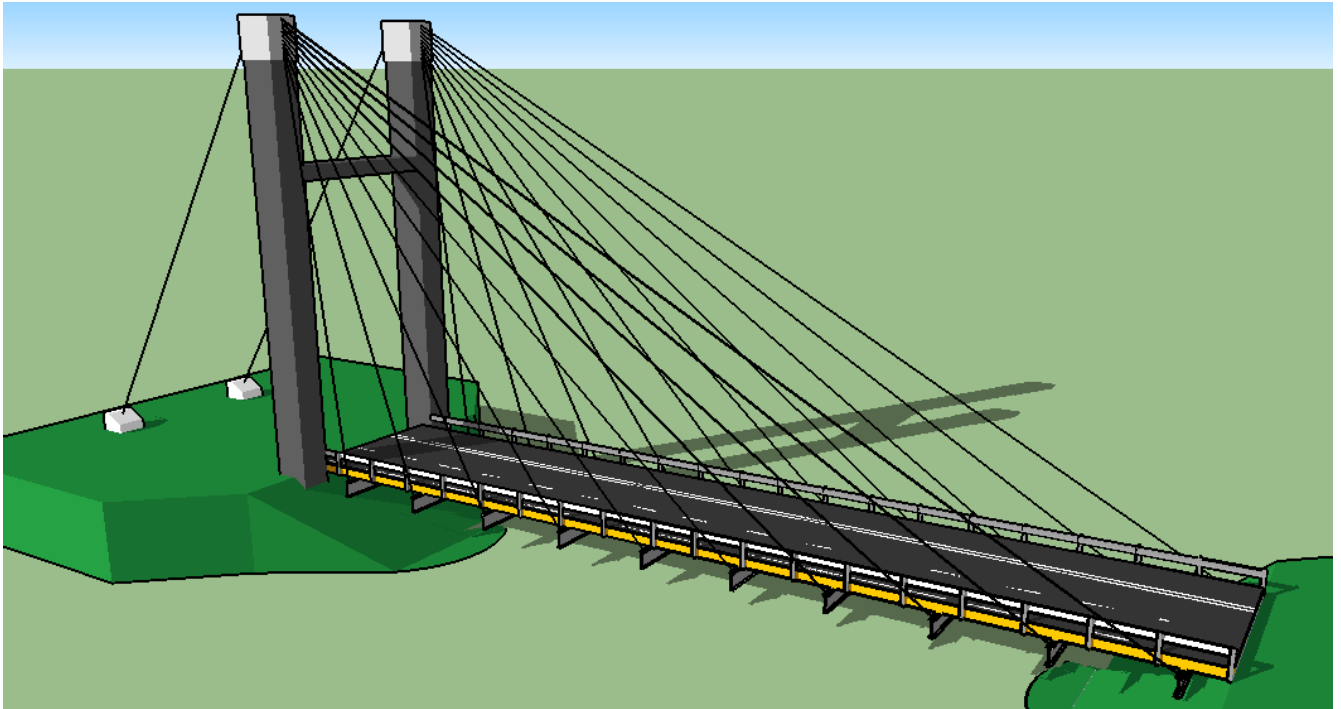


CHALMERS



Förstudie till bro över väg 40

Hössnamotet

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet

Väg och vatten

DAVID BERGQVIST, PETTER BOLANDER,
FELICIA CARLANDER-REUTERFELT, VICTOR
ERYD, KAJSA FRÖJD, AXEL KRISTENSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2015

FÖRSTUDIE TILL BRO ÖVER VÄG 40 (HÖSSNAMOTET PÅ
VÄRLDSKARTAN)

DAVID BERGQVIST, PETTER BOLANDER, FELICIA CARLANDER-
REUTERFELT, VICTOR ERYD, KAJSA FRÖJD, AXEL KRISTENSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Längs riksväg 40 mellan Göteborg och Stockholm finns i Ulricehamnstrakten ett flertal korsningar som i dagsläget ännu inte är planskilda. En av dem är korsningen med väg 1721 vid Hössnamotet. Det pågår i nuläget arbete med att göra korsningen vid Hössna såväl som övriga korsningar längs riksväg 40 mötesfria. Den här rapporten syftar till att ta fram ett förslag på brokoncept för korsningen av riksväg 40 och väg 1721 samt att utföra en preliminär dimensionering av den framtagna bron.

Med den tekniska beskrivningen och riktlinjer från trafikverket som bas har utvärdering gjorts utifrån en framtagna kriterietabell där stor vikt lagts vid estetiskt tilltalande konceptdesign samt miljövänlighet utöver de grundläggande kriterierna. Med framtagna och inbördes rankade kriterier har olika brolösningar med kombinationer av olika brotyper och material granskats vartefter den bro som ansågs uppfylla kriterierna bäst valdes.

Den valda bron är en snedkabelbro med en spännvidd på 60 meter, ett brodäck i trä och kablar av stål. I en vertikal H-formad pylon i betong på den norra påfarten till bron fästs samtliga kablar på respektive sida i en centrerad infästning. Infästningen vid brobanan görs i underliggande tvärgående stålbalkar som även fungerar som stöd för bron under produktionsprocessen.

Nyckelord: Snedkabelbro, estetik, miljövänlighet, trä.

Omslag:

Modell över bro över väg 40 [elektronisk bild]

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2015

Feasibility Study Regarding Bridge over Route 40
Hössnamotet

Bachelor Thesis

Building and Civil Engineering

DAVID BERGQVIST, PETTER BOLANDER, FELICIA CARLANDER-
REUTERFELT, VICTOR ERYD, KAJSA FRÖJD, AXEL KRISTENSSON

Department of Civil and Environmental Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Along Route 40 between Gothenburg and Stockholm in the Ulricehamn area there are several interchanges which are not yet flyovers. One of those is Road 1721 by Hössna. Work to turn all interchanges along Road 40 between Stockholm and Gothenburg to flyovers is currently in process. This report aims to produce a suggestion for a bridge solution for the Route 40 and Road 1721 junction as well as to perform preliminary structure analysis of the suggested bridge.

Based on the technical description and guidelines from the Swedish Transport Administration an evaluation has been made with a developed criteria table as point of departure. Focus has been on esthetically appealing conceptual design as well as a design that is environmentally friendly. With agreed upon criteria and their interrelation ranking, different bridge solutions, with combinations of various bridge types and materials, has been evaluated before the most suitable solution was selected.

The selected bridge is a cable-brace bridge with a centre span of 60 meters, a bridge deck made out of wood and suspension cables of steel. In a vertical and reversed V-shaped tower of concrete by the north approach ramp all of the suspension cables on the respective sides are attached to a centered attachment point. The cables are attached to the bridge deck in underlying transversal steel beams which also serves as suspended piers during construction.

Key words: Cable-braced bridge, esthetics, environmentally friendly, wood.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	II
BACHELOR THESIS	IV
ABSTRACT	VI
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	I
FÖRORD	V
BEGREPPSFÖRKLARING	VI
DEL 1 – IDÉFAS	1
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Problem- och måldefinitor	2
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Metod/genomförande	2
2 FÖRUTSÄTTNINGAR	3
2.1 Geotekniska förutsättningar	3
2.2 Geometri	3
2.3 Trafiklaster	3
2.4 Klimat	4
3 BROAR	5
3.1 Balk- och plattbroar	5
3.1.1 Bakgrund	5
3.1.2 Bärande struktur	5
3.1.3 Typfall	6
3.2 Båg- och valvbroar	6
3.2.1 Bakgrund	7
3.2.2 Bärande struktur	8
3.2.3 Typfall	9
3.2.4 För- och nackdelar	9
3.3 Fackverksbroar	10
3.3.1 Bakgrund	10
3.3.2 Bärande struktur	10
3.3.3 Typfall	11
3.4 Linverkansbroar	11
3.4.1 Bakgrund	11
3.4.2 Bärande struktur	12
3.4.3 Typfall	12

4	MATERIAL	14
4.1	Armerad betong	14
4.1.1	Egenskaper	14
4.1.2	Betong som byggnadsmaterial	14
4.1.3	Miljöpåverkan	14
4.2	Stål	15
4.2.1	Egenskaper	15
4.2.2	Stål som byggnadsmaterial	16
4.2.3	Miljöpåverkan	16
4.3	Trä	16
4.3.1	Egenskaper	16
4.3.2	Trä som byggnadsmaterial	16
4.3.3	Miljöpåverkan	17
4.4	Komposit	17
4.4.1	Egenskaper	17
4.4.2	FRP som byggmaterial	17
4.4.3	Miljöpåverkan	18
5	BESLUTSPROCESS	19
5.1	Kriterier	19
5.2	Möjliga förslag på brokoncept	20
5.3	Viktning av kriterier och konceptbedömning	20
5.4	Noggrann poängbedömning	21
5.5	Utveckling av koncept	21
5.5.1	Balkbro i betong med två stöd	21
5.5.2	Bågbro i trä med överliggande båge	21
5.5.3	Snedkabelbro med en pylon samt brobana i trä	22
5.6	Val av koncept	22
6	SNEDKABELBRO – UTFORMNING	23
6.1	Pylon	24
6.2	Utformning av pylon	24
6.3	Utformning av kablarna	25
6.4	Utformning av brodäck	25
6.5	Infästning mellan kabel och brodäck	25
6.6	Fri konstruktionshöjd	26
6.7	Övergripande beskrivning av konstruktionsdetaljer	26
6.7.1	Avvattning	26
6.7.2	Räcken	26
6.7.3	Övergångskonstruktion	27
6.7.4	Infästning mellan pylon och brobana	27
6.7.5	Skarvning	27

7	PRODUKTION	28
7.1	Produktionsprocess	28
7.2	Träplattan	28
7.3	För- och nackdelar	29
8	UNDERHÅLL FÖR VALT KONCEPT	29
8.1	Träfarbanan	29
8.2	Stålstagen	30
8.3	Pyloner	30
8.4	Inspektioner	30
8.5	Problematik med valt koncept	30
	DEL 2 – DIMENSIONERING	32
9	PRELIMINÄR DIMENSIONERING	32
9.1	Beskrivning av det bärande systemet	32
9.2	Materialkvalitéer	33
9.3	Permanent laster	33
9.4	Variabla laster	33
10	RESULTAT	35
10.1	Tvärledsdimensionering av stål balkar	35
10.2	Längsleds dimensionering	36
10.2.1	Längsled lastfall 1	37
10.2.2	Längsled lastfall 2	38
10.2.3	Längsled lastfall 3	40
10.2.4	Dimensionerande värden	41
10.2.5	Kontroll kapacitet	42
10.3	Stålkablar	42
10.4	Infästningar	43
10.4.1	Infästning stål balk-träfarbana	43
10.4.2	Infästning kabel-stål balk	44
10.4.3	Kabelinfästningar i grund och pylon	45
10.5	Pylon	45
10.6	Landfäste	47
10.7	Förspänning	48
11	DISKUSSION	50
12	REFERENSER	52
12.1	Källförteckning	52

12.2	Bildförteckning	55
13	BILAGOR	56

Förord

Vi vill passa på att tacka alla som har hjälpt oss under arbetets gång, särskilt våra handledare, Rasmus Rempling och Joosef Leppänen vid Chalmers institution för Bygg- och Miljöteknik, samt Magnus Bäckström på COWI och Daniel Ekström på WSP.

Göteborg, 2015

Begreppsförklaring

Avstyvningsbalk	Brodäcket på en linverkansbro som ger styvhet åt konstruktionen
Balkverkan	Sättet en balk bär last genom utböjning, verkar vinkelrätt mot elementlinjen
Biocid	Ämne som kan döda levande organismer. Används ofta i bekämpning- eller skyddsmedel mot mikroorganismer på organiskt materia.
Drag	Spänning på grund av yttre last som ger en utdragande effekt på materialet
Enfältsbro	En balkbro som spänner över ett enda fält
Flerfältsbro	En balkbro som spänner över flera fält
Konstruktionshöjd	Höjden på överbyggnaden (brodäcket)
Legering	Material med metalliska egenskaper bestående av två eller flera grundämnen
Slakarmering	Armeringsjärn i betong som inte spänns innan belastning påförs
Spännarmering	Armeringsjärn i betong som spänns innan belastning påförs, vilket gör betongen tryckt för att kompensera för inre spänningar
Spännvidd	Längden mellan två stöd i en bro
Värmekonduktivitet	Förmåga att leda värme

DEL 1 – IDÉFAS

Idéfasen i del 1 beskriver besluts- och urvalsprocessen för valet av bro med tillhörande bakgrundsinformation.

1 Inledning

Broar är ett av ingenjörskonstens största mästerverk. De uppfyller en stor funktion i dagens transportsamhälle samtidigt som de av många ses som konstnärliga mästerverk. En nybyggnation av en bro består av många ingångsvärden och mål att eftersträva. Denna rapport går igenom en process där ett brokoncept, utformat för att gå över väg 40 nordost om Ulricehamn, tas fram. Det framtagna konceptet är det förslag som bäst uppfyllt ställda krav och gruppens egna mål med bron.

1.1 Bakgrund

Riksväg 40 förbinder Göteborg med Jönköping och har till störst del motorvägs- eller 2+1-standard. Kring Ulricehamn håller vägen dock endast landsvägsstandard. För att öka trafiksäkerheten och göra hela vägsträckan mötesfri dras här en ny, 17 km lång, vägsträcka med motorvägsstandard. 13 broar kommer att byggas, där den mest östliga bron korsar väg 40 vid Hössnamotet (Trafikverket, 2014a). Bron vid Hössnamotet förbinder östra Ulricehamn och samhället Hössna via väg 1721, se Figur 1. Bron kommer att ha två körfält samt GC-väg med en total brolängd på cirka 60 m.



Figur 1 - Karta över Hössnamotet (Google Maps, 2015)

1.2 Syfte

Utifrån given kravspecifikation samt egna framtagna kriterier ska ett förslag till bron vid Hössnamotet projekteras och dimensioneras. Det framtagna förslaget ska vara det mest lämpliga utifrån samtliga ställda kriterier.

1.3 Problem- och måldefinitor

Bron syftar till att skapa en vägled över riksväg 40 och även bli ett landmärke som gör sträckan mellan Borås och Jönköping en behaglig trafikled. Den ska skapa variation för trafikanterna på vägen under och bidra med ett avbrott från de likartade broar som i övrigt korsar vägen. Förutom att gynna trafikanterna med variation är syftet att skapa en portal in till Ulricehamn ifrån den vältrafikerade leden, väg 40, och på så vis sätta Ulricehamn på kartan. Utöver de grundläggande kraven på säkerhet, produktionsvänlighet och livslängd önskas mervärde i form av extra upplevd och faktisk säkerhet, i synnerhet för fotgängare och cyklister. Bron ska dimensioneras för en livslängd på 80 år. En extra lång livslängd för bron ger även mervärde då den kan finnas kvar som landmärke långt efter byggnationstiden. Studier av brodetaljer samt svårigheter med dessa görs. Den slutliga lösningen blir den bro som tar hänsyn till samtliga aspekter på bästa möjliga sätt.

1.4 Avgränsningar

Vid projekteringsstart tas flera olika brotyper och material i beaktning, även material som inte är lika beprövade som andra konventionella byggmaterial, till exempel kompositmaterial. Vid val av brokoncept viktas estetik, säkerhet och miljövänlighet högt. Ekonomiska aspekter tas hänsyn till men inga budgetkrav finns. Beräkningar och preliminär dimensionering görs på ett valt brokoncept. Laster som bron dimensioneras för är trafiklast och egentygnd. Således görs endast dimensionering för vertikala laster. Hur de horisontella lasterna tas om hand beskrivs men det är inget som beaktas i dimensioneringen. De geotekniska undersökningarna beaktas i val av stödkonstruktion men inga djupare grundläggningsberäkningar görs.

1.5 Metod/genomförande

Inledningsvis studeras flera olika kombinationer av brotyper och material för att sedan ställas mot satta kriterier. De olika brokoncepten granskas ur förvaltnings-, produktions- och beställarsynpunkt av de respektive ansvarsområdena för gruppmedlemmarna. Utifrån vägda kriterium och poängsystem utesluts fler och fler brokoncept tills endast ett återstår. Utförliga hållfasthets- och dimensioneringsberäkningar i Matlab och MathCad görs på det valda brokonceptet. Bron visualiseras därefter även i ett 3D-modelleringsprogram.

2 Förutsättningar

En teknisk beskrivning från Trafikverket har tillhandahållits (se Bilaga 1). I den tekniska beskrivningen framgår de olika förutsättningarna i området och de krav som gäller. Nedan görs en kort beskrivning av de förutsättningar som måste tas i beaktning under utformningen av ett brokoncept.

2.1 Geotekniska förutsättningar

Terrängen i området är till störst del skogslandskap (se Bilaga 1). Norr om bron finns ett våtmarksområde samt nordost om bron har ett torvlager uppmärksammat som är cirka 0,5-0,6 m tjockt. Torv kan således förekomma i läget för brostödet. Från norr till söder om bron ligger grundvattenytan på en nivå från 0,5 till 0,3 m under befintlig markyta. Berget utgörs av en gråröd-röd granit och djupet varierar mellan 3,5 och 5,5 m. Den dimensionerande hållfastheten i planerad bergschakt bedöms ligga på 2 MPa. Se Tabell 1 för jordlagerföljd.

Tabell 1. Jordlagerföljd för aktuellt område

Mulljord	0,1 m
Siltig sand / sand	1-1,5 m
Morän, blockig	3-5m
Berg	

2.2 Geometri

Bron ska sträcka sig 60 m i sydöstlig riktning på väg 1721 över riksväg 40. Bron består av ett körfält i båda färdriktningar med bredden 3,25 m samt en gång- och cykelbana om 3 m. Vägbanan ska vara bomberad med en lutning på 2,5 % och cykelbanan skall skevas in mot vägens mitt med samma lutning. Totalbredd inklusive vägrenar blir 10,50 m. För underliggande väg krävs en fri höjd på 4,70 m för de 20 m som går över underliggande väg. Möjlighet till bropelare i vägremsan mellan de två färdriktningarna på riksväg 40 finns. Se Bilaga 2 för ritningar.

2.3 Trafiklaster

I området kring Hössnamotet kommer en ny motorväg anläggas med bredd på 21,5 meter med skyltad hastighet 110 km/h som sträcker sig norr om den befintliga väg 40 vilken kommer att göras om till lokalväg. Årliga dygnsmedeltrafiken (ÅDT) har för väg 40 beräknats till 12 000 för år 2015. Då det inte finns någon prognos för trafikökningen under hela bronns livslängd kommer prognosen för de kommande 20 åren ligga som grund för uppskattningen av trafikbelastningen fram till slutet av den livslängd som bron dimensioneras för (se Bilaga 1). Andelen tung trafik förutsätts vara 22 %. Bron kommer att leda väg 1721 över motorvägen och i samband med bron

kommer Hössnamotet anläggas som i sin tur innebär två cirkulationsplatser i anslutning till bron, en på vardera sida. Uppskattat blivande trafikflöde över bron ligger på 1 650 fordon per dygn vilket är relativt lågt i förhållande till den underliggande motorvägen (Aalto, 2005).

