d_p - \frac{h_{\text{vägbana}}}{2} = 1.345\text{m}$$

$$M_{Rd} := f_{pd} \cdot A_p \cdot z = 154.793\text{MN}\cdot\text{m}$$

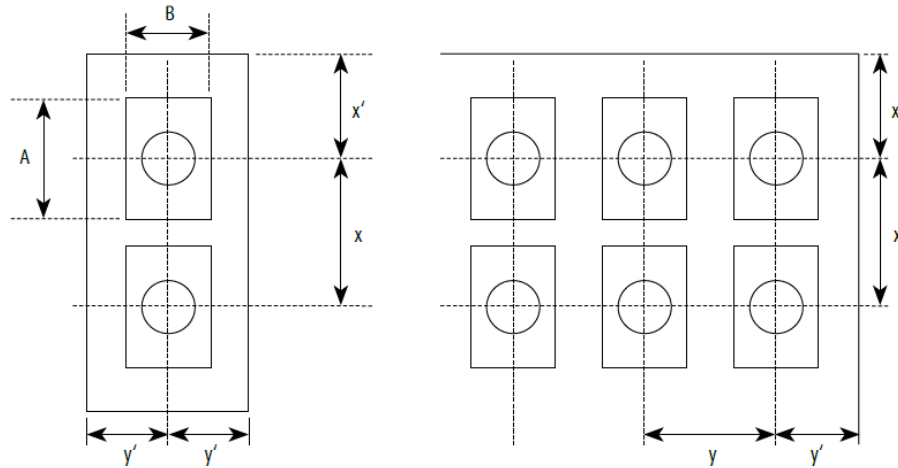
$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 1 \quad \text{OK}$$

Sammanfattning

Använder 7x5 kablar, 12 C 15 ur Freyssinetsystemet.

1.2.5 Möjlig placering av spännkabelsförankring

Väljer att använda ett Freyssinetssystem för spännarmeringen.



12 C 15.7

$$A_s := 240\text{mm}$$

$$B := 200\text{mm}$$

$$a := 300\text{mm}$$

$$b := a = 0.3\text{m}$$

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Centrum - centrum avstånd mellan spännkablar

$$x := A + 30\text{mm} = 270\text{mm}$$

$$y_{\text{start}} := B + 30\text{mm} = 230\text{mm}$$

$$0.85a \leq x = 1 \quad \text{OK}$$

$$0.85b \leq y_{\text{start}} = 0 \quad \text{Ej OK}$$

$$y := 0.85b = 255\text{mm}$$

Täckskikt, kant till spännkabelmitt

$$x_{\text{prim}} := \text{Ceil}(0.5 \cdot x + 10\text{mm}, 5\text{mm}) = 150\text{mm}$$

$$y_{\text{prim}} := \text{Ceil}(0.5 \cdot y + 10\text{mm}, 5\text{mm}) = 140\text{mm}$$

Antal ankare som får plats i sidled

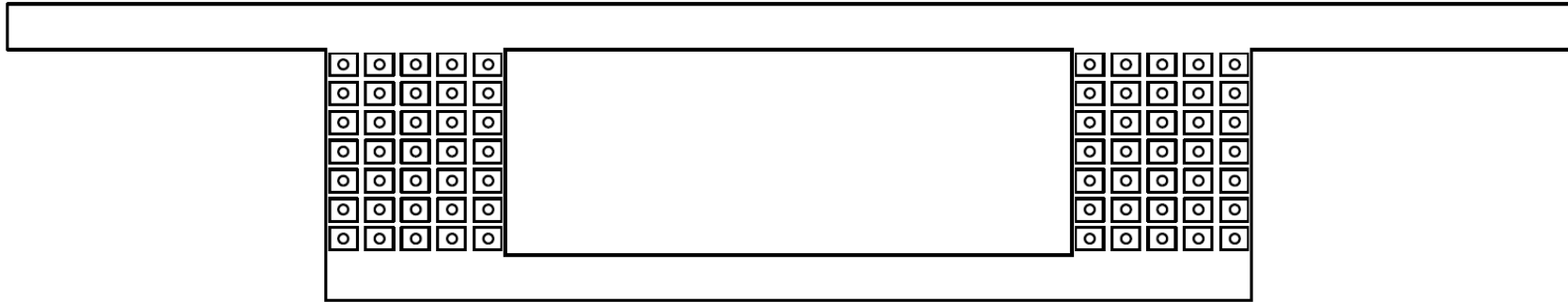
$$n_{\text{bredd}} := \text{floor} \left[\left(t_{\text{betong.liv}} - \max(s_e, x_{\text{prim}}) \right) \cdot \frac{1}{x} + 0.5 \right] = 3$$

Antal ankare som får plats i höjdedd

$$n_{\text{höjd}} := \text{floor} \left[\left(h_{\text{låda}} - \max(s_h, y_{\text{prim}}) \right) \cdot \frac{1}{y} + 0.5 \right] = 8$$

Förankringsschema

Livet breddas mot upplagen för att få plats med 5 ankare i bredd. Detta ger 6 rader med 5 kablar i varje lager. Vid noggrannare dimensionering finns alternativet att korta av spännarmeringen och förankra de avkortade kablarna i klackar på insidan av lådan. I det fallet behövs ingen breddning av livet närmare upplagen.



Det breddade livet ges en ny bredd enligt följande:

$$b_{\text{upplag}} := \max(s_e, x_{\text{prim}}) + 5 \cdot y + 0.5 \cdot y = 1.552 \text{ m}$$

Armeringens tyngdpunkt vid upplag

$$x_{\text{tp.p}} := h_{\text{vägbana}} + 0.5y + \frac{n_{\text{lager}}}{2} \cdot y = 1.42 \text{ m}$$

Mothållande moment pga spännarmering

Eftersom spännarmeringen ligger i en parabelform försöker den böja upp bron i en båge vid uppspänning. Detta motsvaras av ett mothållande moment i vardera änden av bron, beräknad utifrån armeringens excentricitet och uppspänningskraften. I långtidsfallet ligger spännkraften på den undre uppspänningsgränsen.

$$M_{\text{upplag}} := 1.1P_{\text{under}}(x_{\text{tp.p}} - x_c) = 27.229 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

1.3 Kontroll av nedböjning

Största nedböjningen på en fritt upplagd balk med jämnt utbredd last och punklast på mitten beräknas enligt enlighet med elementarfall.