2.4 Klimat

I och med sin placering nära Ulricehamn ligger bron i klimatzon A (Trafikverket, 2014b). Medeltemperaturen är 5,2°C och kallast är det i februari med -5,0 °C (Eliassen, 2015). Det är relativt vanligt förekommande med nederbörd vilket resulterar i ett årsgenomsnitt på 800-1000 mm (Axell, 2013). Högsta medeltemperatur är 20,9 °C. Vid beräkningarna för temperaturrelser används emellertid nationella extremvärden.

3 Broar

Vid val av brokoncept bör hänsyn tas till vilken modell som passar bäst till given problemställning. En perfekt bro finns ej utan varje situation kräver viktning och kompromisser mellan givna förhållanden.

3.1 Balk- och plattbroar

Ett klassiskt exempel av en balkbro är i form av ett fällt träd, se Figur 2.



Figur 2 – Neat Log Bridge on Upper Dungeness Trail (Peterson, 2009)

3.1.1 Bakgrund

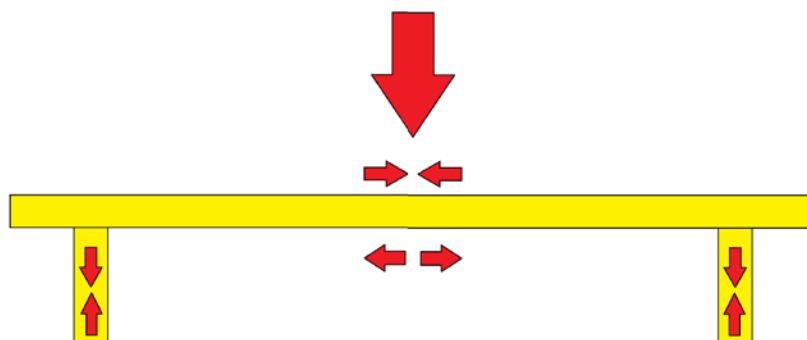
Balkbroar uppstod tidigt i form av trädstammar och dylik som välts och använts för att ta sig över hinder i naturen såsom vattendrag och gropar i mark. De kan därmed anses som en av de tidigast förekommande brotyperna. Idag kan balkbroar byggas av i stort sett i alla vanligt förekommande byggnadsmaterial (Trafikverket, 2008).

3.1.2 Bärande struktur

I en balkbro är den bärande strukturen längsgående balkar på vilka en brobana sedan läggs. Lasterna i en balkbro bärs genom balkverkan vilket innebär att lasten upptas genom böjning i balken för att sedan föras ned i marken via bropelarna.

För kortare broar med endast ett spann, så kallade enfältsbroar, kan kraftfördelningen liknas vid en fritt upplagd balk. En längre bro med flera spann (flerfältsbroar) fungerar antingen som en kontinuerlig balk över flera stöd eller som flera separat fritt upplagda balkar beroende på brons utformning. Gemensamt för samtliga modeller är att bron vid belastning böjs ner och undersidan av balken utsätts för en dragspänning medan ovansidan av balken blir tryckt, se Figur 3. Ju längre spannvidd balken har desto mindre last klarar den av.

Även plattbroar bär sin last genom balkverkan och där fungerar det bärande elementet, plattan, även som brobana (Svenskt trä, 2013a).



Figur 3 - Balkbro belastad med last ger drag i underkant och tryck i överkant.

3.1.3 Typfall

Grundkonstruktionen för en balkbro är enkel men designen kan göras mer eller mindre komplex. Brotypens möjliga och vanligt förekommande spännvidder beror på materialval. För stål och betong är vanliga spännvidder mellan 18 och 20 m för enfältsbroar medan flerspansbroar har spännvidder från 22 m (Trafikverket, 1996). För betongkonstruktioner med spännvidd under 20 m dominerar slakarmning medan det för spännvidder över 30 m är vanligare med spännarmerad betong. Produktionsmetoden beror även den på materialval men för konventionella byggmaterial såsom betong, trä och stål kan både prefabricerade och på plats konstruerade delar användas.

För betongbalkbroar är konstruktionshöjden vanligen mellan 4-10 % av spännvidden beroende på armeringssätt medan den för stålbalkbroar är något lägre, 3,5-6 % av mittspansslängden. En hög balkhöjd är positivt ur ekonomisk synvinkel och överlag är balkbron ofta en ekonomiskt fördelaktig konstruktion. Plattbroar har vanligen en något kortare spännvidd än balkbroar. De är dock att föredra om konstruktionshöjden behöver vara lägre då den vanligen är mellan 4-5 % av spännvidden. Vanliga spännvidder är 15-20 m men plattbron kan klara spännvidder upp till 35 m om delar av plattan utgörs av hålrum. Vid större spännvidder blir egentygningen alltför stor (Trafikverket, 1996a).

3.2 Båg- och valvbroar

Bågbroar har, likt balkbroar, använts sedan länge. Även naturen har utnyttjat bågbrons kvalitativa egenskaper, se Figur 4.



Figur 4 - Bågbro i sten från nationalpark i Utah, USA (Landscape Arch, 2008)

3.2.1 Bakgrund

Valvbroar är en mycket gammal byggnadsmetod och härstammar från långt tillbaka i tiden. Ett typexempel är den kinesiska An-chi-bron (se Figur 5) som byggdes cirka år 600 och är en valvbros av sten med en längd på 36 m (Rennerfelt, 1984).



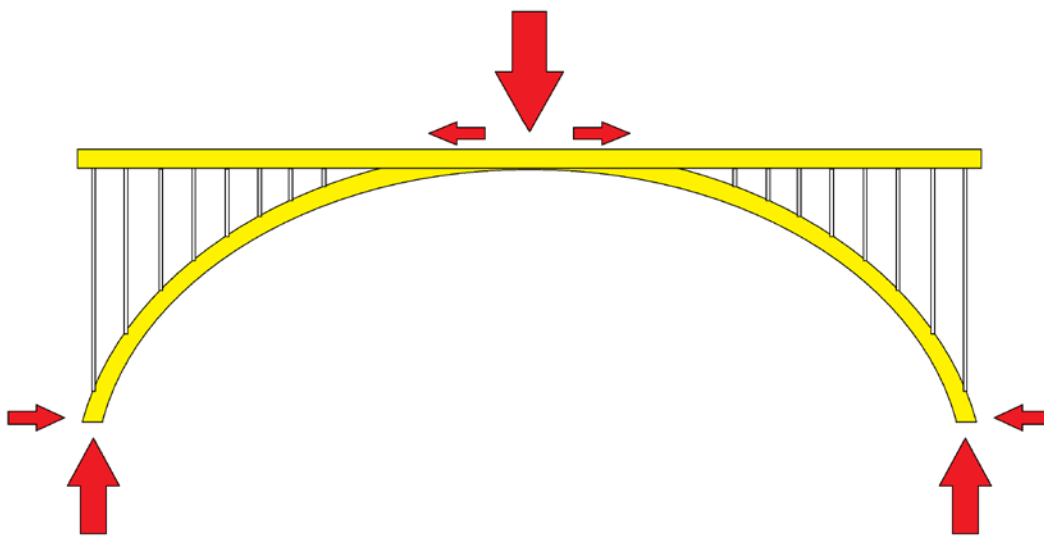
Figur 5 - Stenvalvsbron An-Chi, Kina (Zhaou, 2007)

Även akvedukter ingår i samma byggnadskategori och det kan konstateras att valvbrosarna inte har förändrats avsevärt i utförande idag, ett bevis på hur effektiv metoden är.

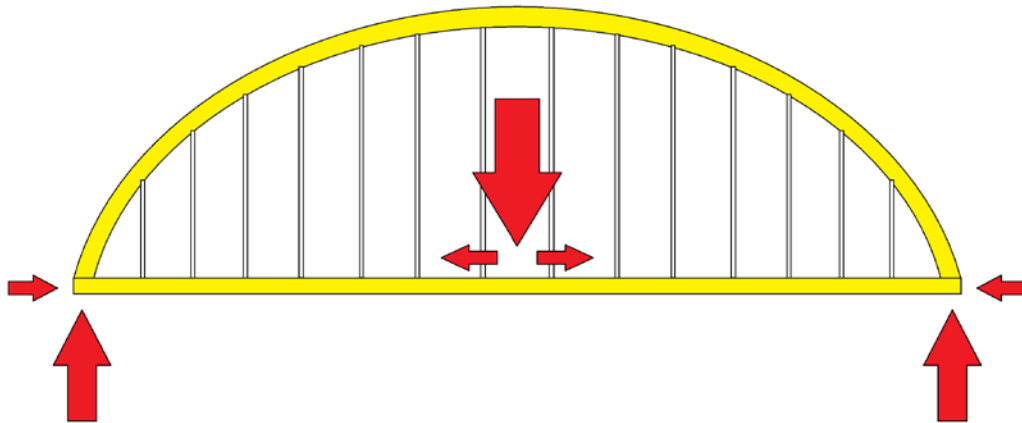
Förut användes ofta bågbroar för spännvidder större än 60 meter men numera väljs det främst av estetiska skäl. För större spännvidder utförs de i stål eller armerad betong men det finns även möjlighet att använda trä i mindre konstruktioner (Vägverket, 1996).

3.2.2 Bärande struktur

Bågbron bär genom att en båge tar upp alla tryckkrafter och för dem ner i stöden, vägbanan blir dragen och kan antingen vila uppe på bågen (se Figur 6) eller vara hängd i den (se Figur 7). Bron byggs från stöden och in mot mitten med hjälp av en tillfällig stomme (Linton, 1929). Trycklinjen sammanfaller då med valvets form och resulterar i att kraften vid bågens ändar blir snedriktad till skillnad från en balkbro vars resultanter är vertikala.



Figur 6 - Bågbro där vägbanan vilar på bågen.



Figur 7 - Bågbro där vägbanan är upphängd i bågen.

Utförandet påverkas av materialvalet för bron och i den mest klassiska modellen förenas formanpassade stenar i en båge varpå de förbinds i hjässan med en så kallad slutsten. Stenarna trycks då mot varandra och kilar på så vis fast sig och ger upphov till den tryckbåge som för trycket vidare ut i stöden.

3.2.3 Typfall

För trä används vanligtvis limträbalkar som förbinds med stag eller ramar (Martinsons Träbroar, 2015). För stora spännvidder, ofta över 23 m enligt Kristoffer Ekholm (Föreläsning på Chalmers 2015-02-06), används treledsbågar där en extra led då placeras i toppen av bågen av transportrelaterade anledningar. Således kan kortare spännvidder konstrueras i ett stycke och därefter lyftas på plats utan stora driftstörningar i trafik eller dylikt.

En stor fördel för denna modell är saknaden av mittstöd för stora spännvidder vilket gör att den med fördel kan användas i förhållanden där mittstöd inte är möjligt. Som tidigare nämnts är det idag vanligt att välja bågbroar av estetiska skäl då konstruktionen både kan utformas klassiskt men också innovativt med varierande placering av tryckbågen och eventuella hängkablar.

3.2.4 För- och nackdelar

Valvbron väljs idag oftast bort av ekonomiska orsaker då det är en väldigt kostsam konstruktion (Vägverket, 1996). Även om modellen är stadig för vertikala laster, har den en stor nackdel när det kommer till att ta upp horisontella laster. Detta innebär att eventuella olyckor i form av kollision från sidan kan få stora negativa konsekvenser. Ett tydligt exempel på det är den tidigare Tjörnbron (Almöbron) som rasade år 1980 efter att ett fartyg kört in i bronns båge vilket ledde till att vägbanan rasade.

3.3 Fackverksbroar

I Figur 8 visas ett exempel på en typisk fackverksbro.



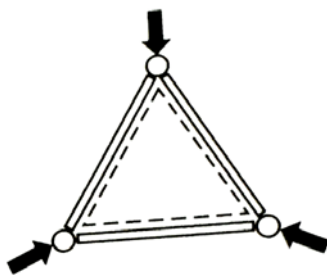
Figur 8 - Fackverksbro i stål, Arizona (Britton, 2003)

3.3.1 Bakgrund

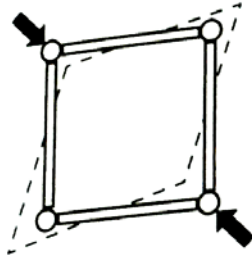
Fackverkskonstruktioner utvecklades från början främst för konstruktioner i träbyggnader men fackverk har tillämpats till broar i mer än 200 år (Johnson och Leon, 2002). Fackverksbroar fick en riktig skjuts i utveckling till följd av utbredningen av järnvägen i USA på 1800-talet då lasterna på broar ökade på grund av tågtrafiken. Det ledde i sin tur till längre brospänn än vad som tidigare varit nödvändigt. Fackverksbroar var också ett alternativ som ledde till minskad materialåtgång då fackverk är betydligt mer materialeffektivt än andra brotyper.

3.3.2 Bärande struktur

Ett fackverk är en konstruktion som agerar likt en balk (Brockenbrough och Merrit, 2014), sett till kraftöverföringen. Fackverket består av flera stänger som, i ett idealt tillstånd, sammankopplas med varandra i friktionsfria leder (Dahlblom och Olsson, 2010). I verkligheten är dock inte lederna fria att rotera. Stängerna är ordnade i triangulära mönster. En triangulär ram stödjer sig själv (Johnson och Leon, 2002) och kollapsar inte till följd av last till skillnad från en rektangulär form. I triangelmönstret ges möjligheten till en stabil kraftöverföring i elementen, se Figur 9, till skillnad från den rektangulära konstruktionen som tvärtom leder till instabilitet, se Figur 10.



Figur 9 - En triangulär ram, stabil vid pålagd kraft (Schodek, Bechthold, 2008)



Figur 10 - En rektangulär ram, instabil vid pålagd kraft
(Schodek, Bechthold, 2008)

3.3.3 Typfall

Fackverksbroar är idag dyra att producera och underhålla (Vägverket, 1996), eftersom deras många infästningspunkter (lederna) måste kontrolleras ofta. Detta har lett till att princip inga vägbroar idag görs som fackverksbroar (Vägverket, 2008). De fackverksbroar som produceras idag är främst temporära broar eller enbart gångbroar. Vid gångbroar över väg innebär fackverksbroar stora fördelar i produktionsskedet då byggandet kan ske utan hinder för trafiken. Montering av överbyggnaden kan ske över natt om trafiken stängs av och bron lyfts på plats. Denna fördel i produktionsskedet har även använts vid nybyggda järnvägsbroar då det går fort och då det är av stort intresse att påverka järnvägstrafiken i en så liten utsträckning som möjligt (ELU).

3.4 Linverkansbroar

Broar som bärs av linverkan består av kablar eller hängare som är förankrade i en eller flera pelare, så kallade pyloner (Vägverket, 2008). Hängarna bär upp en avstyvningsbalk som utgör vägbanan.

3.4.1 Bakgrund

De tidigaste typerna av linverkansbroar var linor eller kedjor som spändes upp över exempelvis vattendrag. De första linverkansbroarna som kan jämföras med moderna broar började förekomma på 1800-talet med det tidiga exemplet Menai Suspension Bridge i Wales (Janberg, 1998a). Bron stod klar 1826 med en spännvidd på 177 meter, se Figur 11.



Figur 11 - Menai Suspension Bridge (1826), Wales (Knapton 2004)

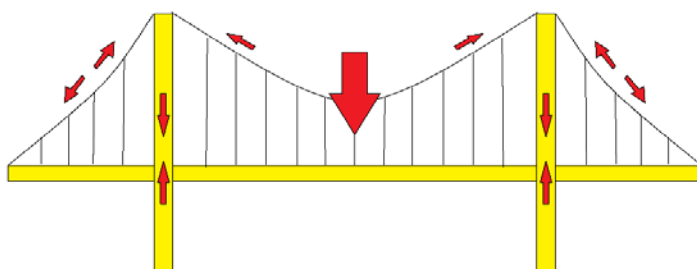
3.4.2 Bärande struktur

Laster tas upp som drag i kablarna och förs sedan ner som tryck i pylonerna. På grund av denna separering är det lämpligt att betong, som har hög tryckhållfasthet, används i pylonerna. I kablarna används däremot lämpligtvis stål som har en högre draghållfasthet.

Linverkansbroar klarar av mycket stora spännvidder och är därför lämpliga då åtkomsten under konstruktionen är begränsad och det inte finns möjlighet att bygga ytterligare stöd. De dominerande lasterna är egentyngd och vindlast.

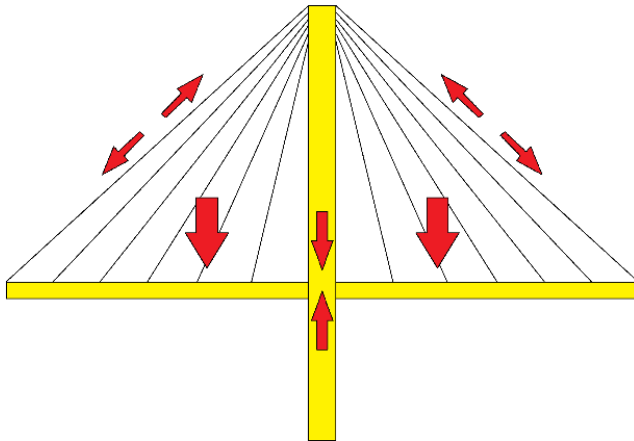
3.4.3 Typfall

Linverkansbroar förekommer i två huvudtyper: hängbroar och snedstagbroar. Karaktäristiskt för hängbroar är de två huvudkablarna som löper över pylonerna och förankras i stora landfästen (Vägverket, 2008). Enligt Per Ola Svahn från Skanska (Föreläsning på Chalmers 2015-02-12) kan de stora horisontella dragkrafterna bli problematiska om det inte finns en stabil grund att förankra huvudkablarna i. Längs bron placeras vertikala hängare som förbinder huvudkablarna med vägbanan, se Figur 12. Hängbroar är vanliga vid stora spännvidder och förekommer med spann upp till 2000 m (Janberg, 1998a).

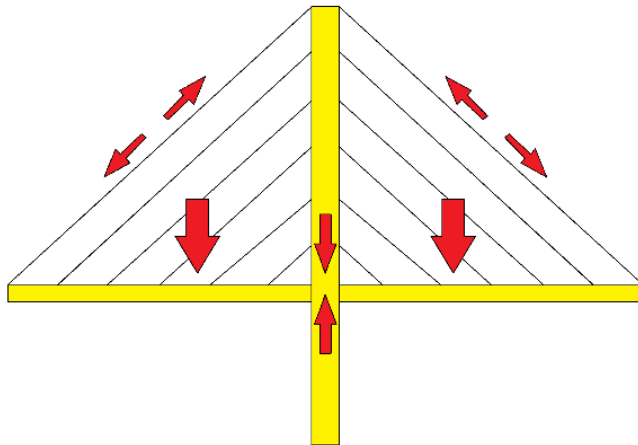


Figur 12 – Hängbro. Laster på vägbanan bärs genom drag i kablarna och tryck i pylonerna.

Hos en snedstagsbro är kablarna direkt anslutna mellan pylonerna och vägbanan (Vägverket, 2008). Vanligast är att kablarna monteras radiellt som i Figur 13 eller parallellt från pylonerna enligt Figur 14. Om bron utformas symmetriskt kommer de horisontella krafterna balanseras. Detta innebär att det inte krävs stora landsförankringar varken under produktion eller hos den färdiga bron. Snedstagsbron förekommer vanligen i spännvidder upp till cirka 500 m. Uddevallabron är ett exempel där snedstagsbro med radiella kablar har använts över en spännvidd på 414 m (Forsman, 2000).



Figur 13 - Snedkabelbro, radiella kablar.



Figur 14 - Snedkabelbro, parallella kablar.

4 Material

Valet av material spelar en betydande roll för hur konstruktionen ser ut och presterar i bruksskedet. De vanligast använda materialen är armerad betong, stål och trä samt på senare tid även kompositmaterial. Vid valet bör hänsyn tas till mätbara egenskaper såsom hållfasthet och pris men även till subjektiva aspekter, exempelvis estetik.

4.1 Armerad betong

Betong är ett av de vanligaste byggmaterialen och består av en sammansättning av cement, sand, sten, grus och vatten. Därtill kan det innehålla en eller flera olika tillsatsmedel för att erhålla önskade egenskaper såsom färg, konsistens och torktid.

4.1.1 Egenskaper

Betong är ett material med god tryckhållfasthet men med en betydligt lägre draghållfasthet. Genom att öka cementhalten i betongen kan tryckhållfastheten ökas, dock med konsekvensen att betongen blir sprödare (Burström, 2007). Med anledning av den låga draghållfastheten är betongkonstruktioner, broar såväl som andra byggnationer, oftast armerade konstruktioner. Vanligast är armering av stål och det finns många olika konstruktions- och produktionsalternativ för armeringen. Att ta i beaktning vid armerade konstruktioner är risken för saltinträning och av andra orsaker skapad korrodering av armeringsstålet. För att förhindra och förebygga korrosion måste det täckande betonglagret vara tillräckligt tjockt (även efter dimensionerad sprickbildning), av god kvalitet och fri från andra defekter. Viktigt är även möjligheten för inspektion för att kunna avgöra betongens och armeringsstålets skick (Hewson, 2003).

4.1.2 Betong som byggnadsmaterial

Betong bär huvuddelen av sina laster genom tryck då draghållfastheten för betong är avsevärt mycket lägre än tryckhållfastheten. Armeringsstål tar upp dragbelastningarna och betong tar upp tryckbelastningarna. Betong är ett levande material som till viss del krymper även efter att det "härdat klart" vilket kan skapa spänningar i materialen. Betong är fördelaktigt som byggnadsmaterial dels för att det är lätt att forma men även för att det är billigt och tillgängligt i de flesta delar av världen. På grund av den låga draghållfastheten bildas dock sprickor lätt (Al-Emrani, Engström, Johansson, Johansson, 2013). Betong skiljer sig från övriga byggmaterial då det inte nödvändigtvis levereras färdigt till arbetsplatsen. Ofta gjuts betongen på plats vilket ger större möjlighet till detaljanpassning (Burström, 2007).

4.1.3 Miljöpåverkan

En fördel med betong är att det är ett brandsäkert material och det har även god ljuddämpande effekt. En nackdel är dock att det bidrar till stora koldioxidutsläpp. Det är huvudsakligen cementproduktionen som ger upphov till de utsläppen och uppskattningsvis kommer cirka 3 % av Sveriges koldioxidutsläpp från cementindustrin (FormConsult, 2013). För att betongen ska ha mindre negativ

miljöpåverkan används idag nya metoder där cementmängden i betongen reduceras och ersätts med återanvända material som till exempel flygaska. Trots större miljöbelastning i produktionsfasen har betong ungefär samma miljöpåverkans som trä ur ett livscykelperspektiv tack vare lägre energiförbrukning i bruksskedet.

4.2 Stål

Stål är en legering till störst del bestående av grundämnet järn. Vid legeringen finns stor möjlighet till egenskapsförändring då olika legeringsämnen bidrar till olika slutegenskaper. Detta leder till att stål vanligen delas in i olika kategorier baserat på antingen användningsområde eller ämnesinnehåll. Inom byggsektorn används huvudsakligen konstruktionsstål som karakteriseras av en låg legeringshalt (Sperle Nationalencyklopedin). Vanliga produkter av konstruktionsstål är armeringsstänger, plåtar av olika profiler, rör samt pelare och balkar.

4.2.1 Egenskaper

För att kunna utvärdera stålprodukter klassificeras de utefter hållfasthet, deformationer, sprödhet samt svetsbarhet.

När stål belastas deformeras det linjärt vid ökade spänningar fram till den så kallade sträckgränsen. Sträckgränsen är den spänning vid vilken stål börjar deformeras plastiskt. Skillnaden mellan elastisk och plastisk deformation är att elastiska deformationer är reversibla till skillnad mot plastiska som är bestående. Vid tillräckligt hög belastning uppnås brottgränsen då stålet inte längre klarar av den höga spänningen och bryts av. Hållfastheten för stål definieras utifrån sträckgränsen.

Sprödheten påverkar brotttypen för stålet, brottet är antingen segt eller sprött. Segt brott ger en indikation på att brott snart kommer ske då stålet börjar flyta (deformeras plastiskt). Sprött brott sker momentant och utan egentlig förvarning. Stål med spröda brott har i gengäld högre hållfasthet än stål med sega brott. Sprödheten beror på temperaturen, ju lägre temperatur desto sprödare brott (Burström, 2007).

Svetsbarheten är ett mått på hur lämpligt stålet är för svetsning. Svetsning gör att stålet snabbt smälter och sedan direkt kyls, vilket är en stor påfrestning. God svetsbarhet medför att inga särskilda säkerhetsåtgärder behöver utföras i samband med svetsning (Burström, 2007).

Utöver klassificeringsegenskaperna bör också hänsyn tas till stålets brandegenskaper. Stål är inte ett brännbart material. Däremot beror ståls övriga egenskaper på temperaturen, vilket tillsammans med ståls höga värmekonduktivitet kan bli problematiskt. Några vanliga skyddsåtgärder mot brand är skyddsmålning eller täckning av stålet med betong eller gipsskivor (Burström, 2007).

4.2.2 Stål som byggnadsmaterial

Stål har teoretiskt sett samma hållfasthet i tryck och drag. I tryck måste dock instabilitetsfenomenen såsom buckling tas hänsyn till, särskilt vid slanka tvärsnitt. Följaktligen kan stål tillämpas i de flesta konstruktionsdelar med hänsyn till hållfasthetsegenskaper. Eftersom stål produceras i fabrik och sedan levereras till byggplatsen för montering blir byggtiden kort (SteelConstruction, Bridges). Korrosion är den största beständighetsrisken för stål. De vanligaste åtgärderna för att förhindra korrosion är förzinkning och rostskyddsmålning. Stål underhålls genom ommålning med hänsyn till rostskydd samt brandskydd. Hur ofta stålet behöver målas om beror på miljön kring konstruktionen, främst av fukthalt och förekomst av luftföroreningar (Burström, 2007).

4.2.3 Miljöpåverkan

Stål är i sig inte dåligt för miljön då det är helt återvinningsbart och har lång livslängd (Jernkontoret, 2014a). Däremot är tillverkningen av stål inte miljövänlig. Mycket energi går åt i flera led från utvinning av järnmalm till leverans av färdig produkt. Fabrikerna ger dessutom upphov till mycket buller (Jernkontoret, 2014b).

4.3 Trä

Trä var, tillsammans med stenblock, det material som främst användes när de första broarna framställdes (Svenskt trä, 2014b). Ett omkullfallet träd användes tidigt för att ta sig över vattendrag och stenras vilket sen utvecklades till byggnadsprojekt som skulle vara hantverksmässiga och estetiskt tilltalande. När stål och betong började dominera marknaden under 1900-talet blev trä inte lika intressant. Tekniska lösningar som ger god beständighet och enkelt montage har utvecklats väl under de senaste 20 åren och har gjort trä till ett attraktivt material igen.

4.3.1 Egenskaper

Trä är ett levande material med olika hållfasthet i olika längsriktningar, hög hållfasthet längs fiberriktningen och låg hållfasthet tvärs fiberriktningen (Burström, 2007). I belastning beter sig trä komplext på grund av en krypning oberoende av belastning som varierar med fuktighet och temperatur. När trä blir fuktigt angrips det av träförstörande mikroorganismer (Pousette, 2008). För att förebygga detta behandlas träet på olika sätt. Träet kan impregneras, kemiskt modifieras eller skyddas av konstruktivt träskydd innan det kan användas som byggnadsmaterial.

4.3.2 Trä som byggnadsmaterial

Trä är ett lätt material med en densitet på cirka 450 kg/m^3 beroende på vilken sorts trä. Det betyder att transport och montering blir mer effektiva samt att kostnaden sett över en hel livscykel är konkurrenskraftig (Burström, 2007). Träbroar idag kan prefabriceras till stora delar och arbetet på plats blir inte lika långvarigt samt att övrig omgivning inte störs under lika lång tid. En träbro kan klara spännvidder mellan 5-100 m beroende på hur bron utformas. (Pousette, 2008).

4.3.3 Miljöpåverkan

Ur miljöaspekt är trä ett bra val då det är ett naturmaterial och kan återvinnas förutsatt att det inte impregnerats. Impregnering är baserat på kemiska träskyddsmedel som kan vara giftiga för miljön (Kemikalieinspektionen, 2011). Med hänsyn till miljön minskas användningen av impregnerat trä inom brobyggnad och andra alternativ väljs istället (Svenskt trä, 2014c). Alternativa lösningar som inte är biocider finns. Kemiskt modifierat trä och konstruktivt träskydd är två sätt för att undvika biocider. Den viktigaste åtgärden för att få en lång livslängd är det konstruktiva träskyddet. Med konstruktivt träskydd menas att bron byggs på ett sådant sätt att träet skyddas mot vatten och fukt av andra konstruktionsdelar men samtidigt ges träet möjlighet till att luftas.

4.4 Komposit

Kompositmaterial är en klass av material som innehåller två eller flera komponenter och som har egenskaper som väsentligen skiljer sig från de ingående komponenternas egenskaper (Nationalencyklopedin, 2015).

4.4.1 Egenskaper

FRP, fiberarmerad polymer, är ett kompositmaterial bestående av ett plastmaterial med fiberarmering. Utöver att delvis verka som bindemedel för armeringen, har plastsammansättningen även till uppgift att skydda armeringen mot exempelvis korrosion, kemikalier eller brand. Fiberarmering hanterar tryck- och dragkrafter medan plastmaterialet tar upp tvärkrafter (Hollaway och Teng, 2008).

Några vanliga armeringstyper är glas- och kolfiber vilka tillsammans med strukturen på profilen ger olika hållfasthetsegenskaper. Glasfiber är den vanligaste armeringstypen då det är den billigaste av de båda men har ändå relativt goda hållfasthetsegenskaper (Fiberline, 2014).

De främsta fördelarna med FRP jämfört med traditionella byggmaterial (såsom exempelvis stål och betong) är lägre vikt och ökad styvhet. En annan fördel som också erhålls är en ökad beständighet mot exempelvis korrosion (jämfört med stål) vilket leder till minskat underhållsbehov (Hollaway och Teng, 2008). Detta gör även att FRP är mer beständigt än betong, då armeringen i FRP inte riskerar att korrodera.

4.4.2 FRP som byggmaterial

Brodäck i FRP kostar vanligtvis två till tre gånger mer i materialkostnad jämfört med traditionella material såsom stål och betong. Kort produktionstid (främst vid montering) och låga underhållskostnader kan dock motivera FRP som byggmaterial (Davalos, 2013). Även andra egenskaper, såsom ökad styvhet och lägre egentyngd, kan motivera valet av FRP då mindre dimensioner av brodelar kan erhållas (exempelvis ett tunnare brodäck för körbanan).

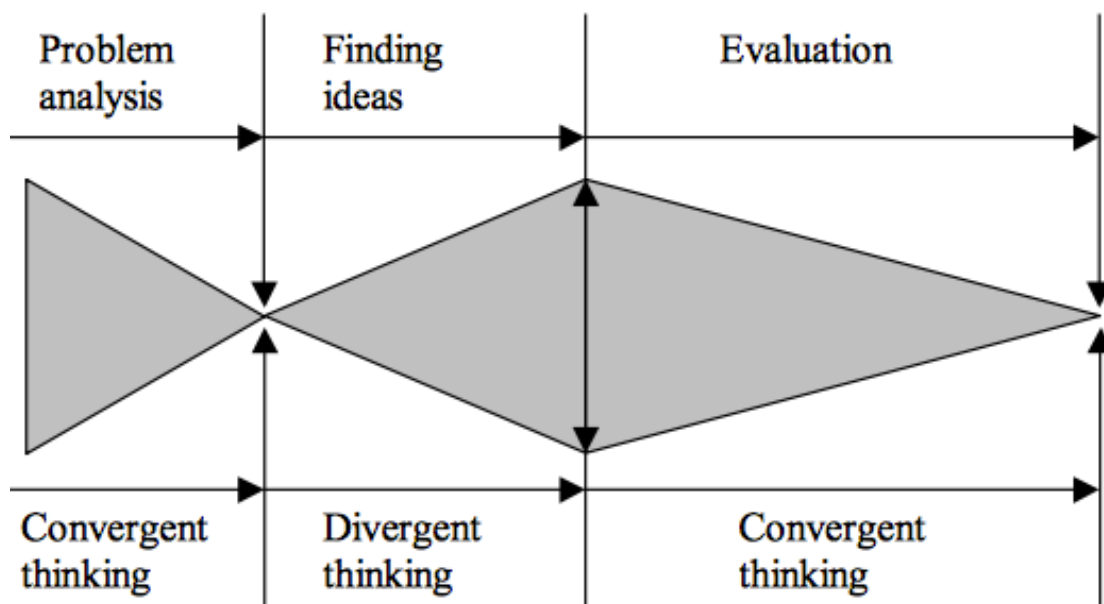
FRP är relativt obeprövat i Sverige som brobyggnadsmaterial. Det har använts i förstärkningssammanhang men första bron byggd helt i kompositmaterial är än så länge bara i projekteringsstadiet (Ramböll, 2014).

4.4.3 Miljöpåverkan

FRP är i det närmaste underhållsfritt vilket även leder till en minskad miljöbelastning (Ramböll, 2014) jämfört med andra byggnadsmaterial. Det är vid tillverkningen av plasten den största miljöpåverkan sker då vissa giftiga ämnen kan frigöras. I livscykelanalyser visar dock FRP totalt sett på en låg miljöbelastning (Hollaway och Teng, 2008).

5 Beslutsprocess

För att komma fram till ett brokoncept, bestående av dels en specifik design och dels en särskild materialkombination, tillämpades en designprocess enligt Figur 15. Den tekniska beskrivningen och egna preferenser sammanvägdes för att skapa en kriterietabell. Utifrån kriterietabellen blev det möjligt att jämföra olika koncept med siffervärde. Beslut angående värdering av olika koncept och dylikt har tagits av hela gruppen genom diskussion och eventuell röstning.



Figur 15 - Designprocess enligt föreläsning *Konceptuell Design* (Engström, 2015)

5.1 Kriterier

För att kunna utvärdera och väga olika brokoncept valdes sex olika kriterier baserat på den tekniska beskrivningen (se Bilaga 1) och gruppens egna preferenser. De kriterier som valdes var:

- Trafiksäkerhet (A), ett uppskattat mått på hur säker bron är för trafikanter på och under bron. Påverkande faktorer är exempelvis risk för påkörning av bropelare.
- Livstidskostnad (B), en sammanvägning av byggkostnad samt drift- och underhållskostnad. Då beställaren är fiktiv ansågs det inte möjligt att avgöra ifall de ekonomiska förutsättningarna lämpade sig för en hög byggkostnad och låg underhållskostnad eller vice versa. För att undgå problemet sattes kriteriet till total kostnad ur ett livstidsperspektiv.
- Estetik (C), gruppens allmänna uppfattning kring vad som anses vara estetiskt tilltalande i en bro.
- Underhållstillgänglighet (D), ett uppskattat mått på hur underhåll av bron kommer att påverka omgivande trafikmiljö.

- Miljövänlighet (E), ett uppskattat mått på ett materials totala miljöpåverkan ur ett livscykelerspektiv. Materialen värderades utifrån produktion, transport och underhåll.
- Produktionsvänlighet (F), ett mått på hur pass enkel bron är att uppföra med hänsyn till tid och omständlighet.

5.2 Möjliga förslag på brokoncept

Processen inleddes med en uppräkningslista av alla de olika brokoncept som ansågs möjliga. Dessa bestod utav kombinationer av standardiserade brotyper (se avsnitt 1.1) med ett huvudsakligt material (se avsnitt 1.2). Olika alternativ för de vanliga brotyperna har framförallt varierat med antal stöd/pyloner. Lösningar med stöd placerade mellan körbanorna på underliggande väg valdes bort då de inte ansågs vara en tillräckligt trafiksäker lösning. Hängbroar och fackverksbroar valdes bort helt. Hängbroar ansågs inte som ett ekonomiskt hållbart förslag då de främst lämpar sig för större spännvidder (se avsnitt 3.2). Fackverksbroar valdes bort då det inte ansågs som den optimala lösningen utifrån ett lastbärande perspektiv. Fackverksbroar uppfyllde inte heller enligt gruppen ett baskrav på estetik. Bågbroar med underliggande båge valdes bort då det inte ansågs vara möjligt att uppfylla kravet på 4,7 m fri höjd över underliggande väg. Slutligen hade 20 olika brokoncept tagits fram.