Beräkning av den effektiva E-modulen med hänsyn till krypning

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 68 \text{ MPa}$$

$$\beta_{fcm} := 1.93$$

$$\beta_{t0} := 0.48$$

$$RH := 80\%$$

$$A_c = 6.06 \text{ m}^2$$

$$u := h_{\text{vägband}} + b_1 + h_{\text{låda}} + \frac{b_{\text{låda}}}{2} + 2 \cdot \frac{b_{\text{hål}}}{2} + h_{\text{hål}} = 17.05 \text{ m}$$

$$h_0 := \frac{2 \cdot A_c}{u} = 0.711 \text{ m}$$

$$\varphi_{RH} := \left[1 + \frac{1 - RH}{0.1 \cdot \sqrt{\frac{h_0}{\text{m}} \cdot 10^3}} \cdot \left(\frac{35 \text{ MPa}}{f_{cm}} \right)^{0.7} \right] \cdot \left(\frac{35 \text{ MPa}}{f_{cm}} \right)^{0.2} = 0.999$$

$$\varphi_{\text{oändlig}} = \varphi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{t0} = 0.925$$

$$E_{ef} := \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_{\text{oändlig}}} = 20.256 \text{ GPa}$$

Faktor som beaktar betongens hållfasthetsklass, interpolerad från tabellvärden

Då betongens ålder vid pålastning, t_0 , är ca 30 dygn

Enligt EC2

Utsatt konstruktionsdels omkrets

Nominell tjockleken för en representativ vägg

Faktor som beaktar omgivningens relativa fuktighet RH

Kryptal

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Ekvivalenta yttröghetsmomentet

$$A_{\text{rör}} := n_{\text{rör}} \cdot n_{\text{lager}} \frac{\phi_{\text{rör}}^2 \cdot \pi}{4} = 0.1986 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{spänn}} := n_{\text{rör}} \cdot n_{\text{lager}} \frac{12 \phi_{\text{p}}^2 \cdot \pi}{4} = 0.0813 \text{ m}^2$$

$$A_{\phi 20} := \pi \cdot \frac{\phi_{\text{slak}}^2}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \cdot \text{m}^2$$

$$\alpha_{\text{ef.s}} := \frac{E_{\text{s}}}{E_{\text{cm}}} (1 + \varphi_{\text{oändlig}}) = 9.874$$

$$\alpha_{\text{ef.p}} := \frac{E_{\text{p}}}{E_{\text{cm}}} (1 + \varphi_{\text{oändlig}}) = 9.627$$

$$e_{\text{spänn}} := e_{\text{c}} = 0.437 \text{ m}$$

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

$$e_{slak1} := h_{vägbana} + h_{låda} - \frac{t_{betong,fläns}}{2} - x_c = 1.292m$$

$$e_{slak2} := h_{vägbana} + h_{låda} - \left(70mm + \frac{9-1}{2} \cdot 170.18mm \right) - x_c = 0.742m$$

$$e_{slak3} := h_{vägbana} + h_{låda} - 70mm - x_c = 1.422m$$

$$e_{slak4} := \frac{(x_c - h_{vägbana})}{2} = 0.354m$$

$$e_{slak5} := x_c - \frac{h_{vägbana}}{2} = 0.908m$$

$$I_{c,ef} := I_c + (\alpha_{ef,s} - 1) \cdot 20A_{\phi 20} \cdot e_{slak1}^2 + (\alpha_{ef,s} - 1) \cdot 18A_{\phi 20} \cdot e_{slak2}^2 + (\alpha_{ef,s} - 1) \cdot 4A_{\phi 20} \cdot e_{slak3}^2 + (\alpha_{ef,s} - 1) \cdot 4A_{\phi 20} \cdot e_{slak4}^2 + (\alpha_{ef,s} - 1) \cdot 48A_{\phi 20} \cdot e_{slak5}^2 \dots = 5.696m^4$$

Beräkning av brons totala nedböjning

Nedböjningen beräknas utifrån elementarfall för en fritt upplagd balk.

$$p_{nedböjning} = \frac{-M_{upplag} l_{bro}^2}{16 \cdot E_{ef} \cdot I_{c,ef}} + \frac{(Q_{k,max} \cdot l_{bro}^3)}{48 \cdot E_{ef} \cdot I_{c,ef}} + \frac{(q_{k,max} \cdot 5 \cdot l_{bro}^4)}{384 \cdot E_{ef} \cdot I_{c,ef}} + \frac{-M_{upplag} l_{bro}^2}{16 \cdot E_{ef} \cdot I_{c,ef}} = 0.094m$$

Kravet på nedböjning för trafikbroar måste uppfyllas:

$$p_{nedböjning} \leq \frac{l_{bro}}{400} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\frac{l_{bro}}{400} = 0.115m$$

1.4 Beräkning av förlängning av konstruktionen på grund av skillnader i temperatur

$$\varepsilon_T = \alpha_{TC} \cdot \Delta T$$

Där:

$$\alpha_{TC} := 9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$$

$$\Delta T := (40 + 273) \text{K} - [(-20) + 273] \text{K} = 60 \text{K}$$

Differensen mellan antagna extremtemperaturer för vinter och sommar

$$\varepsilon_T := \alpha_{TC} \cdot \Delta T = 5.4 \times 10^{-4}$$

Multipliserar med hela längden för att få ut förlängningen

$$\Delta l_{bro} := \varepsilon_T \cdot l_{bro} = 24.84 \text{mm}$$

1.5 Dimensionering av slakarmering samt tvärkraftsarmering i längsled

Tvärsnittet är i stadium 3 vid beräkning av brottgräns.

Tvärsnittskonstanter

$$l_{bro} = 46\text{m}$$

$$h_{vägbana} = 0.4\text{m}$$

Den effektiva bredden

$$h_{låda} = 2.2\text{m}$$

$$t_{betong.liv} = 1\text{m}$$

$$b_{hål} = 6\text{m}$$

$$t_{betong.fläns} = 0.4\text{m}$$

$$x_c = 1.108\text{m}$$

Tvärsnittsarea för balklivet

$$A_{liv} := h_{vägbana} \frac{b_{vägbana}}{2} + h_{låda} t_{betong.liv} = 4.86\text{m}^2$$

Dimensionerande last

$$M_{Ed} = 105.14\text{MN}\cdot\text{m}$$

Maxmoment från lastframtagningen

$$V_{Ed} := 8.424\text{MN}$$

Maximal tvärkraft från lastframtagningen

$$N_{Ed} := P_{under} = 79.234\text{MN}$$

Kraft från spännarmeringen, positiv vid tryck

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Materialegenskaper

Armeringsstål B500b

$$\gamma_S = 1.15$$

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

$$f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$$

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

$$A_{\phi 20} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{spänn}} = 0.081 \text{ m}^2$$

Spännarmeringens sammanlagda area

Betong C60/75

$$\alpha_{cc} = 1$$

$$\gamma_C = 1.5$$

$$f_{ck} = 60 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 4.4 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 40 \text{ MPa}$$

$$d := d_p = 1.545 \text{ m}$$

1.5.1 Beräkning av minsta armeringsmängd

För beräkning av minsta mängd sprickfördelande armering används ekvationen:

$$A_{s,min} \geq \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ctm} \cdot A_{ct}}{f_{yk}} \quad \text{Ekv B9-21}$$