5.3 Viktning av kriterier och konceptbedömning

För att kunna ta processen vidare behövde de uppställda kriterierna vägas emot varandra och på så sätt viktas i en utvärdering av respektive brokoncept. Samtliga kriterier ställdes mot varandra och poängsattes med 1 eller -1 där 1 betyder att gällande kriterium anses viktigare än det kriterium det jämfördes med och -1 betyder det motsatta. Resultatet ses i Tabell 1, Bilaga 3. En viktning av kriterierna utfördes utefter inbördes ordning där det minst viktiga kriteriet gavs 0 poäng, det näst viktigaste 2 poäng och så vidare upp till 10 poäng för det viktigaste kriteriet. Varje kriteriums poäng dividerades med den totala utdelade poängsumman (30) och fick på så sätt en sats som adderades med 1 för att få ett viktningsvärde, se Tabell 2, Bilaga 3.

Varje brokoncept värderades utifrån de givna kriterierna med 1, 0 eller -1 där 1 representerar god kvalitet i givet kriterium, -1 representerar dålig kvalitet och 0 varken eller. Varje kriterium viktades därefter med det framräknade viktningsvärdet varpå en total poängsumma för varje bro kunde avläsas, se Tabell 3, Bilaga 3. De fem först placerade brokoncepten valdes för vidare utvärdering, vilket blev sju olika brokoncept på grund av att tre brokoncept fick samma antal poäng. Dessa sju brokoncept var:

1. Balkbro huvudsakligen i trä med två stöd
2. Balkbro huvudsakligen i FRP med två stöd
3. Balkbro huvudsakligen i betong med två stöd
4. Bågbro huvudsakligen i trä
5. Snedkabelbro huvudsakligen i trä med en pylon
6. Snedkabelbro huvudsakligen i FRP med en pylon
7. Bågbro huvudsakligen i FRP

5.4 Noggrann poängbedömning

För att nå fram till ett av gruppen bestämt mål på tre brokoncept valdes de alternativ innehållande FRP bort. Detta främst på grund av en osäkerhet kring materialet i dess livscykelperspektiv. Då det inte byggts någon FRP-bro som stått lika länge som den i tekniska beskrivningen givna livslängden anser gruppen inte att tillräcklig säkerhet kring materialets beständighet finns. Vidare bestämde gruppen att en ytterligare granskning av två olika balkbroar inte var nödvändigt. Balkbron i trä valdes därför bort med en tanke att en eventuell delkonstruktion i trä kunde utföras om balkbron i betong blev det slutgiltiga konceptvalet. De tre återstående brokoncepten värderades sedan med en noggrann poängbedömning, 1 till 5, i varje kriterium. 5 poäng innebar att bron var utmärkt i gällande kriterium och 1 poäng att bron var dålig i gällande kriterium. Varje kriteriepoäng viktades sedan med det sedan tidigare framräknade viktningsvärdet från Tabell 2, Bilaga 3. Resultatet blev en poängställning där de tre brokoncepten kunde ges en inbördes ordning utefter ställda kriterier, se Tabell 4, Bilaga 3.

- Balkbro i betong med två stöd
- Bågbro i trä med överliggande båge
- Snedkabelbro med en pylon samt brobana i trä

5.5 Utveckling av koncept

För att kunna jämföra de tre slutliga koncepten utvecklas förslagen med hänsyn till produktion, grundläggning och underhåll.

5.5.1 Balkbro i betong med två stöd

Balkbron uppförs genom gjutning av i första hand bottenplatta direkt på berget, därefter stöden och slutligen vägbanan. Gjutningen kräver tillfälliga konstruktioner, vilket inte är ett problem eftersom produktionen inte påverkar någon trafik. Produktionen kan ses som tämligen enkel och standardmässig (Al-Emrani, Engström, Johansson, Johansson, 2013). Även underhållsmässigt är en balkbro i betong fördelaktig, då detta sker genom regelbundna inspektioner av exempelvis sprickbredd enligt Trafikverkets krav. Detta för att förhindra att armeringen rostar.

5.5.2 Bågbro i trä med överliggande båge

Bågbron uppförs som en treledsbåge. Bågdelen delas upp i två halvbor som sammanförs i toppen av bågen med en momentstyv led. De två båghalvorna lyfts på plats med kran och stabiliseras med tillfälliga konstruktioner. Produktionsfasen av en bågbro är kritisk då konstruktionen inte är stabil förrän hela bågen är på plats. Hängstag av stål monteras varpå vägbanan lyfts ut och monteras på plats. Grundläggning sker genom pålning till berget. Underhållsmässigt behöver stagen frekventa inspektioner för att säkerställa att rost inte förekommer. Träet behöver också inspekteras med hänsyn till fukt. I jämförelse med balkbron i betong blir underhåll en större påverkande faktor.

5.5.3 Snedkabelbro med en pylon samt brobana i trä

Pylonen gjuts med klätterform ner till berg (cirka fem meter under markyta). Därefter lanseras vägbanan genom att underliggande tvärbalkar i stål fixeras med tillfälliga konstruktioner och dragstag till pylons topp, varpå vägbanan kan lanseras ut och fästas med tvärbalkarna. Underhållsmässigt råder samma krav för de ingående materialen som på föregående broar, med kontroll av rostning av stål, sprickbredd för betong och fukt för trä.

5.6 Val av koncept

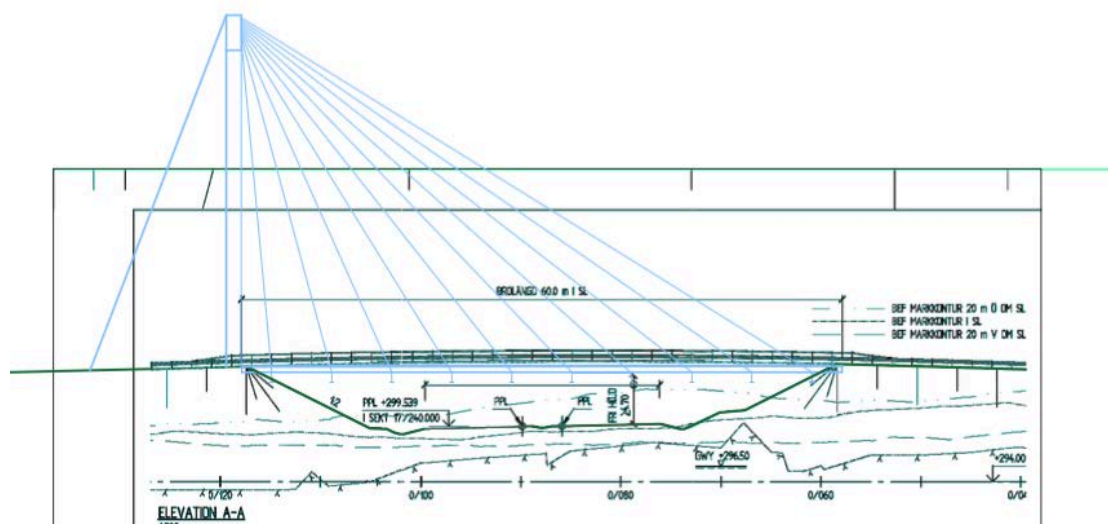
Inför valet av slutgiltiga brotypen genomfördes en oberoende omröstning inom gruppen utan hänsyn till den inbördes ordningen utefter de ställda kriterierna. Detta då samtliga brotyper ansågs som rimliga alternativ eftersom de svarade bäst till kriterierna. Röstningen vanns med klar majoritet av en snedkabelbro med en pylon och ett brodäck av trä.

I den slutgiltiga omröstningen återgick vi till vår ursprungliga måldefinition där stor vikt lades på att skapa ett landmärke av bron. Beslutet backas upp med motiveringen att en bågbro av trä aldrig tidigare genomförts i Sverige med en spännvidd på 60 meter (Moelven, 2013). Dessutom skulle det uppstå en problematik för balkbron när en variabel last placeras i mittspannet vilket i sin tur får ändspannen att lyfta (Magnus Bäckström, 2015).

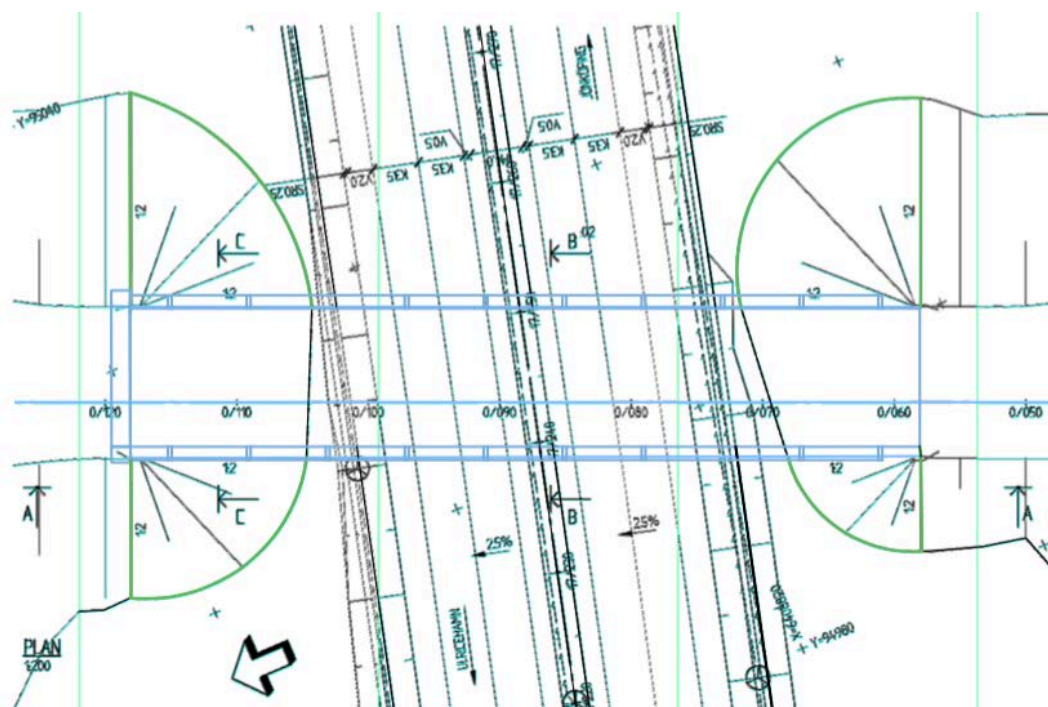
Ur en ekonomisk synpunkt är det svårt att motivera valet av snedkabelbro då det är en förhållandevis dyr bro och en byggnadstekniskt mer komplicerad konstruktion att producera än exempelvis en balkbro. Gruppen anser dock att en snedkabelbro bäst uppfyller visionen om att skapa ett landmärke och att det värderas högre än eventuella ekonomiska fördelar andra brotyper kan tänkas ha.

6 Snedkabelbro – Utformning

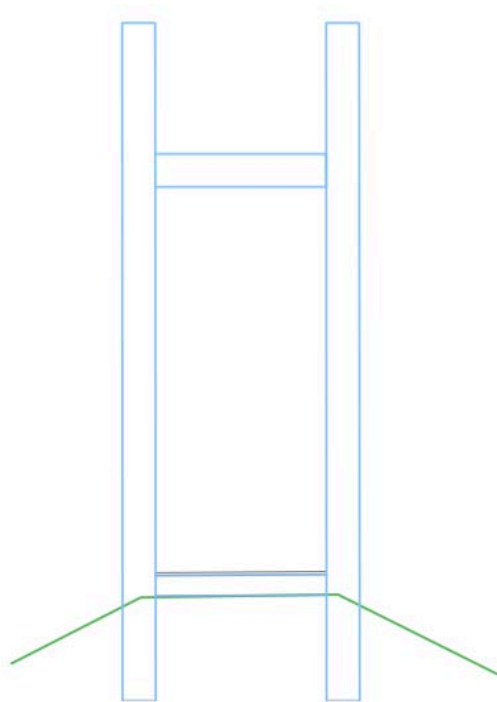
Då stor vikt under projektet har lagts på att uppfylla de estetiska kraven har gruppen valt att dela upp utformningen efter olika områden där alternativ ställs mot varandra och viktas mot tidigare kriterier i en gemensam diskussion. Slutligen resulterade det i en snedstagsbro med det nedan redovisade konceptuella utseendet (se Figur 16-18).



Figur 16- En konceptuell bild av bron (blå) i sidovy infogad i ritning från Tekniska beskrivningen.



Figur 17- Översikt av konceptuell bro (blå) infogad i ritning.



Figur 18- Konceptuell bild av pylonen (blå) sedd från norr, där pylonen går ner under marknivå (grön).

6.1 Pylon

Valet av pylon gjordes mellan två alternativ. De alternativen var en vertikal- och en lutande pylon. På grund av det relativt korta spannet riskerar en lutande pylon att få samma lutning som kablarna vilket gruppen anser vara en estetisk nackdel. Med hänsyn till detta väljs slutligen en vertikal pylon, placerad i sektion 0/120. De geotekniska förutsättningarna tillåter en grundläggning av pylonen där den fästs på underliggande berg. På så sätt kan pylonen anses som en fast inspänd konsolpelare. Detta är gynnsamt ur produktionssynpunkt, hållfasthetssynpunkt och därmed även ekonomiskt. Pylonen spänns dessutom bakåt med stålkablar som även dessa är förankrade direkt till berg med ett betongfundament.

6.2 Utformning av pylon

Under beslutsprocessen för val av design på pylonen tog gruppen gemensamt fram ett antal utformningsalternativ genom skisser. En omröstning genomfördes i ett första led som resulterade i fyra alternativ. Efter ytterligare en omröstning där varje medlem fick ge 1-3 poäng till alternativen valdes slutligen designen i form av ett ”upp- och nedvänt V” uppfört i solid betong. Under de preliminära beräkningarna framkom emellertid att snedkablarna skulle inkräkta på den erforderliga frihöjden ovan brobanan om kablarna fästes i mitten på en V-nylon. För att undvika en väldigt hög pylon omvärderades därför beslutet om val av pylon och slutgiltig utformning blev en H-nylon så att kablarna på respektive sida fäster på var sin pylon och således frigör hela luftutrymmet ovan vägbanan.

6.3 Utformning av kablarna

Valet av utformning av design stod mellan att placera kablarna radiellt eller parallellt (se avsnitt 3.4.3). Då radiellt ansågs ge en vackrare gestaltning valdes det som metod för utformningen. Vid val av antal kablar samt dess dimensioner eftersträvas i första hand en större mängd kablar för att på så vis kunna minska konstruktionshöjden på brodäcket. Preliminärt valdes antalet kablar till sex på båda sidor om farbanan, vilket motsvarar en kabel var tionde meter.

6.4 Utformning av brodäck

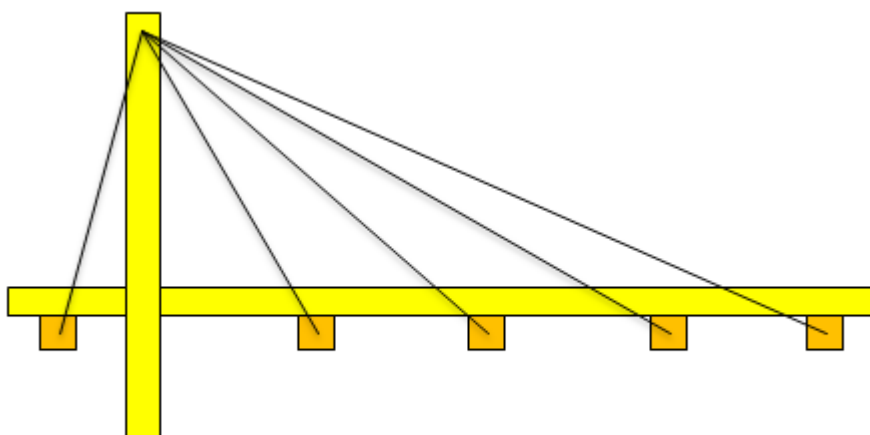
Brodäcket kommer att bestå av längsgående limträbalkar som är tvärspända med stålstänger, se Figur 19. Metoden valdes på grund av sitt höga materialutnyttjande och möjligheten till att konstrueras både kontinuerligt över ett spann eller i sektioner. Då bron endast består av ett spann blir både den totala brolängden och spännvidden 60 m (se Bilaga 2).



Figur 19 - Tvärspänd träbalkbro i profil (Svenskt trä, 2014d)

6.5 Infästning mellan kabel och brodäck

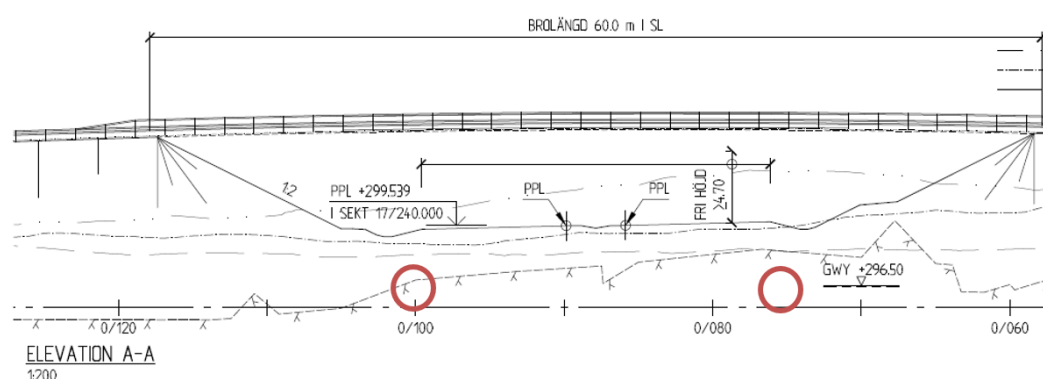
Efter en kort diskussion ansågs det enda reella alternativet vara att förlägga brodäcket på tvärgående stålbalkar som i sin tur kablarna kan fästas i (se Figur 20).



Figur 20 - Infästning mellan kablar och tvärgående stålbalkar.

6.6 Fri konstruktionshöjd

Underliggande väg 40 ligger på plushöjden +299,539 i sektionen 17/240,000. Den minsta fria höjden som krävs är 4,70 m. De kritiska snitten på den ovanliggande vägbanan är i sektionerna 0/100,000 i norr och 0/75,000 i söder. Utifrån dessa beräknades den fria konstruktionshöjden till 1,73 m (se Bilaga 4). Det dimensionerade värdet fås i det norra snittet till vänster i Figur 21. Preliminärt valdes maximal konstruktionshöjd (träfarbana och underliggande tvärbalk) till maximalt tillåtet värde. Detta då det kommer att behövas stora dimensioner på träet för att klara ställda krav på bland annat nedböjning.



Figur 21 - Vägprofil, väg 1721. Kritiska snitt markerade i rött. (Från Bilaga 2)

6.7 Övergripande beskrivning av konstruktionsdetaljer

Här redovisas övergripande konstruktionsdetaljer för vilka dimensionering ej utförts.

6.7.1 Avvattning

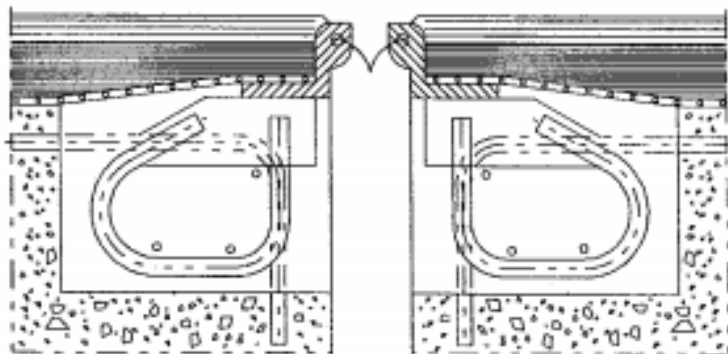
För att en träbro ska hålla god standard under sin livstid krävs ett tätt avvattningssystem av dagvattnet för att undvika att fukt stannar kvar i limträbalkarna (Svenskt trä, 2014d). Kantkonstruktionen består av en dropp-plåt som leder bort vattnet samt ett grundavlopp som avvattnar brobanans översida. Grundavloppet placeras i rader längs bron där tätskiktet är lägst, högst ett avstånd på 7,5 m, och tvärs bron i närheten av övergångskonstruktionen (Trafikverket, 2004). Inga grundavlopp läggs där hjulspår förväntas uppkomma.

6.7.2 Räckten

Sidoräckten i stål placeras ytterst på bron. Två räcken med lite högre höjd än kraven väljs för att höja säkerheten, räckets överkant ligger på en höjd 1,6 m ovan beläggningen (Trafikverket, 2011). Varje räcke har en egentygnd på 0,5 kN/m.

6.7.3 Övergångskonstruktion

En snedkabelbros uppbyggnad innebär att en kraftkomponent ifrån kablarna kommer gå i horisontell riktning vilket i sin tur innebär att en övergångskonstruktion kommer vara nödvändig vid ett utav landfästena även om det hade varit att föredra att undvika dessa konstruktioner så långt det går. Anledningen till att de i regel undviks är att de är komplicerade och underhållskrävande (Svenskt trä, 2014d). En fog med gummiprofil väljs som övergångskonstruktion, se Figur 22.



Figur 22 - Övergångskonstruktion, (Vägverket, 1996)

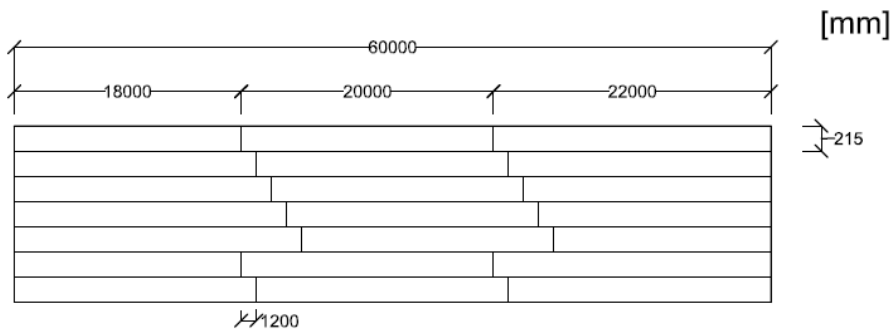
Då träkonstruktionen har små rörelser längsled krävs inte lika avancerad övergångskonstruktion vid det andra landfästet där görs övergångskonstruktionen med plåtar som sedan täcks med asfaltsbeläggning.

6.7.4 Infästning mellan pylon och brobana

Infästningen mellan pylonen och brobanan är av mekaniska skäl fast inspänd. Att få trä fast inspänd är väldigt svårt, därför placeras en tvärbalk under träbanan även i samma snitt som pylonen. Då kan istället pylonen fästas på tvärbalken och på så sätt garantera fast inspänning mellan brobana och pylon. Tvärbalken svetsas fast mot pylonen. Tvärbalken fästs mot träbanan på samma sätt som resterande tvärbalkar.

6.7.5 Skarvning

Det finns flera krav och riktlinjer beträffande skarvningen av limträlamellerna. För varje grupp av fyra intilliggande lameller får det ej finnas mer än en styck skarv inom ett avstånd i längsled på 1200 mm (Pousette, 2007). Då det ej går att spänna upp tvärspänningsstänger i stumskarvar väljs ett skarvningsschema enligt nedan (se Figur 23) med skarvningsfaktorn 1 på 5 vilket innebär att skarvningsmönstret upprepas vid var femte lamell. Den längsta limträbalken blir då 22,8 m vilket är rimligt även ur transportsynpunkt.



Figur 23 - Skarvningsschema trälameller. Notera att skalan i y-led inte är i samma som x-led.

7 Produktion

Vid byggnation av broar är det viktigt med en välplanerad och fungerande produktionsprocess för att hålla nere kostnaderna samt för att säkerställa kvalitén.

7.1 Produktionsprocess

Vid produktion av snedkabelbroar innebär första produktionsprocessen att gjuta pylonen. I samband med att man gjuter pylonen kan även landfästena och betongfundamentet gjas för att effektivisera processen då betongen ska härda i 28 dygn för att uppnå full hållfasthet. Pylonen gjuts med klätterformar vilket innebär att pylonen gjuts stegvis med formar. Föregående sektion måste hinna få en viss hållfasthet innan man kan fortsätta bygga på höjden. Under tiden som betongelementen produceras på plats kan övrigt arbete förberedas. Nästa process är att stegvis etablera sektioner av limträbalkarna med tillhörande tvärbalk av stål. I stålbalarna fästs snedkablarna som tar upp de vertikala krafterna. Det är väsentligt att bakstegen etableras först för att ge balans i systemet.

När samtliga sektioner är färdigställda återstår att lägga beläggningen på träplattan. Asfaltsbeläggningen skiljer sig inte ifrån andra vägbroar men på träfarbana är risken för blåsbildning under beläggningen liten (Svenskt trä, 2014e). För att helt undvika blåsor ska temperaturen hållas nere vid läggningen. En metod för att undvika framtida blåsor är att öka beläggningstjockleken så att temperaturen från solstrålningen hålls nere. För att beläggningen ska fästa på träplattan behöver träytan behandlas med en polymodifierad asfaltsprimer. På den behandlade ytan fästs sedan en svetsbar isoleringsmatta med en armerad stomme och en polymodifierad bitumen på båda sidor samt en asfaltsbeläggning överst.

7.2 Träplattan

Då bronns färdig bana består av en förspänd limträplatta innebär det att många element kan prefabriceras vilket i sin tur leder till kort produktions tid på plats (Moelven, 2015). De bärande stålbalarna i tvärled är även de prefabricerade. Fördelarna med prefabricerade element är att de tillverkas i kontrollerad miljö som medför större säkerhet både i form av hållfasthetsegenskaper och i tillverknings tid. De nackdelar

som finns är de begränsningar vid transport mellan fabrik och byggarbetsplatsen då en lastbil endast kan ta element som är max 23 m långa (Ekholm, 2015).

Då trämaterial är väldigt känsligt för fukt gäller det att konstruktionen i största möjliga mån undviker direkt kontakt med fuktiga ytor. För att lyckas med detta lyfts trärelementen på plats med kran direkt ifrån lastbilen som i sin tur kommer direkt ifrån fabrik. För att undvika att träet förvaras på arbetsplatsen och på så vis kommer i kontakt med fukt krävs bra logistisk planering. Skulle detta misslyckas krävs att materialupplagen är fuktsäkrade. Det är mycket viktigt att det sker noggranna kontroller av fuktkvot och uppspänning vid monteringen av den tvärspända limträplattan. Dessutom behöver spännstagen efterspännas efter att bron är färdigkonstruerad (Trafikverket, 1996).

7.3 För- och nackdelar

Fördelaktigt för snedkabelbroar är att det inte behövs några byggnadsställningar för själva farbanan under byggskedet. Konstruktionen är både under produktion och som färdigställd självförankrad vilket innebär att de krafter som uppstår som en horisontell komponent i kabelinfästningarna tas upp inne i systemet. Resultatet blir att de vertikala lasterna enbart ger upphov till vertikala reaktioner. Under byggnationen kommer brobanan att verka som en konsol där den enda sidstyvheten kommer att vara limträplattans och till viss del avstyvningsbalken mellan pylonerna. Detta kommer att begränsa till vilken spännvidd man kan bygga för att kunna bibehålla stabiliteten (Trafikverket, 1996). Förhållandet mellan spännvidden och brobredden kan därmed bli ett problem som är uppmärksammat men som inte tas hänsyn till med de avgränsningar som gjorts. En eventuell lösning hade varit att bygga halva bron (från sidan motsatt pylonen) med hjälp av ställningar och sedan förankra den på lämpligt avstånd, exempelvis på halva brolängden.

8 Underhåll för valt koncept

Det är viktigt för brons livslängd att bron underhålls regelbundet. Den största risken för träfarbanan är fuktinträning i virket, och underhåll och inspektion bör därför ske med avsikt av att förhindra detta. Stålstagen skall kontrolleras för bibehållen stagkraft, samt för att infästningspunkter behålls intakta vilka kontrolleras för bland annat sprickbildning. Pylonerna och fundamenten i betong skall kontrolleras för fuktinträning och korrosion.

8.1 Träfarbanan

Då farbanan är i trä, är det viktigt att virket hålls torrt. Därför skall bron utformas på det viset att fukt har möjlighet att torka ut efter uppfuktning samt att bron kontinuerligt rengörs från löv, grus och damm som binder fukt. Även målade ytor skall målas om vid behov för att förhindra fuktinträning i träet (Pousette, Fjellström, 2004). Av samma anledning skall vägbeläggning kontrolleras och repareras vid behov. Spännstagen tvärsigenom balken skall kontrolleras för att säkerställa bibehållen stagkraft och vid behov spännas upp.

De kritiska punkterna vid bron är alla förband, exempelvis samtliga spännstag tvärsigenom lamellerna och alla förankringar mellan farbanan och tvärbalkarna, övergångskonstruktioner samt farbanans ändträ. Dessa punkter skall noga inspekteras för tidig upptäckt av eventuell röta, fuktinträngning eller sprickbildning (Pousette, 2008).

Även områden där ansamling av grus, skräp och damm sker skall kontrolleras och rengöras för att förhindra fuktbindning. De aktuella områdena är övergångskonstruktionerna, ändarna på farbanan samt upplagsändarna. Kontroller görs årligen.

8.2 Stålstagen

Stålstagen skall kontrolleras regelbundet för bibehållen stagkraft, samt för skador eller sprickbildningar i infästningspunkterna i pylonen och vid tvärbalkarna (Trafikverket, 2004). Svetsarna mellan staginfastningarna och tvärbalkarna skall också kontrolleras för sprickbildningar. Stagen skall bytas ut med jämna mellanrum eller oftare vid behov. Kontroll görs förslagsvis i samband med huvudinspektionen som utförs var sjätte år.

8.3 Pyloner

Pylonerna skall inspekteras med jämna mellanrum, dock mer sällan än övriga delar i bron. De skall kontrolleras för såväl sprickbildning som fuktinträngning i betongen (Burström, 2007).

8.4 Inspektioner

En huvudinspektion av bron skall ske var sjätte år (Pousette, 2008). Vid den inspektionen skall eventuella skador eller skick som kan påverka brons bärlighet inom en tio års-period upptäckas. Vid huvudinspektionen skall bland annat fuktkvoten i träet mätas med en fuktmätare, kraften i spännstagen mätas och kontroll av sprickor i träet göras. Även en allmän översyn av brons skick skall utföras, där sprickor i samtliga element (pyloner, balkar, träfarbanan, fundament) skall upptäckas.

8.5 Problematik med valt koncept

En träbro har i allmänhet en betydligt högre konstruktionshöjd än en för ändamålet motsvarande betong- eller stålbro. Det valda konceptet begränsas av kravet på en fri höjd hos underliggande motorväg. En möjlig lösning för att uppnå en slankare konstruktion är att göra kablarna kraftigare eller att öka antalet kablar.

För konstruktion av en snedkabelbro krävs en relativt hög pylon och därmed mer arbete i jämförelse med andra brotyper. Problematik kan uppstå med eventuella vindlaster på hög höjd som därmed behöver beaktas. Även underhållsmöjligheter bör tas hänsyn till för såväl pylonen som kabelinfästningen.

Infästningar av kablarna i den tvärgående stålbalken kan komma att bli kritiskt efter väderpåverkningar och måste därför skyddas och vara åtkomliga för underhåll. Även för träplattan kommer underhåll att vara nödvändigt. Detta delvis för att säkra att väderskyddet håller för påfrestningar men även på grund av behovet att efterspanna stålstångerna för att bibehålla träplattans funktion. Detsamma gäller kablarna som även de kräver underhåll och eventuellt utbyte emellanåt. Underhåll vid ändupplag kommer krävas framförallt om där rullstöd används.

I och med att brons GC-bana är placerad längs ena sidan kommer en ojämn lastfördelning uppstå. Om inte brodäckets vridstyvhet är tillräcklig kan asymmetrin kompenseras genom att införa en dödvikt på GC-sidan eller att spanna kablarna olika.

DEL 2 – DIMENSIONERING

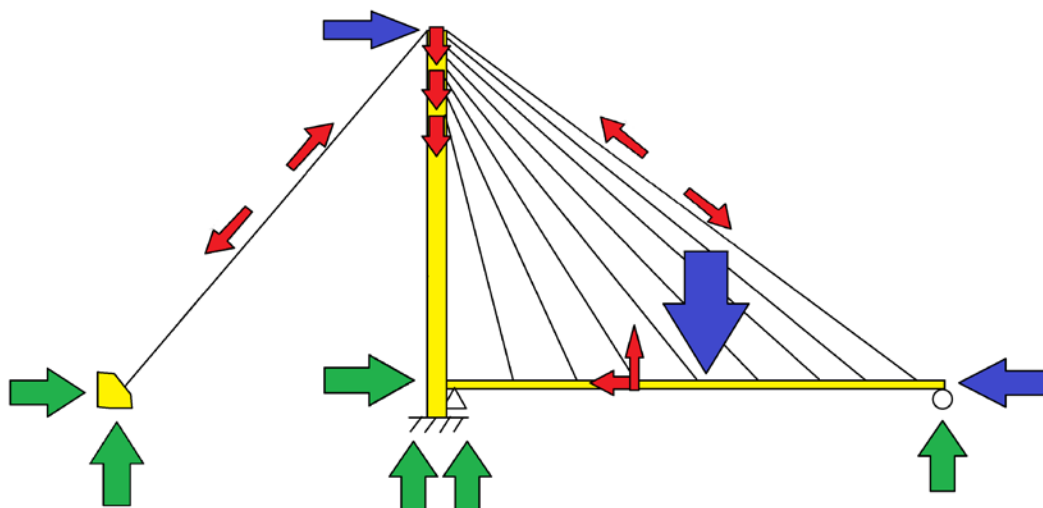
I del 2 beskrivs dimensioneringsprocessen, beräkningsmetoder samt de resultat som erhållits.

9 Preliminär dimensionering

Den första preliminära dimensioneringen utgick ifrån en snedkabelbro med sex stycken snedkablarna med avstånden tio meter och som samtliga fästes i mitten på en ”upp-och-ned-vänd” V-pylon. De ursprungliga beräkningarna utgick även från en träfarbana med en konstruktionshöjd på omkring en meter och tvärgående stål balkar med den ungefärligt maximala dimensionen 600-700 mm för att uppfylla kravet på fri höjd för den underliggande vägen. På grund av kraven på fri höjd omvärderades beslutet om en V-pylon till en H-formad pylon. Beräkningar visade att det skulle krävas en för hög pylon för att snedkablarna inte skulle inkräkta på den fria höjden på bron körbanor. Tidiga beräkningar, se Bilaga 5, visade även att det borde vara ungefär de motsatta dimensionerna på träfarbanan respektive de tvärgående stål balkarna jämfört med den ursprungliga uppskattningen. Beräkningar visade även att antalet stål kablarna behövde ökas. Ungefärliga dimensioner blev således 1 meter stål balk, 0,6 meter träfarbana samt 10 stycken stål kablarna med en spännvidd på 6 m på vardera sidan av färdbanan. De preliminära dimensionerna kontrollerades och optimerades sedan i de skapade beräkningsmodellerna i MathCAD och CALFEM som använts för beräkningarna (se Bilaga 5, 6 och 7).

9.1 Beskrivning av det bärande systemet

Som det förklarades i avsnitt 3.4 verkar snedkabelbroar genom att bron tyngd bärs upp av kablarna med hjälp av dragkrafter i kablarna som sedan förs vidare som tryck till pyloner och drag till fundament, (se Figur 24).



Figur 24 - Globalt kraftspel

Då bron i fråga inte är symmetrisk blir det obalans för krafterna i horisontalplanet. Det ställer därför högre krav på fundamentet för bakstaget och övergångskonstruktionen mellan brobanan och landfästet.

De laster som bron utsätts för är trafiklaster och egentynngd i vertikalled, bromskraft och vindlast i horisontalled samt en last på grund av temperaturutvidgning i materialen. De vertikala lasterna förs vidare från brobanan till tvärbalkar. I tvärbalkarna är sedan kablarna fästa, vilka drar krafterna via pylonernas vilken sedan för ned dem till betongfundamentet. Eftersom kablarna är dragna leder detta till att pylonerna utsätts för en tryckande kraft. Tvärbalkarna belastas även i vridning på grund av excentriciteten för kabelinfästningarna.

De horisontella lasterna påverkar brobanan som en tryckande normalkraft och pylonen antas enligt EN 1991-1-4 belastas med en punktlast till följd av vindlasten. Pylonens horisontella laster upptas i grundläggningen för pylonen och brobanans horisontella laster tas upp av en fjädrande platta i brofästet.

9.2 Materialkvalitéer

För limträfarbanan valdes GL36c då det krävs högsta möjliga hållfasthet för träfarbanan för att i möjligaste mån minska dess dimensioner. Pylonen gjuts i betongklass C 60/75. Till de tvärgående stålbalkarna används stålkvalitéén S355J0 då det ställs stora krav på momentkapaciteten för HEA-balkarna. Stålkablarna väljs till LC-kablar, Locked Coil Strad, i dess standardmaterial enligt fabrikatet Bridon (Bridon, 2015).