Villkoret skall vara uppfyllt för både fläns och liv

$$k_c := 0.4$$

$$k := 0.65$$

Minimiarmering för dragzonen i livet

$$A_{ct,liv} := \left[(h_{vågbanan} + h_{låda} - x_c) \cdot t_{betong,liv} \right]^2 = 2.985 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min,liv} := \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ctm} \cdot A_{ct,liv}}{f_{yk}} = 6.829 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Antal stänger som behövs i den dragna zonen

$$n_{liv} := \text{ceil} \left(\frac{A_{s,min,liv}}{A_{\phi 20}} \right) = 22$$

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Minimiarmring för lådbotten

$$A_{ct.botten} := b_{hå} \cdot t_{betong.fläns} = 2.4 m^2$$

$$A_{s.min.botten} := \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ctm} \cdot A_{ct.botten}}{f_{yk}} = 5.491 \times 10^{-3} m^2$$

Antal stänger som behövs i den dragna zonen

$$n_{botten} := \text{ceil} \left(\frac{A_{s.min.botten}}{A_{\phi 20}} \right) = 18$$

Enligt TRVK bro 11 så skall även detta villkor vara uppfyllt

$$A_{s.min} \geq 4 \frac{cm^2}{m}$$

Antal järn som behövs för att uppfylla detta villkor, använder $\phi 20$ järn

$$krav := 4 \frac{cm^2}{m}$$

$$n_{min} := \frac{krav \cdot 4}{0.2^2 cm \cdot \pi} = 1.273$$

Detta medför att det minst behövs 2 järn per meter

Minsta avstånd mellan stängerna

$$d_g = 16 mm$$

$$k_{12} := 1.0$$

$$k_{22} := 5 mm$$

$$L_{fri.avstånd} := \max(k_{12} \cdot \phi_{20}, d_g + k_{22}, 20 mm) = 0.021 m$$

Största stenstorlek i ballast

Nationell parameter

Nationell parameter

Minsta avstånd mellan stängerna

1.5.2 Skarvning av armering

Skarvlängden för en omlottskarv hos den längsgående armeringen bestäms av följande uttryck:

$$l_{\text{skarv}} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd}$$

Där:

$$l_{b.rqd} = \frac{f_{yd} \cdot \phi 20}{f_b \cdot 4}$$

Erforderlig förankringslängd

$$f_b = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

Vidhäftningshållfasthet

$$\eta_1 := 0.7$$

Faktor med hänsyn till vidhäftningsförhållanden

$$\eta_2 := 1.0$$

Faktor som beaktar stångdiametern

$$f_b := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3.255 \text{ MPa}$$

$$l_{b.rqd} := \frac{f_{yd} \cdot \phi 20}{f_b \cdot 4} = 0.668 \text{ m}$$

Väljer alla ingående α till 1 så är beräkningen på den säkra sidan

$$\alpha_1 := 1.0$$

$$\alpha_2 := 1.0$$

$$\alpha_3 := 1.0$$

$$\alpha_5 := 1.0$$

$$\alpha_6 := 1.0$$

Skarvlängden blir då:

$$l_{\text{skarv}} := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd} = 0.668 \text{ m}$$

Dock måste omlottskarven minst vara:

$$l_{\text{skarv.min}} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd}, 15 \cdot \phi 20, 200 \text{ mm}) = 0.3 \text{ m}$$

Detta medför att omlottskarven för minimiarmeringen blir 0.670m

1.5.3 Kontroll av livtryckbrott, utan tvärkraftsarmering

Följande beräkningar avser att kontrollera risken för livtryckbrott och skjuvglidbrott ifall det inte är inlagd någon tvärkraftsarmering i längsgående riktning.

$$V_{Ed} = 8.424 \text{ MN}$$

Enligt EC2 skall följande uttryck vara uppfyllt med hänsyn till risken för livtryckbrott

$$V_{Ed} \leq 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t_{betong} \cdot l_{iv}$$

Ekvation B6-11

där:

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) = 0.456$$

Vilket ger:

$$V_{Ed} \leq 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t_{betong} \cdot l_{iv} = 1$$

Detta medför att risken för livtryckbrott ej förefaller.

1.5.4 Kontroll av tvärkraftskapacitet vid skjuvglidbrott utan tvärkraftsarmering

Risken för skjuvglidbrott kontrolleras enligt Eurocode 2. Med en tryckande normalkraft kontrolleras kapaciteten med följande villkor:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = t_{betong} \cdot l_{iv} \cdot d \cdot \left[C_{Rd,c} \cdot k_2 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\left(\frac{1}{3}\right)} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \quad \text{Ekvation B6-15}$$

dock minst:

$$(v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot t_{betong} \cdot l_{iv} \cdot d$$

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_C} = 0.12 \quad \text{Nationell parameter}$$

$$k_1 := 0.15 \quad \text{Nationell parameter}$$

$$d = 1.545 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

$$k_2 := \min \left(1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}}, 2.0 \right) = 1.36 \quad \text{Parameter med krav}$$

$$\sigma_{cp} := \min \left(0.2 \cdot f_{cd}, \frac{N_{Ed}}{A_{liv}} \right) = 8 \cdot \text{MPa} \quad \text{Parameter med krav}$$

$$A_s := (\eta_{liv} + \eta_{botter}) \cdot A_{\phi 20} + A_{spänn} = 0.094 \text{m}^2 \quad \text{Tvärsnittsarea av dragarmering}$$

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

$$\rho_l := \min\left(0.02, \frac{A_s}{t_{\text{betong}} \cdot l_v^d}\right) = 0.02$$

Parameter med krav

$$v_{\min} := f_{ck}^{\left(\frac{1}{2}\right)} \cdot 0.035 k^{\left(\frac{3}{2}\right)} \cdot (\text{MPa})^{\left(\frac{1}{2}\right)} = 0.142 \text{ MPa}$$

Dessa värden ger:

$$V_{Rd,c} := \max\left[v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}, t_{\text{betong}} \cdot l_v^d \cdot \left[C_{Rd,c} \cdot k_2 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot (\text{MPa})^{\left(\frac{2}{3}\right)} + k_1 \cdot \sigma_{cp}\right]\right] = 3.097 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$V_{Rd,c}$ skall jämföras med lasteffekten V_{Ed} för att avgöra om tvärkraftsarmering erfordras.

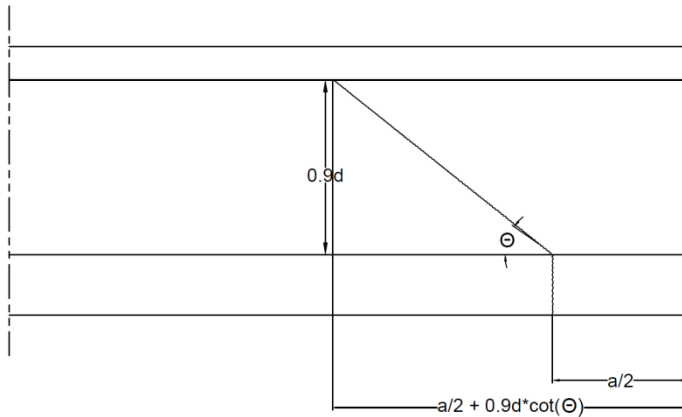
Villkor:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c} = 0$$

Villkoret är ej uppfyllt vilket innebär att det krävs tvärkraftsarmering för att undvika skjuvglidbrott.

1.5.5 Kontroll av livtryckbrott med tvärkraftsarmering

Dimensionerande tvärkraft för kontroll av livtryckbrott fås vid ena stödet.



Enligt Eurocode 2 skall följande uttryck vara uppfyllt med hänsyn till risken för livtryckbrott

$$V_{Ed} \leq \alpha_{cw} \cdot b_{betong} \cdot l_v \cdot (0.9 \cdot d) \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\cot(\theta) + \tan(\theta)}$$

Ekvation B6-19

där:

$$v = 0.456$$

Nationell parameter

$$\theta := 35^\circ$$

Vald lutning på trycksträvorna

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Med en tryckande normalkraft bestäms α_{cw} enligt följande villkor

$$0 < \sigma_{cp} < 0.25 \cdot f_{cd} = 1 \quad \text{medför} \quad \alpha_{cw1} := \left(1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} \right)$$

$$0.25 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} < 0.5 \cdot f_{cd} = 0 \quad \text{medför} \quad \alpha_{cw2} := 1.25$$

$$0.5 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} < 1.0 \cdot f_{cd} = 0 \quad \text{medför} \quad \alpha_{cw3} := 2.5 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} \right)$$

I detta fall är det villkor nummer 1 som är sant vilket medför att:

$$\alpha_{cw} := \alpha_{cw1} = 1.2$$

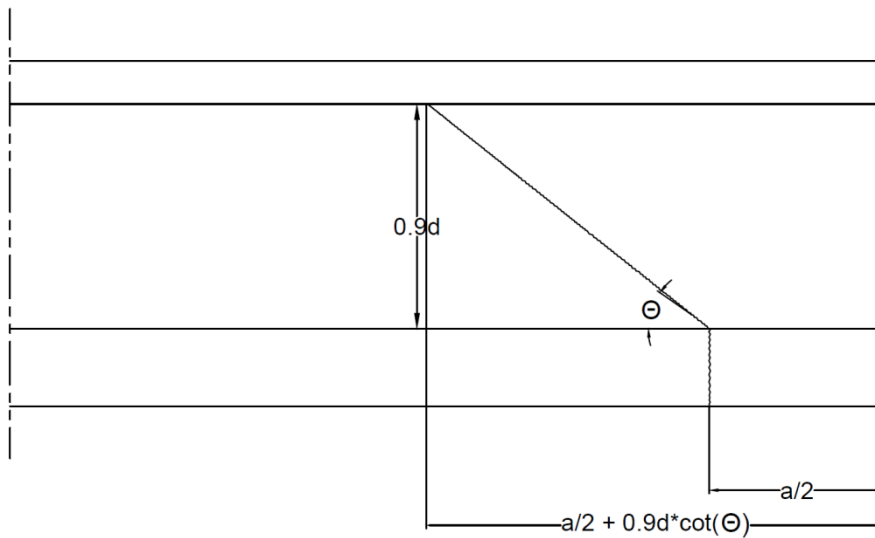
Detta ger:

$$V_{Ed} \leq \alpha_{cw} \cdot t_{betong} \cdot l_{iv} \cdot (0.9 \cdot d)^v \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 1$$

Risk för livtryckbrott förefaller inte.

1.5.6 Kontroll av risk för skjuvglidbrott, med tvärkraftsarmering

Kontroll av kapacitet mot skjuvglidbrott utförs för ett snitt som ligger avståndet $a/2 + 0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta)$. Kontrollen sker i nämnda snitt för att det är storleken på just den tvärkraften som med hjälp av tvärkraftsarmeringen ska kunna lyftas förbi sprickan.



Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Från lastframtagningen fås det dimensionerande tvärkraftsdiagrammet i brottgräns. Med ekvation för tvärkraft till vänster om stödet beräknas tvärkraften på avståndet $a/2 + 0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta)$.

$$a_{\text{upplag}} = 1\text{m}$$

Upplagets längd

$$x_{\text{dim}} := 0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta) + \frac{a_{\text{upplag}}}{2} = 2.486\text{m}$$

Avstånd där tvärkraften skall beräknas/
dimensionerande snitt

$$V_{\text{Ed}} = 8.424\text{MN}$$

Dimensionerande tvärkraft

Den dimensionerande tvärkraften i snittet får dessutom reduceras på grund av gynnsamma effekter av last nära upplag.

$$V_{\text{Ed.dim.red}} = V_{\text{Ed.dim}} - \frac{(2 \cdot d - x_{\text{dim}})^2}{4 \cdot d} q_{k\text{max}}$$

Där:

$$q_{k\text{max}} = 260.39 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Utbredd last inom området x till $2 \cdot d$

Vilket ger:

$$V_{\text{Ed.dim.red}} = V_{\text{Ed}} - \frac{(2 \cdot d - x_{\text{dim}})^2}{4 \cdot d} q_{k\text{max}} = 8.409\text{MN}$$

Bilaga 9: Dimensionering av lådbalken; spännarmering, slakarmering samt tvärkraftsarmering

Enligt Eurocode 2 beräknas tvärkraftskapacitet vid skjuvglibdbrott hos konstruktionsdelar med vertikal tvärkraftsarmering enligt följande.

$$V_{Rd.s} = \frac{0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta)}{s} \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw} \quad \text{Ekvation B6-21}$$

För att få erforderligt antal byglar över spricklängden sätts $V_{Rd.s} = V_{Ed.dim.red.}$ och deras centrumavstånd, s , löses med ekvationen ovan.

$$s = \frac{0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta)}{V_{Ed.dim.red.}} \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw}$$

Där:

$$A_{sw} := 2 \cdot A_{\phi 20} = 6.283 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Tvärsnittsarean hos en tvärarmeringsenhet

$$f_{ywd} := f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$$

Dimensionerade flytgräns för tvärkraftsarmering (B500B)

Vilket ger:

$$s_1 := \frac{0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta)}{V_{Ed.dim.red.}} \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw} = 0.065 \text{ m}$$

Maximalt centrumavstånd mellan byglar

Väljer: $s_2 := 0.060 \text{ m}$

1.5.7 Kontroll av minsta mängd tvärkraftsarmering

Enligt Eurocode 2 ska inlagd tvärkraftsarmering uppfylla följande villkor avseende minsta tvärarmeringsinnehåll:

$$\rho_{w.min} = 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

Ekvation B6-24

Där:

$$f_{ck} = 60 \text{ MPa}$$

Karakteristisk tryckhållfasthet (C 60/75)

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

Karakteristisk flytgräns (Kamstänger B500B)

Vilket ger:

$$\rho_{w.min} := 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck} \cdot \text{MPa}}}{f_{yk}} = 1.239 \times 10^{-3}$$

Aktuellt tvärarmeringsinnehåll beräknas enligt följande:

$$\rho_{w.aktuell} = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_{balk} \sin(\alpha)}$$

Ekvation B6-25

Där:

$$\alpha := 90 \text{ deg}$$

Vilket ger:

$$\rho_{w.aktuell} := \frac{A_{sw}}{s_2 \cdot t_{betong.liv} \sin(\alpha)} = 0.01$$

Tvärarmeringsmängden får alltså inte understiga minimummängden

$$\rho_w := \max(\rho_{w.min}, \rho_{w.aktuell}) = 0.01$$

1.5.8 Anpassning av tvärarmeringsintensitet

I följande beräkningar tas kapaciteten för minimiarmeringen fram och en bedömning görs om vilka olika armeringsintensiteter som ska läggas in längs balken.