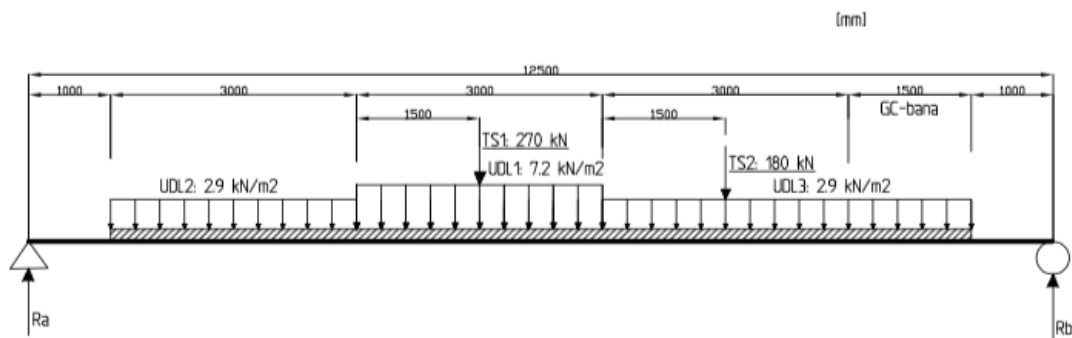
9.3 Permanenta laster

De permanenta laster som använts i beräkningarna är egentynngden för konstruktionsdelarna samt brobeläggning och räcke vilka är listade nedan.

- Limträplatta
- Stålbalk
- Beläggning (asfalt, slitlager)
- Räcke

9.4 Variabla laster

De variabla lasterna som använts för beräkningar i tvär- och längsled har gjorts enligt Lastmodell 1 (LM 1) i EN 1991-2. De här beräkningarna tar hänsyn till de möjliga uppkomna påfrestningar som trafiken på bron kan ge upphov till. Trafiklasterna omvandlas till standardvärden på utbredda och koncentrerade laster där de sistnämnda motsvarar axellasterna från en bil. Brobredden delas, i tvärled, in i ett antal lastfält om tre meter samt ett resterande lastfält med återstående brobredd. Samtliga lastfält tilldelas värden på utbredda och koncentrerade laster vilka sedan kombineras och placeras olika för att erhålla maximal tvärkraft och maximalt moment för dimensioneringen. I tvärled motsvarar en koncentrerad last (punktlast) ett axelpar från ett fordon. I Figur 25 visas ett exempel på hur ett lastfall enligt LM 1 ser ut.



Figur 25 - Exempel lastfall enligt LM 1

I längsledsdimensioneringen omvandlas lasterna från tvärlägsberäkningarna till utbredda laster i längsled. De summerade punktlaster i ett tvärlägsnitt placeras i par för att motsvara två axelsystem, det vill säga ett fordon eller ett boggisystem. I längsled används även bromskrafter för dimensionering. De beräknas som en del av de totala vertikallasterna från LM 1 enligt EN 1991-2. Även vindlast beaktas som en variabel last.

Vindlasten på körbanan beräknas enligt EN 1991-1-4. Beräkningarna baseras på en referenshastighet utifrån den geografiska positionen. Referenshastigheten ger tillsammans med höjden på pylonen och terrängtypen (III) ett karakteristiskt hastighetstryck, enligt Tabell 4.2 i VVFS 2007:494.

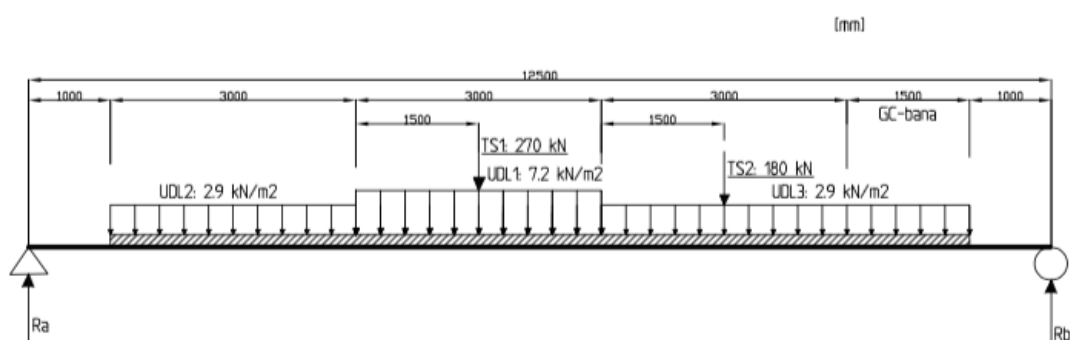
Vindlasten beräknas till en punktlast i tvärlägs och baseras på den sammanlagda höjden för körbanan (inklusive stålbalken i tvärlägs) samt biltrafiken till $F_w = 31.912$ kN (se Bilaga 6).

10 Resultat

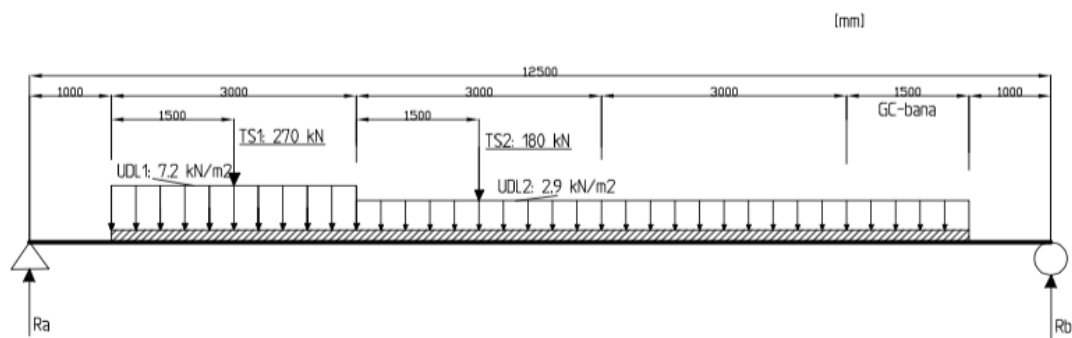
I nedanstående kapitel redovisas resultaten av de beräkningar som gjorts. Resultaten redovisas genom beräknade dimensioner på de olika konstruktionsdelarna samt i form av beskrivande text för de konstruktionsdetaljer som inte dimensionerats.

10.1 Tvärledsdimensionering av stålbalkar

De underliggande stålbalkarna, som träfarbanan vilar på, dimensionerades efter de maximala moment- och tvärkrafterna som balkarna utsätts för enligt EN 1993-1-5. Även kontroller för skjuvbuckling och interaktion utförs.

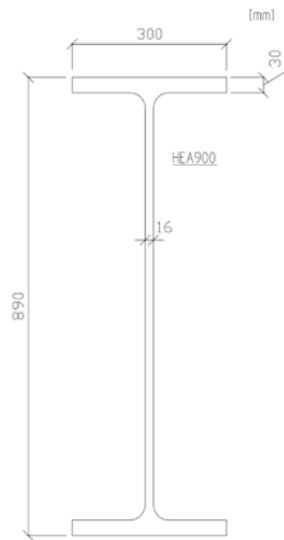


Figur 27 - Lastfall 1 enligt LM 1



Figur 28 - Lastfall 2 enligt LM 1

Dimensionerande värden för tvärkraft respektive moment fås från lastfall 1 och 2 (se Figur 27 och Figur 28 samt Bilaga 6) och dimensioneras mot kapaciteten. Resultatet blev att HEA900-balkar i stålclass S355 (se Figur 26) kunde väljas, med en momentutnyttjandegrad på 88 % som blev den dimensionerande kapaciteten.

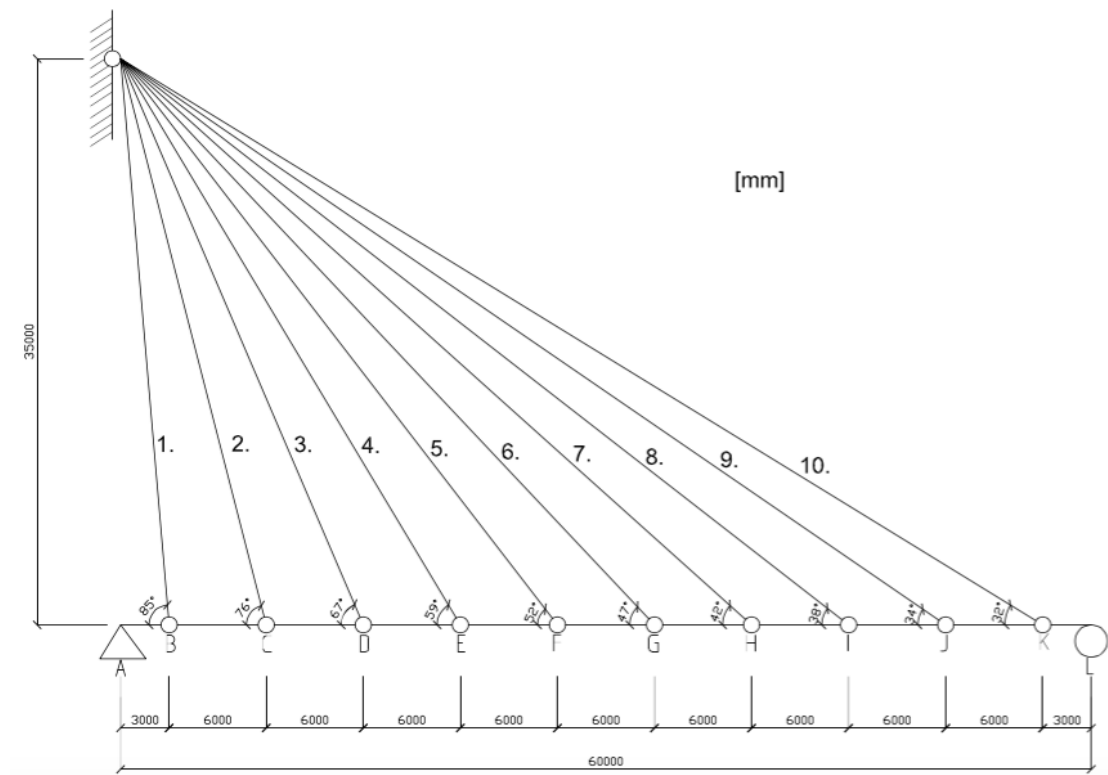


Figur 26 - HEA900 balk

Samtliga balkar klarar inte vridmomentet de utsätts för till följd av stagkrafterna (se Bilaga 6). De antogs kunna åtgärdas med hjälp av ändavstyvningar på de berörda balkarna. Vidare beräkningar utfördes ej.

10.2 Längsleds dimensionering

I längsled kontrolleras träbanan med hänsyn till nedböjning, moment, normalkraft och tvärkraft enligt EN 1990 med avseende på brottgränstillstånd. I beräkningsmodellen antas pylonens topp vara fast inspänd och brobanan fritt upplagd (se Figur 29).

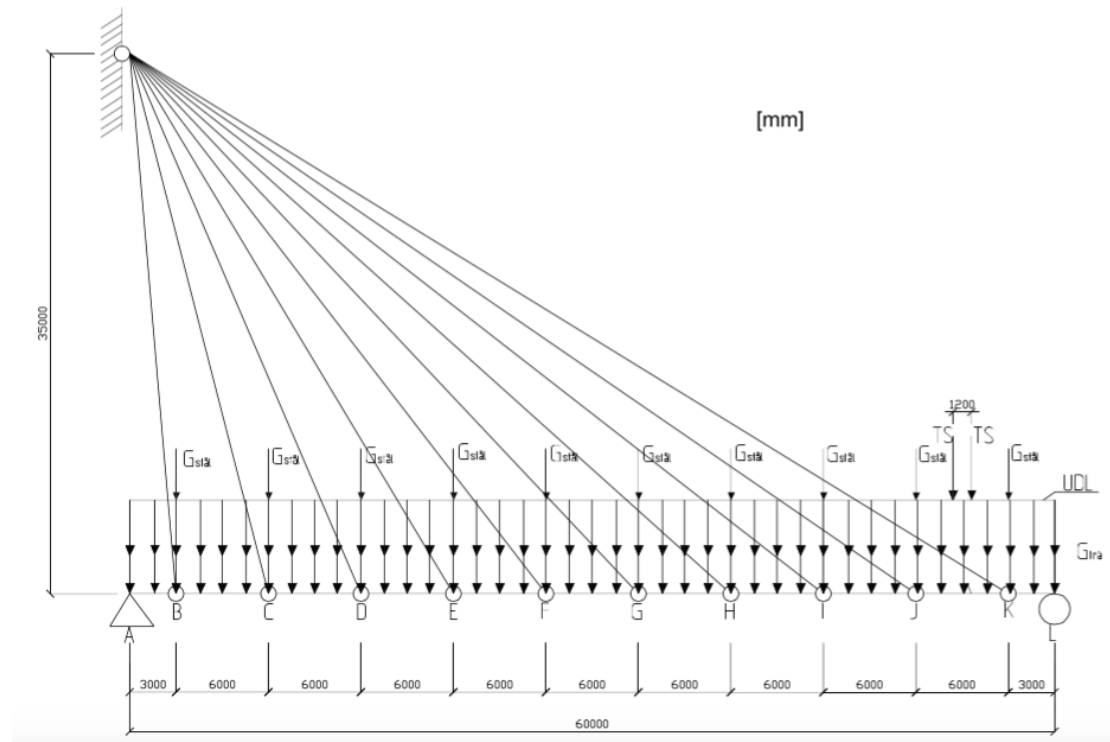


Figur 29 - Beräkningsmodell längsled

Dimensionerande laster är en permanent egentyngd för träbanan inklusive vägbeläggning och sidoräcken, punktlaster från tvärbalkarna samt en karakteristisk trafiklast utgående ifrån LM1. Vid framtagning av dimensionerande värden beaktas tre olika lastfall. Dimensionerande värdena är framtagna genom CALFEM-beräkningar i MATLAB (se Bilaga 5).

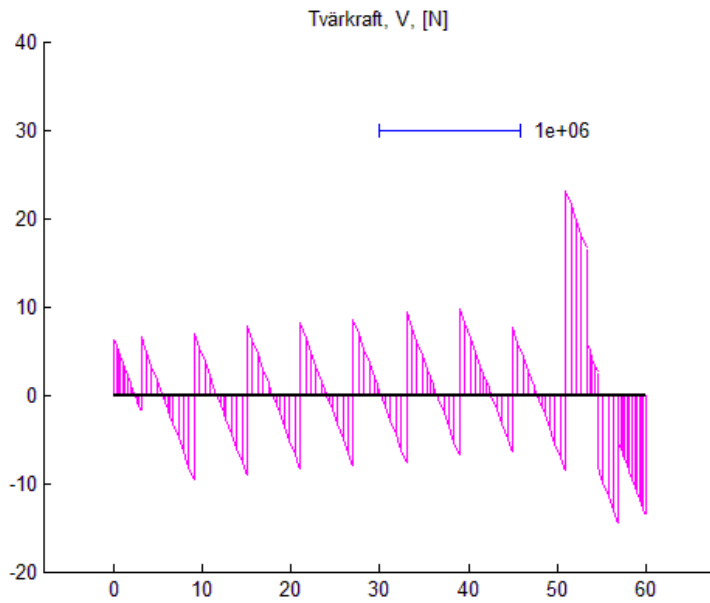
10.2.1 Längsled lastfall 1

I det första lastfallet belastas hela brobanan med en utbredd last och punktlaster på grund av varje stålbalk samt punktlaster mitt i fack JK till följd av trafik (se Figur 30).

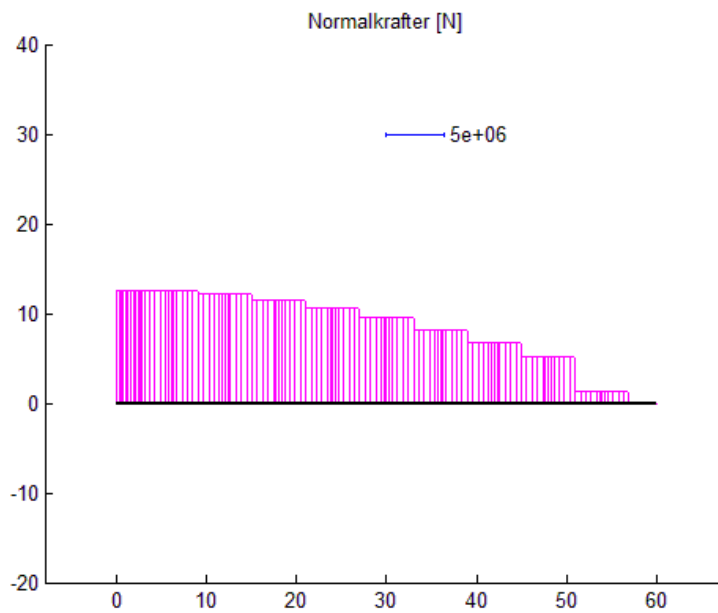


Figur 30 - Lastfall 1 i längsled

Brobanan belastas dessutom med en horisontell bromskraft. Lastfall 1 ger upphov till maximal tvärkraft (se Figur 31) samt maximal normalkraft (se Figur 32) i brobanan och kommer att vara dimensionerande.



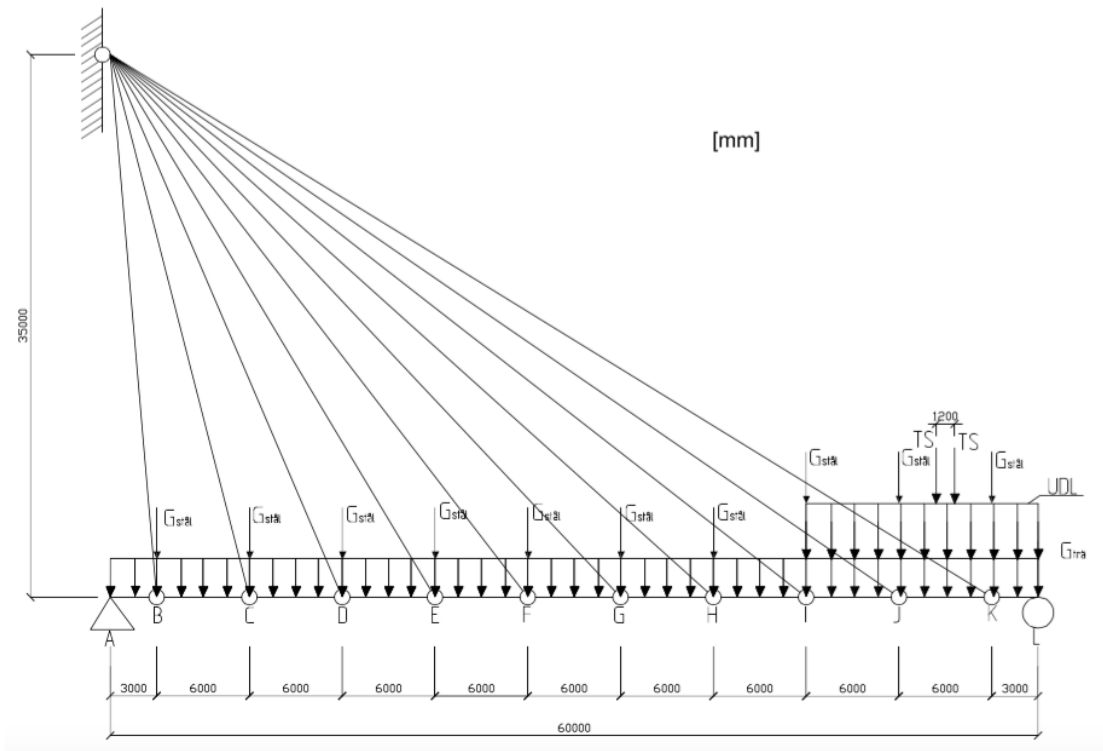
Figur 31 - Tvärkraftsfördelning, dimensionerande lastfall 1. Maximal tvärkraft 1448 kN.