Den kapacitet som motsvarar minimiarmering tas fram enligt följande:

$$V_{Rd.s.min} = \rho_{w.min} \cdot t_{betong} \cdot 0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} \quad \text{Ekvation B6-30}$$

Där:

$$\rho_{w.min} = 1.239 \times 10^{-3} \quad \text{Minsta tvärarmeringsinnehåll}$$

Vilket ger:

$$V_{Rd.s.min} := \rho_{w.min} \cdot t_{betong} \cdot 0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta) \cdot f_{ywd} = 1.07 \times 10^3 \cdot kN$$

Detta medför att minimiarmering kan läggas inom intervallet:

$$\frac{R_{A.fall2.1.0.b} - V_{Rd.s.min}}{q_{fall2.1.0.b}} = 21.95m$$

$$\frac{R_{A.fall2.1.0.b} - Q_{fall2.1.0.b} - V_{Rd.s.min}}{q_{fall2.1.0.b}} = 24.05m$$

Intervall för minimiarmering:

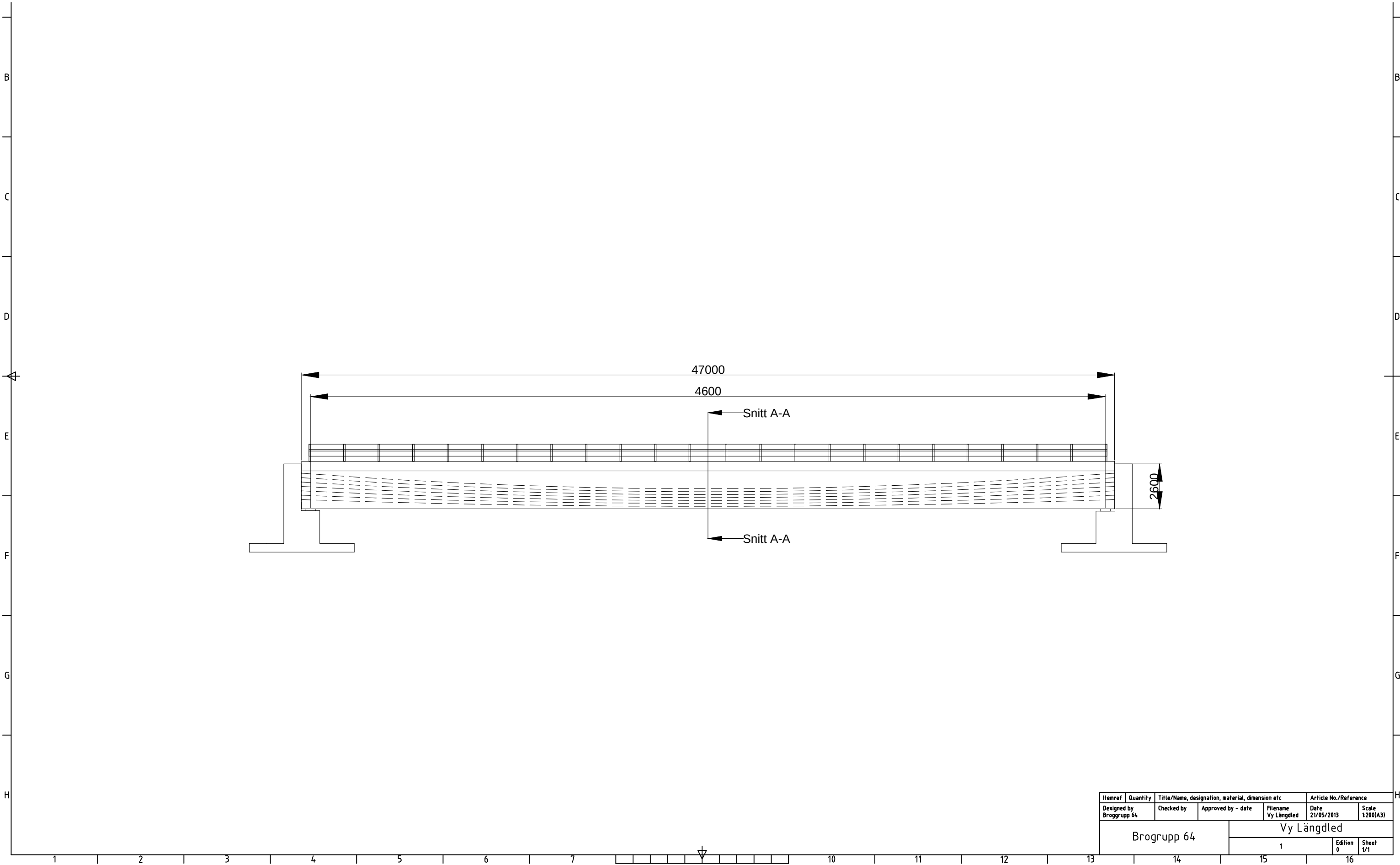
$$21.95m < x < 24.05m$$

Avståndet mellan byglarna i detta intervall blir då:

$$s = 1.2m$$

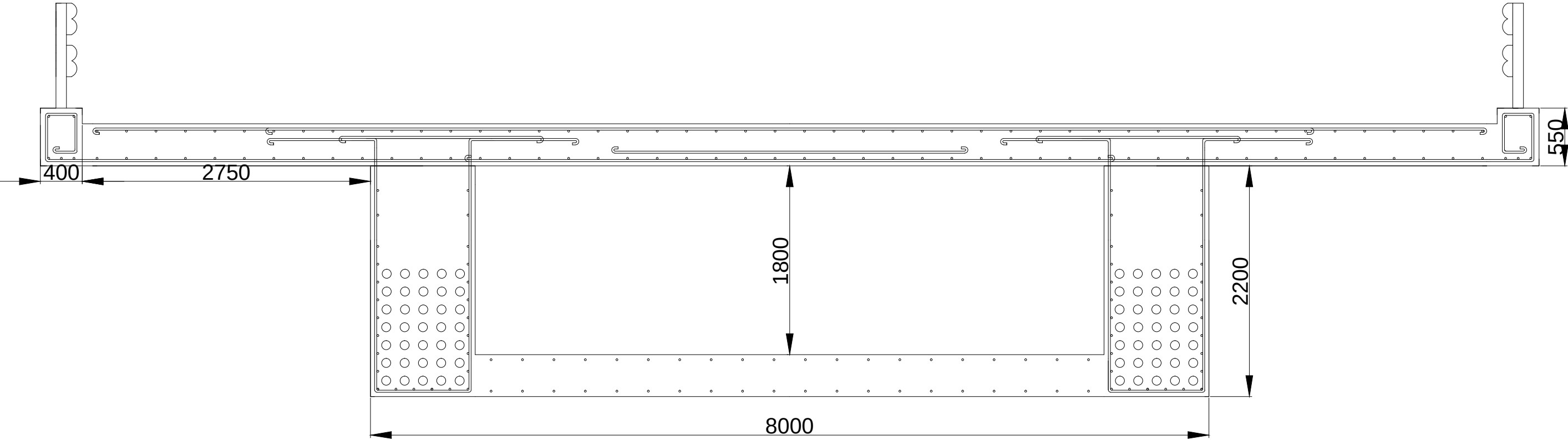
Bilaga 10

Ritningar

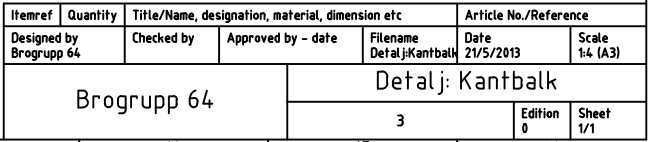


Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by Brogrupp 64	Checked by	Approved by - date		Filename Vy Längdled	Date 21/05/2013	Scale 1:200(A3)
Brogrupp 64			Vy Längdled			
			1	Edition 0	Sheet 1/1	

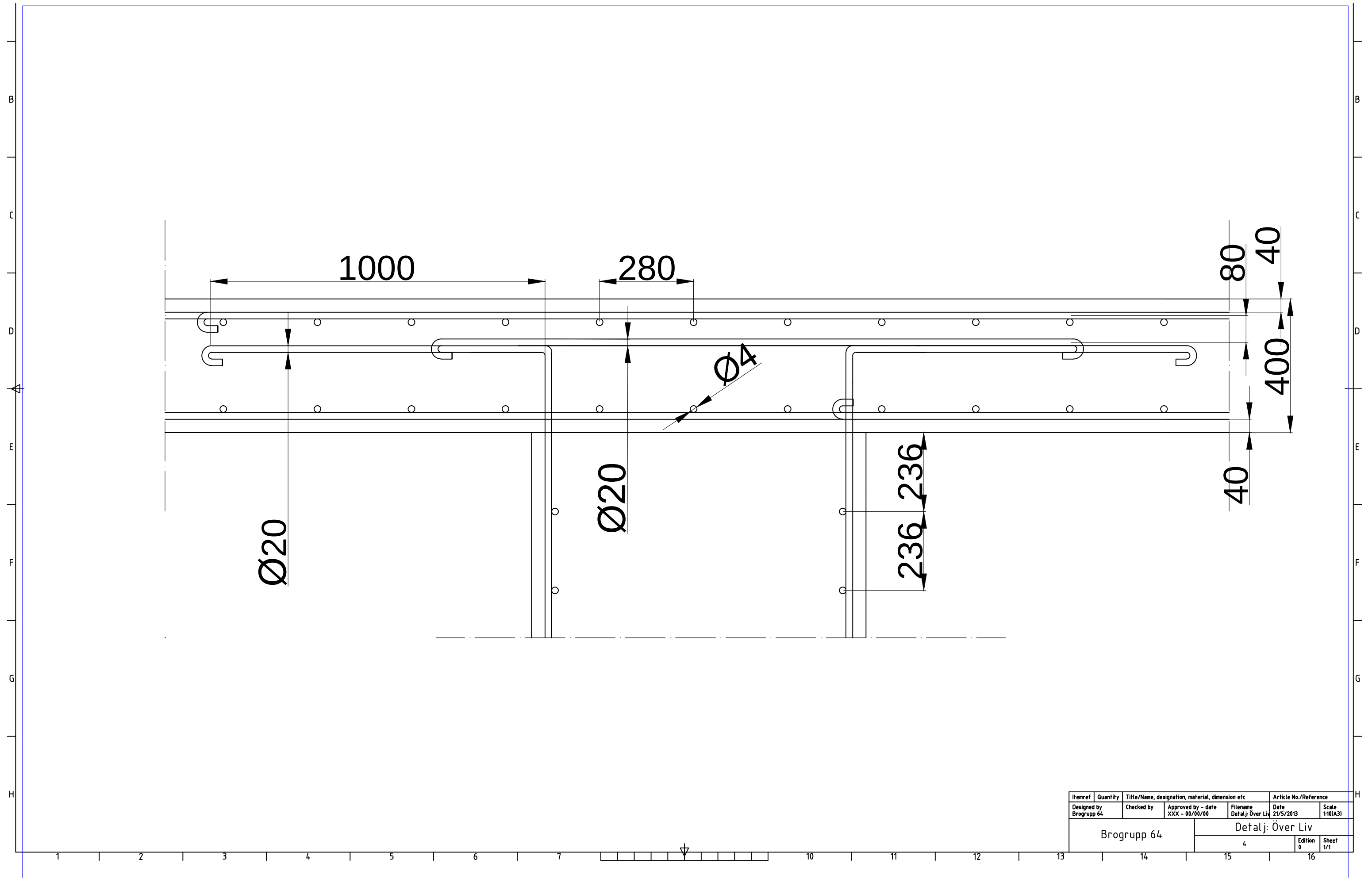
Snitt A-A



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by Brogrupp 64	Checked by	Approved by - date	Filename Snitt A-A	Date 21/05/2013	Scale 1:40(A3)	
Brogrupp 64			Snitt A-A			
			2	Edition 0	Sheet 1/1	