Figur 32 - Normalkraftsfördelning, dimensionerande lastfall 1. Maximal normalkraft 9695 kN.

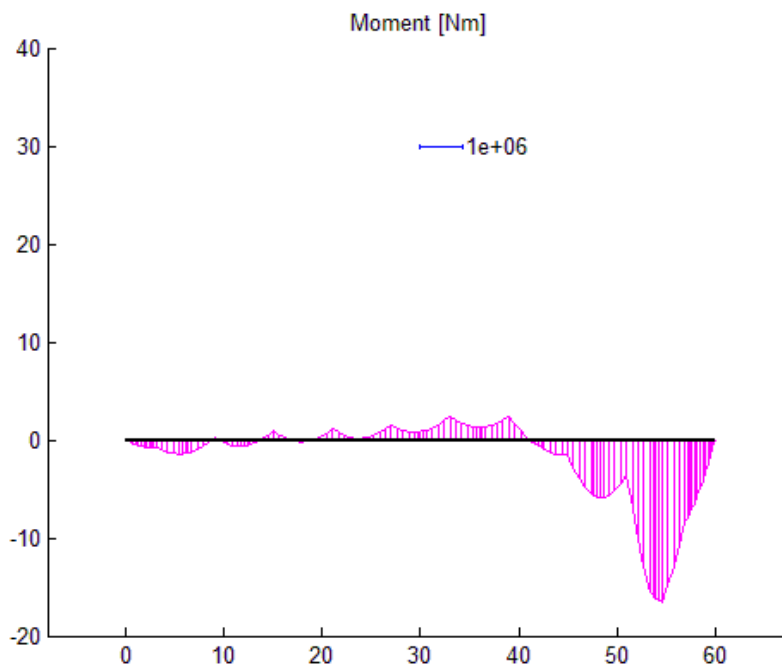
10.2.2 Längsled lastfall 2

I lastfall 2 placeras utbredda trafiklaster i fack IJ, JK och KL samt punktlaster i fack JK, utöver de konstanta lasterna punktlasterna från stålbalkarna och bromskraften (se Figur 33).



Figur 33- Lastfall 2 i längsled

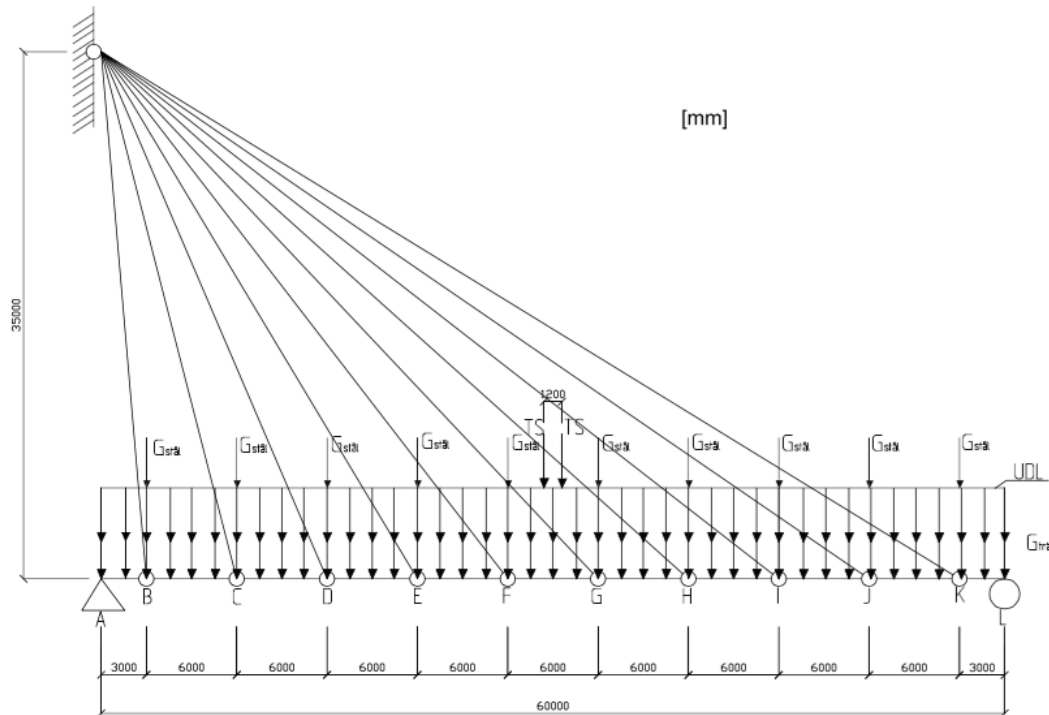
Detta lastfall ger upphov till det dimensionerande momentet (se Figur 34). Det stora momentet är framförallt orsakat av andra ordningens effekter som skapar större moment på grund av initialimperfectioner och andra excentriciteter i byggmaterialet.



Figur 34 - Momentfördelning, dimensionerande lastfall 2. Maximalt moment 3841 kNm.

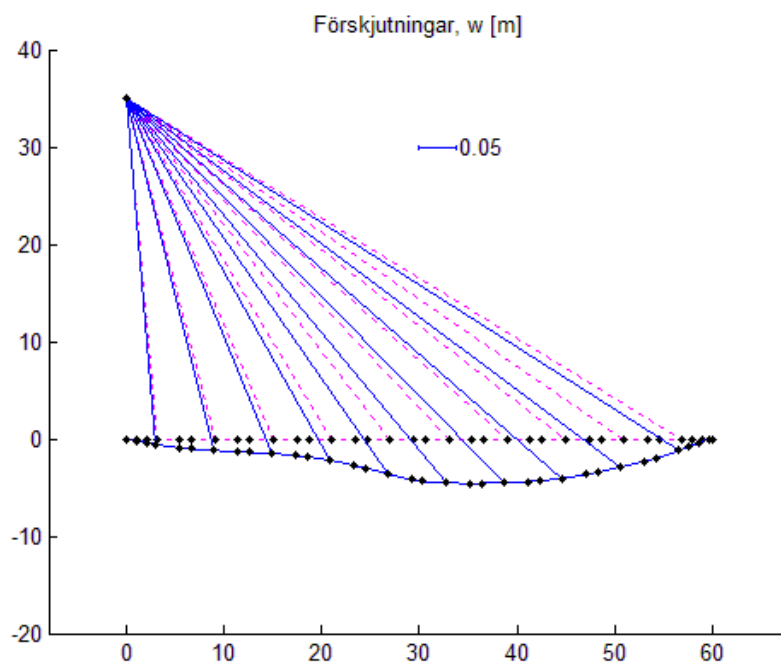
10.2.3 Längsled lastfall 3

I lastfall 3 placeras utbredda trafiklaster över hela brobanan och punktlaster i mittenfacket FG, utöver de konstanta lasterna punktlaster från stålbalkarna och bromskraften (se Figur 35).



Figur 35 - Lastfall 3 i längsled

Detta lastfall ger maximal nedböjning för träfarbanan (se Figur 36).



Figur 36 - Nedböjning träfarbana. Maximal nedböjning 60,5 mm

10.2.4 Dimensionerande värden

Lastfall 1 kommer vara dimensionerande med avseende på tvärkraft och normalkraft (se Tabell 2). Lastfall 2 kommer att ge upphov till det största momentet medan nedböjning är dimensionerande i lastfall 3.

Tabell 2 - Dimensionerande värden längsled lastfall 1, 2 och 3.

	Lastfall 1	Lastfall 2	Lastfall 3
Moment [kNm]	3515	3841	2154
Tvärkraft [kN]	1448	1371	1265
Normalkraft [kN]	9695	6433	9287
Nedböjning [mm]	59,8	47,7	60,5
Vertikal kraftresultant pylontopp [kN]	10688	5941	10984

Pylonberäkningarna baseras på kabelkrafter från lastfall 3 eftersom den maximala vertikala pylonkraften uppkommer i detta lastfall (se Tabell 2). Kabelkrafterna varierar längs kablarna och redovisas i Tabell 3.

Tabell 3 - Normalkrafter

Kabel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Normalkraft [kN]	554	1081	1193	1501	2100	2211	1819	1345	2451	578

10.2.5 Kontroll kapacitet

Dessa värden kontrollerades mot kapaciteten (se Bilaga 6) som beräknats utefter skev böjning enligt EN 1995-1 och gav en utnyttjandegrad på 47 %. Slutgiltiga dimensioner på träfarbanan i tråkvalitén GL36c blev 620 mm i höjd och 10500 mm i bredd.

10.3 Stålkablar

Snedkablarna i stål kontrolleras efter de normalkrafter som verkar i kablarna då en av kablarna saknas på grund av underhåll eller liknande, enligt EN 1993-1-11. Från beräkningarna i längsled fås den reaktionskraft som i kabelns riktning får störst värde, både för ett fall då en av kablarna med mindre dimensioner saknas samt ett fall då en av kablarna med större dimensioner saknas. För det fall då en av de mindre kablarna saknades var det lastfall 3 med utbredd last i samtliga fack samt en punktlast i fack FG som var dimensionerande. Resultierande dimensionerande kabelkrafter var för en av de mindre kablarna 1419 kN, och för en av de större kablarna 2458 kN uppdelat på två kablar (se Tabell 4).

Tabell 4 – Kabelkrafter då en av kabelpar 6 saknas

Kabel	1 (2st)	2 (2st)	3 (2st)	4 (2st)	5 (2st)	6 (1st)	7 (2st)	8 (2st)	9 (2st)	10 (2st)
Normalkraft [kN]	549	1059	1161	1570	2479	1419	2166	1438	2458	560
Diameter [mm]	100	100	100	100	100	100	100	100	180	180

Då en av kablarna med större dimensioner antogs saknas var dimensionerande lastfall det fall med utbredd last i fack IJ, JK och KL samt en punktlast i fack JK. Resultierande dimensionerande kabelkrafter var 1407 kN uppdelat på två kablar för de kablar med mindre dimensioner samt 2306 kN för en av de kablar med större dimensioner (se Tabell 5).

Tabell 5 – Kabelkrafter då en av kabelpar 9 saknas

Kabel	1 (2st)	2 (2st)	3 (2st)	4 (2st)	5 (2st)	6 (2st)	7 (2st)	8 (2st)	9 (1st)	10 (2st)
Normalkraft [kN]	216	427	451	439	458	600	959	1407	2306	1719
Diameter [mm]	100	100	100	100	100	100	100	100	180	180

Ur beräkningarna fås även x- och y-koordinater för den kabel med störst normalkraft, då kan normalkraften från kabelns egentygnd beräknas. Den sista lasten som kablarna kontrolleras för är temperaturändringslasten.

Lasterna summerades sedan och kontrolleras mot kapaciteten enligt givna data från kabel- och infästningstillverkaren Bridon (Bridon, 2015). Kablarnas dimensioner valdes först till beräkningarna längsled, varpå de kontrollerades och optimerades utefter sin kapacitet. Slutligen valdes kablar LC100 för de åtta kabelparen närmast pylonen. De två kablarna längst ifrån pylonen valdes till LC180. Utnyttjandegraden för samtliga fall varierade kring 30-40 %. Kablarna i bakstagen ska sedan balansera krafterna från kablarna på andra sidan pylonen. Enligt Bilaga 7 är normalkraften per bakstag 9025 kN, bakstagen dimensioneras dock inte.

10.4 Infästningar

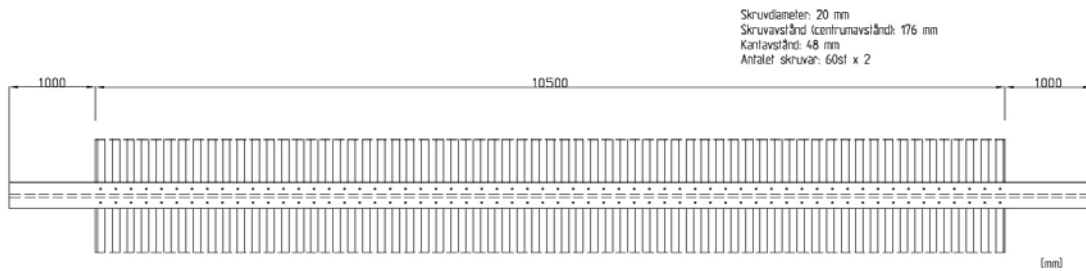
Här ges en beskrivning av infästningarna mellan olika konstruktionsdelar.

10.4.1 Infästning stål balk-träfarbana

Under träfarbanan ska tio stycken stål balkar av sorten HEA900 fästas. Genom infästningar av stål kablarna som fäster i betongpylonens topp, överförs sedan de laster som verkar på bron via stål balkarna. För att stål balkarna ska ligga på plats och inte förflytta sig i sidled på grund av de horisontella krafter som uppkommer av bland annat normalkrafterna i snedkablarna, behöver stål balkarna fästas i ovanliggande brobana.

Infästningen görs med ett skruvförband där stål balken skruvas fast underifrån i träfarbanan. Skruvförbanden utsätts för stora krafter och har dimensionerats för att klara maximala normalkraften i brobanan då bromskraft och kablarnas horisontella komponent samverkar.

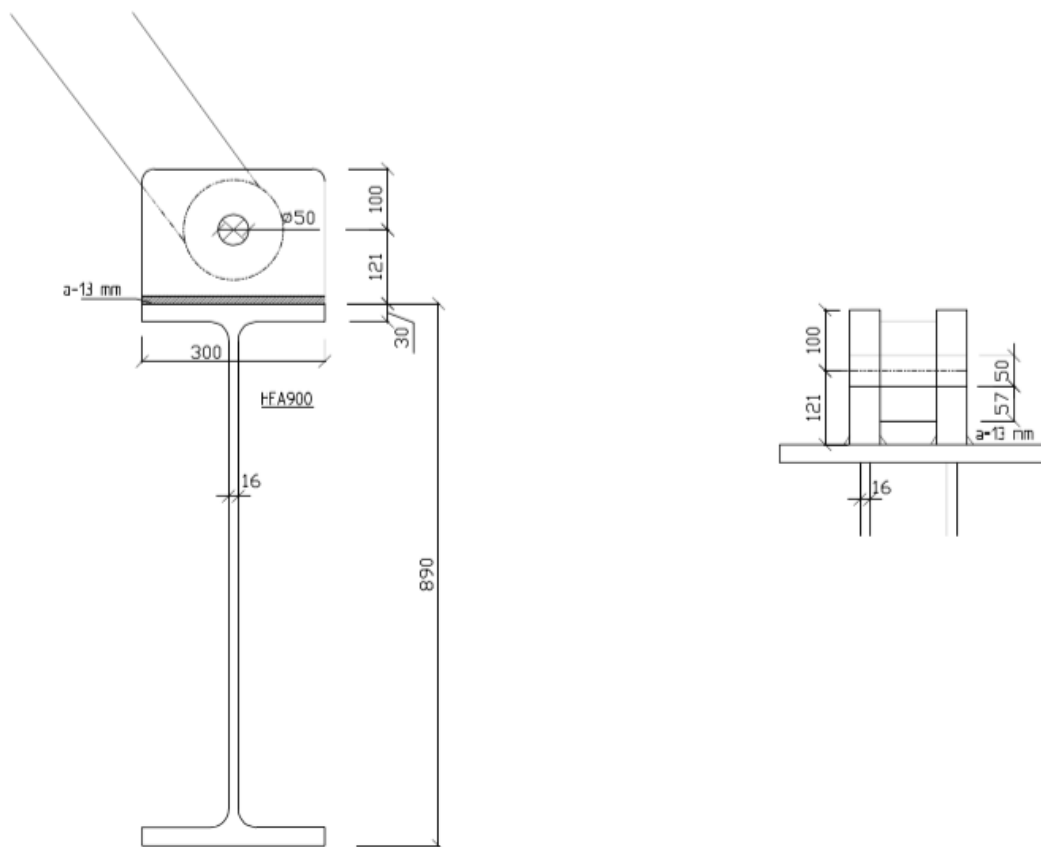
Skruvförbandet dimensionerades enligt EN 1993-1-8 och fick ett slutligt utseende enligt Figur 37. Bilden visar stål balken i tvärled med ovanliggande träfarbana som sträcker sig i längsled, samt hur skruvförbandet sträcker sig längs med stål balken.



Figur 37 - Skruvförband, stålbeak-träbanan

10.4.2 Infästning kabel-stålbalk

Infästningen mellan kablarna och stålbeaken görs genom att svetsa två flänsar på vardera sidan av stålbeaken där kabelanslutningen fästs emellan (se Figur 38). Kontrollen av svetsarnas kapacitet har beräknats enligt EN 1993-1-8 (se Bilaga 6). Svetsarna går längs hela långsidan av flänsen (det vill säga hela HEA-beakens bredd) på båda sidorna och det är viktigt att flänsarna svetsas fast innan kablarna ansluts för åtkomligheten. Svetsens a-mått har dimensionerats till 13 mm som innebär 6st svetsstänger (Al-Emrani, Engström, Johansson, Johansson, 2011). För att klara samtliga krafter som uppstår i svetsen kan kraftens excentricitet max vara 121 mm (se Figur 38).



Figur 38 - Kabelinfästning på tvärbalk

Emellan svetsarna fästs kabelanslutningen med en skruv som också har dimensionerats enligt EN 1993-1-8 till 50 mm för att klara skjuvning och hålkantbrott i flänsarna (se Bilaga 6). Kabelanslutningens kantavstånd är 57 mm för att tillsammans med mutterns radie och ett säkerhetsavstånd få plats inom den tillåtna excentriciteten på 121 mm. Detta för att motverka att skröp fastnar och orsakar rost.