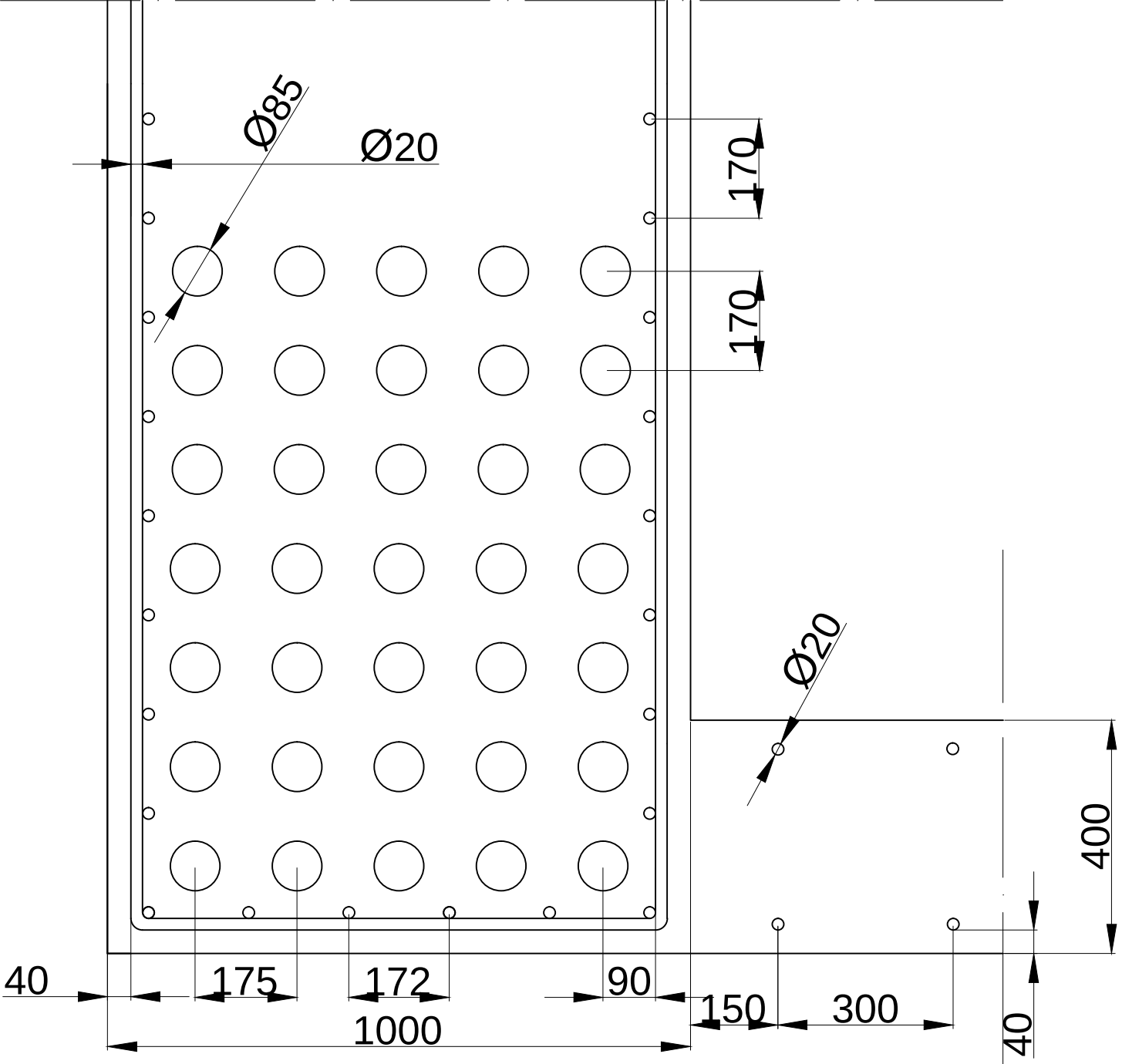


Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference		
Designed by Brogrupp 64		Checked by	Approved by - date	Filename Detalj:Kantbalk	Date 21/5/2013	Scale 1:4 (A3)	
Brogrupp 64				Detalj: Kantbalk			
				3		Edition 0	Sheet 1/1



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by Brogrupp 64	Checked by	Approved by - date XXX - 00/00/00	Filename Detalj: Över Liv	Date 21/5/2013	Scale 1:10(A3)	
Brogrupp 64			Detalj: Över Liv			
			4	Edition 0	Sheet 1/1	

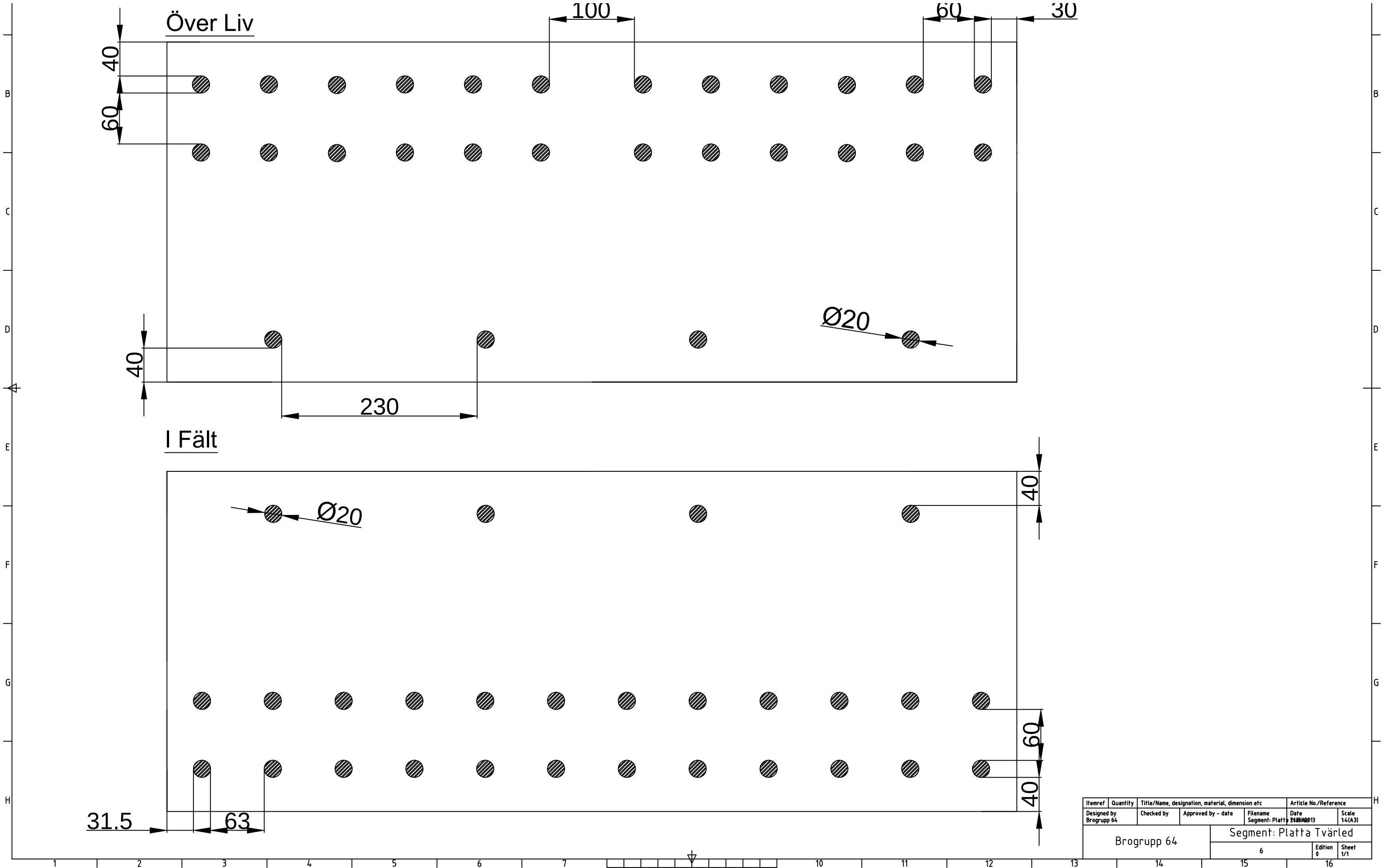
B
C
D
E
F
G
H

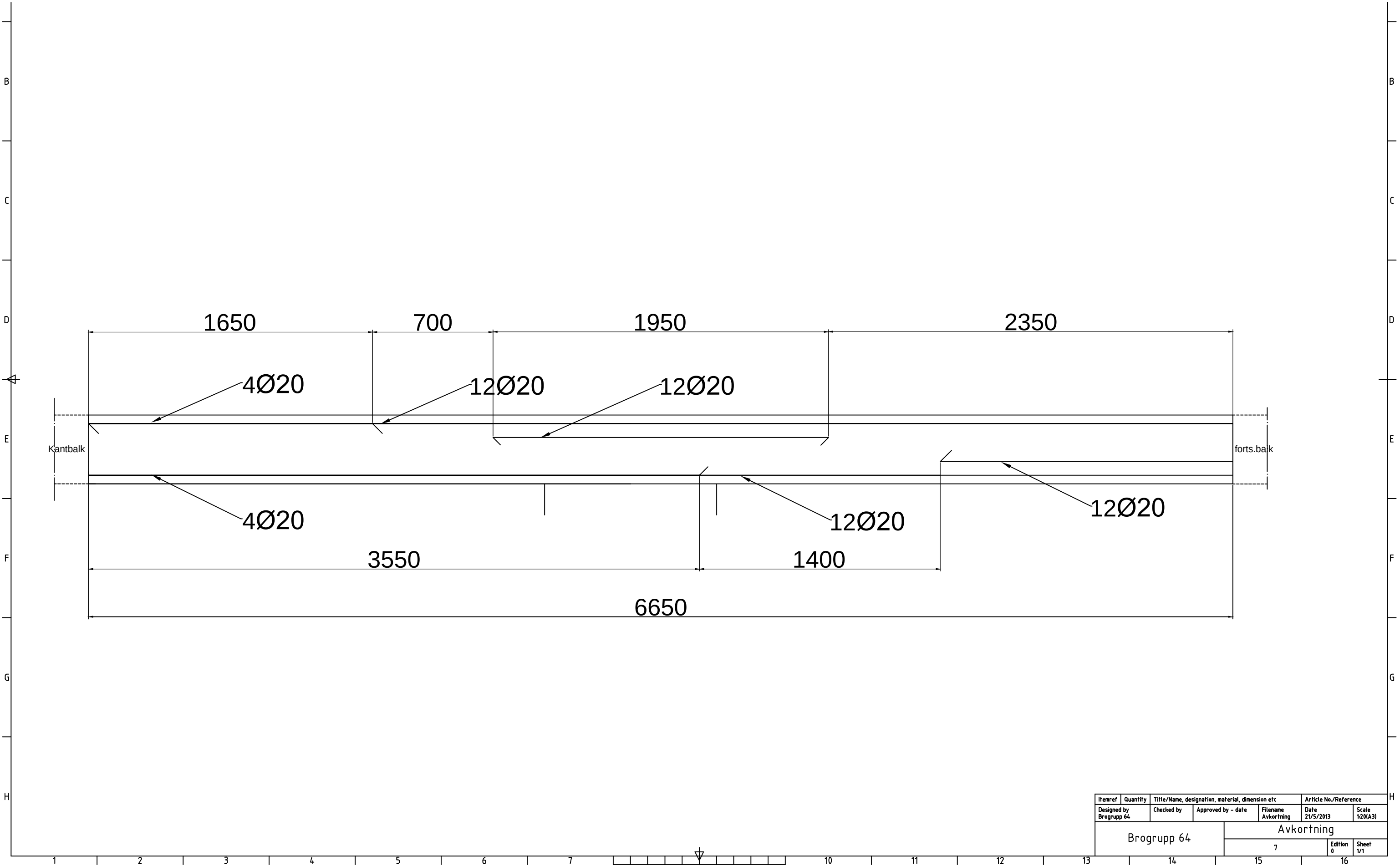


Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by Brogrupp 64	Checked by	Approved by - date	Filename Detalj: Liv	Date 21/5/2013	Scale 1:10(A3)	
Brugrupp 64			Detalj: Liv			
			4	Edition 0	Sheet 1/1	

B
C
D
E
F
G
H

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16





Bilaga 11

Exponeringsklasser

Class designation	Description of the environment	Informative examples where exposure classes may occur
1 No risk of corrosion or attack		
X0	For concrete without reinforcement or embedded metal: All exposures except where there is freeze/thaw, abrasion or chemical attack For concrete with reinforcement or embedded metal: Very dry	Concrete inside buildings with very low air humidity
2 Corrosion induced by carbonation		
Where concrete containing reinforcement or other embedded metal is exposed to air and moisture, the exposure shall be classified as follows: NOTE The moisture condition relates to that in the concrete cover to reinforcement or other embedded metal, but in many cases, conditions in the concrete cover can be taken as reflecting that in the surrounding environment. In these cases classification of the surrounding environment may be adequate. This may not be the case if there is a barrier between the concrete and its environment.		
XC1	Dry or permanently wet	Concrete inside buildings with low air humidity Concrete permanently submerged in water
XC2	Wet, rarely dry	Concrete surfaces subject to long-term water contact Many foundations
XC3	Moderate humidity	Concrete inside buildings with moderate or high air humidity External concrete sheltered from rain
XC4	Cyclic wet and dry	Concrete surfaces subject to water contact, not within exposure class XC2
3 Corrosion induced by chlorides other than from sea water		
Where concrete containing reinforcement or other embedded metal is subject to contact with water containing chlorides, including de-icing salts, from sources other than from sea water, the exposure shall be classified as follows: NOTE Concerning moisture conditions see also section 2 of this table.		
XD1	Moderate humidity	Concrete surfaces exposed to airborne chlorides
XD2	Wet, rarely dry	Swimming pools Concrete exposed to industrial waters containing chlorides
XD3	Cyclic wet and dry	Parts of bridges exposed to spray containing chlorides Pavements Car park slabs

4 Corrosion induced by chlorides from sea water		
Where concrete containing reinforcement or other embedded metal is subject to contact with chlorides from sea water or air carrying salt originating from sea water, the exposure shall be classified as follows:		
XS1	Exposed to airborne salt but not in direct contact with sea water	Structures near to or on the coast
XS2	Permanently submerged	Parts of marine structures
XS3	Tidal, splash and spray zones	Parts of marine structures
5 Freeze/thaw attack with or without de-icing agents		
Where concrete is exposed to significant attack by freeze/thaw cycles whilst wet, the exposure shall be classified as follows:		
XF1	Moderate water saturation, without de-icing agent	Vertical concrete surfaces exposed to rain and freezing
XF2	Moderate water saturation, with de-icing agent	Vertical concrete surfaces of road structures exposed to freezing and airborne de-icing agents
XF3	High water saturation, without de-icing agent	Horizontal concrete surfaces exposed to rain and freezing
XF4	High water saturation, with de-icing agent or sea water	Road and bridge decks exposed to de-icing agents Concrete surfaces exposed to direct spray containing de-icing agents and freezing Splash zones of marine structures exposed to freezing