10.4.3 Kabelinfästningar i grund och pylon

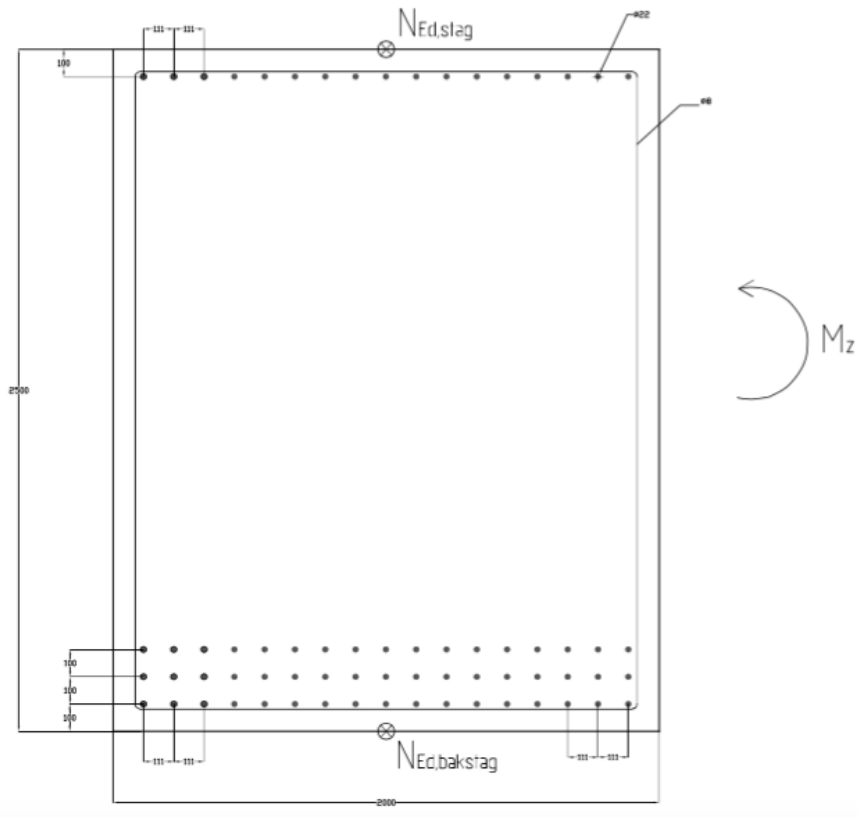
För att en jämvikt skall ske i konstruktionen behövs att ett bakstag förankras. Denna förankring sker i ett betongfundament som grundläggs på berget som ligger fem meter under marken. Betongfundamentet utformas med armering och dimensioner så att de båda kablarna kan förankras fast. Betongfundamentet fungerar som ett ankare vilket ger balans i konstruktionen.

Kablarna fästs i pylonen genom att en stålplåt svetsas fast runt pylonen, på vilken kablarna är fästa på samma sätt som i de tvärgående stålbalkarna (Bäckström, 2015).

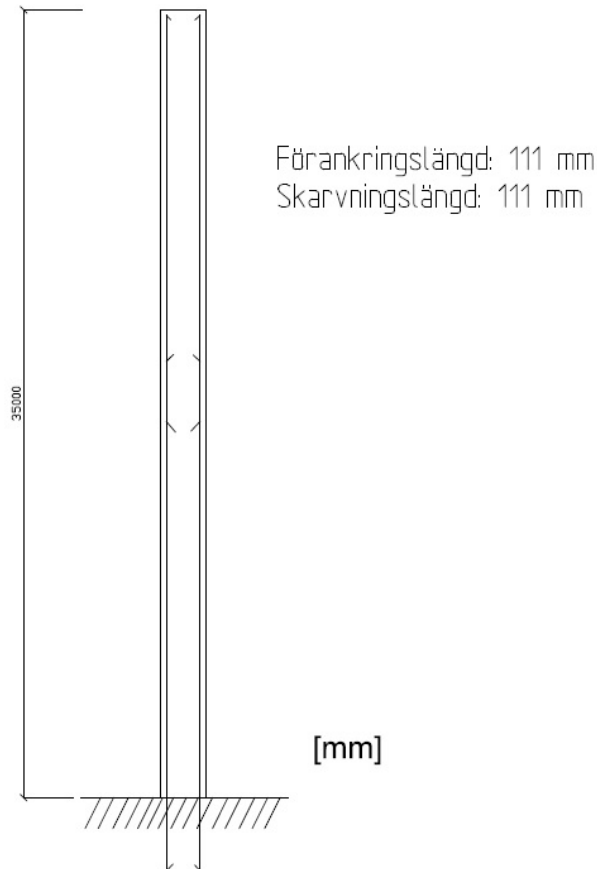
10.5 Pylon

Vindlasten på pylonen beräknas enligt samma princip som vindlasten på körbanan i tvärled (se Avsnitt 9.4). Den horisontella vindlasten beräknas som en ekvivalent punktlast i pylonnens topp till $F_w = 65,1$ kN (se Bilaga 6).

Pylonen dimensionerades enligt det värsta momentfallet som uppkommer då pylonen belastas med krafter från samtliga stag samt vindlasten nämnd ovan. Dimensionerna på pylonen för att klara kravet på knäcklast och momentkapacitet beräknades till 2,5x2 m med 68 st armeringsstänger av stålqualität B500B enligt Figur 39. På grund av pylonnens höjd behöver armeringen skarvas vilket sker enligt Figur 40. Beräkningar för anpassning av armeringen enligt dragkraftsbehov har inte gjorts då tvärsnittet är detsamma över hela pylonen. Minsta tillåtna förankringslängd av armeringen beräknades till 111 mm. Vid skarvningen används en längre sträcka för ytterligare säkerhet.



Figur 39 - Tvärsnitt pylon



Figur 40 - Skarvning av armering i pylon

10.6 Landfäste

Landfästet har bestämts enligt kraven från TRVK 11 och enligt beräkningar (se Bilaga 6) fått dimensioner enligt nedan. Ett rektangulärt avslut utav landfästet valdes av estetiska- samt produktionsvänliga skäl. Landfästet dimensioneras i betong (se Figur 41). Lager till landfästet väljs efter dimensionerande normalkraft enligt Magebas lasttabell typ C (Mageba, 2008).

Vid det vänstra landfästet, det vid pylonen, utformas på så vis att $L_{rörelse}=L_{luft}=0$ m. En övergångskonstruktion där trädäcket kan föra över normalkrafterna till landfästet med endast en plåt emellan. Detta görs för att kunna ta upp de stora normalkrafterna i brofarbanan. Träfarbanan har alltså endast temperatur- och fuktrörelser åt ett håll.

Längder

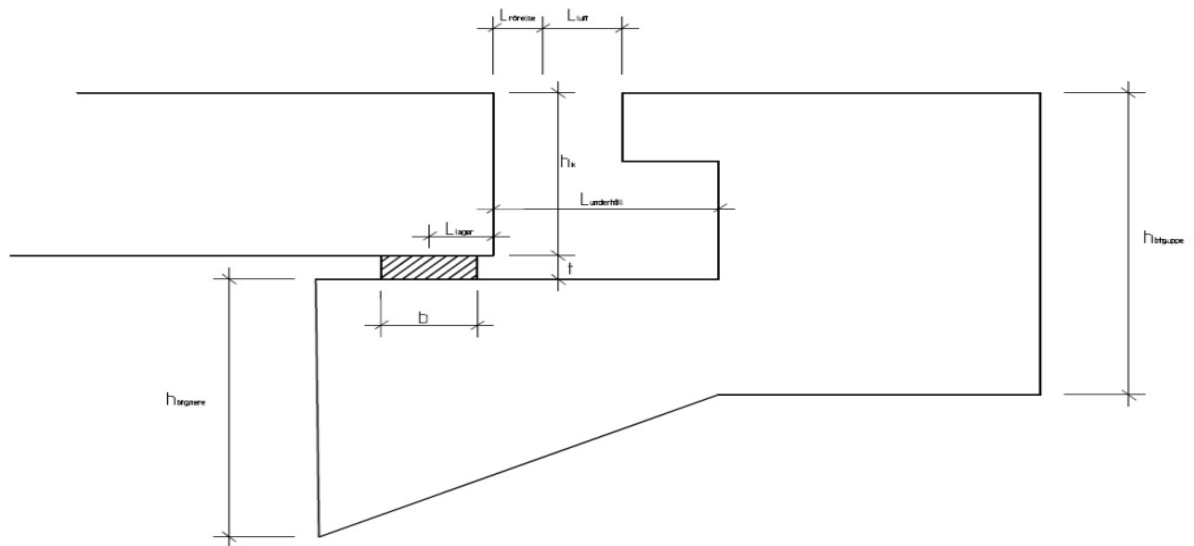
$$L_{rörelse}=0.05 \text{ m} \quad L_{luft}=0.35 \text{ m} \quad L_{lager}=0.2 \text{ m}$$

$$L_{underhåll}=0.7 \text{ m} \quad b=0.3 \text{ m}$$

Höjder

$$h_{btg,nerre}=1.125 \text{ m} \quad h_{btg,uppe}=1.314 \text{ m} \quad h_k=0.71 \text{ m}$$

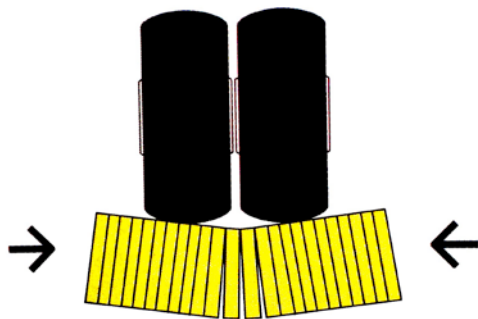
$$h_{krav}=0.5 \text{ m} \quad t=0.104 \text{ m}$$



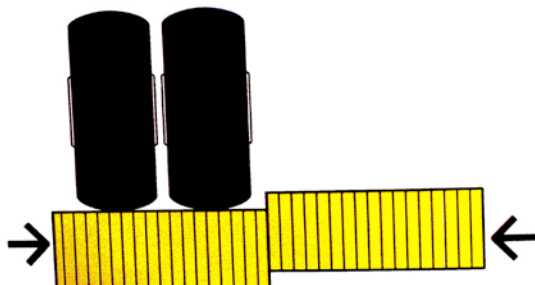
Figur 41 – Landfäste i betong

10.7 Förspänning

Brobanaplattan består av limträlameller som är tvärspända med spännstag för att klara hjullasterna som belastar plattan. Brobanan måste dels klara tvärböjning (se Figur 42) och tvärskjuvning (se Figur 43).



Figur 42 - Tvärböjning av trälameller (Pousette, 2007)



Figur 43 - Tvärskjuvning av trälameller (Pousette, 2007)

Detta åstadkoms genom tillräcklig förspänning av trälamellerna. Samtliga beräkningar finns i Bilaga 6.

Tvårböjmomentet fås ur Figur 8.17 och tvärskjuvningen fås ur Figur 8.18 i ”Dimensionering av Träbroar” (Pousette, 2008). Av detta kan den erforderliga förspänningen beräknas och för att kompensera för en 60 % spännförlust så ska förspänningen vid montering vara 700 kPa.

Tryckspänningen efter långtid förluster kan normalt förutsättas vara större än 0,35 MPa så länge som den initiala förspänningen är minst 1 MPa, fuktkvoten hos lamellerna är högst 16 % och att variationerna i fuktkvot i lamellerna begränsas enligt EN 1995-2. Därför ökas förspänningen till minimikravet 1 MPa. Spännstängerna är av typen Dywidagstänger med en på diameter på 20 mm.

11 Diskussion

Det syfte som bestod i att utifrån egna framtagna kriterier projektera och dimensionera det enligt dessa kriterier mest lämpliga förslaget till bron vid Hössnamotet har delvis uppfyllts. Istället för att strikt välja brokoncept enligt poäng från kriterietabellanalysen, togs beslutet att återgå till problem- och måldefinitionen i det sista urvalet och välja den bro som skulle skapa det bästa landmärket.

Det valda konceptet visade sig under arbetets gång inte vara det mest optimala beräkningsmässigt. Kombinationen med ett snedkabelsystem, vägbanan i trä och 60 meters spännvidd är ur många aspekter inte önskvärd och ofta förmodligen direkt olämplig. Flertalet snedkabelbroar i trä finns men dessa är främst GC-broar vilka inte behöver dimensioneras för lika stora laster. Valet av en betongpylon var relativt självklart då pyloner i trä i detta fall aldrig riktigt var ett alternativ då det inte hade kunnat garantera en tillräckligt säker bro.

Arbetsgången vid framtagandet av koncept bör ändå anses vara korrekt. Det innebär att metoden att gå från ett stort antal bro- och materialkombinationer för att sedan kraftigt begränsa urvalet med hjälp av kriterietabeller är en lämplig strategi. Att däremot enbart förlita sig helt på dessa kriterietabeller kombinerat med bristen på erfarenhet då kriterierna gjorde dock att orimliga material- och brokombinationer inte sällades bort. Däribland det slutgiltiga konceptet som istället kanske borde ha ansetts orimligt och därmed ha sorterats bort på liknande sätt som andra orimliga alternativ valde bort i Avsnitt 5.3.

Det faktum att träbron valdes grundades dels i att trä ansågs som det mest miljövänliga alternativet, men utifrån detta perspektiv kan brons miljöpåverkan ifrågasättas då två 35 meter höga pyloner i betong dessutom tillkommer. För att åtgärda detta krävs en återblick till kriterietabellen då brokonceptet valdes ut. Kriterietabellen hade kunnat utökas med fler aspekter såsom komplexitet i konceptet och faktisk genomförbarhet. Alternativt hade rangordningen utifrån kriterietabellen kunnat omvärderas. Då valet av koncept utfördes saknades ett grundläggande fokus på rimlighet. Rimlighet som kriterium var dock svårt att utvärdera med den begränsade kunskap som fanns bland beslutsfattarna vid tidpunkten för urvalet. I efterhand är det dock något som bidragit till mycket lärdom.

Beträffande de beräkningsmässiga förutsättningarna var valet av en icke-symmetrisk bro möjligen något naivt med tanke på de begränsade kunskaper som fanns att tillgå för dimensioneringen av en sådan bro. Flertalet oförutsägbara problem uppstod i dimensioneringsfasen på grund av asymmetrin. Storleken på moment och nedböjning ifrån andra ordningens effekter i brons längsriktning var under lång tid ett problem vid dimensioneringen av farbanan i trä. Problemen grundade sig huvudsakligen i att lyftkraften från kablarna inte bidrog tillräckligt. I beräkningarna har heller ingen hänsyn tagits till förspänning i kablarna, vilka i verkligheten hade kunnat spännas upp något mer och på så sätt minskat andra ordningens effekter.

Lösningen på det ovan nämnda dimensioneringsproblemet blev slutligen antagandet att pylonernas toppar skulle ses som fast inspända och således inte kan deformeras i varken vertikal- eller horisontalled. Det antagandet är givetvis en grov förenkling och leder till ett resultat på den osäkra sidan beträffande tvärkraft och moment i träfarbanan, vilket i sin tur bidrar till lite underdimensionerade kablar. Dessutom ställer detta väldigt höga krav på fundamenten för bakstagen. De har emellertid inte dimensionerats i det här arbetet. Utnyttjandegraderna för momentkapaciteten i träfarbanan och kablarnas spänningskapacitet har dock hållits förhållandevis låga för att ta viss hänsyn till de optimistiska beräkningar som de ovan nämnda förenklingarna bidragit till.

Naturligtvis är det inte tillräckliga åtgärder för att garantera en säker dimensionering. För att få en bättre uppskattning på de verkliga förhållandena hade förslagsvis en mer komplett beräkningsmodell kunnat tas fram. Det mest fördelaktiga hade varit en 3D-modell där samtliga effekter kan tas hänsyn till samtidigt, istället för en stegvis dimensionering i 2D där alla separata beräkningar måste kompletteras och uppdateras i takt med att nya resultat erhålls. Sammantaget kan konstateras att de storskaliga beräkningarna hade varit betydligt enklare att räkna hem om ett symmetriskt brokoncept valts. Dessutom ledde det faktum att bron är asymmetrisk till stora differenser mellan dimensionerande- och minsta värde. På så vis blir bron på detaljnivå (exempelvis kabelinfästningar) i vissa fall knappt tillräcklig medan den i övrigt är överdimensionerad.

Vidare har träfarbanan i enstaka fall antagits vara fast inspänd vilket i praktiken är svårt att åstadkomma. Just trä som material har även lett till osäkerhet kring vad den fria höjden faktiskt är. Enligt den tekniska beskrivningen är den fria höjden 4,7 m, dock finns riktlinjer enligt TK Bro att träbroar bör ha en fri höjd på minst 5,1 m med hänsyn till påkörningsrisk. Detta problem hade dock kunnat åtgärdas med ett skydd mot påkörning. Alternativt hade de tvärgående stålbalkarna kunnat bytas mot längsgående balkar. På så sätt hade inte konstruktionshöjden bestått av summan av två komponenters höjder, utan den största höjden av två separata komponenter. Dock hade detta alternativ istället lett till problem gällande fri bredd från bron med hänsyn till kablarna.

Sammanfattningsvis hade förmodligen inte samma koncept valts en gång till i en liknande situation. Brons säkerhet är i allmänhet svår att garantera på grund av den tveksamma kombinationen mellan asymmetri och valda material. Förslagsvis väljs istället en snedkabelbro i något annat material än trä, eller en träbro med annan utformning än snedkablar. I en verklig beslutssituation är dessutom ekonomins effekt på valet av bro betydligt mycket större. Resultatmässigt har dock erhållits en vacker bro som väl fyller funktion som bestående landmärke och skapar en behaglig körupplevelse i det aktuella området i Ulricehamn.

12 Referenser

12.1 Källförteckning

Aalto, L. (2005) *Planprogram för Hössnamotet/Rönnåsen/Hester*.
https://www.ulricehamn.se/upload/miljo_bygg/planering/G%C3%A4llande%20detaljplaner/Ulricehamn/Hester%205_3%20Industriomr%C3%A5de/Program%20H%C3%B6ssna.R%C3%B6nn%C3%A5sen.pdf (2015-03-03).

Al-Emrani M., Engström B., Johansson M., Johansson P. (2013) *Bärande Konstruktioner – del 1*. Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola. Rapport 2013:1.

Axell, L.A. (2013) Kortfakta om Ulricehamns natur. *Ulricehamns Kommun*.
https://www.ulricehamn.se/ulh_templates/Information.aspx?id=954 (2015-02-25).

Burström, P-G. (2007) *Byggnadsmaterial. 2:a upplagan*. Lund: Studentlitteratur AB.

Bridon. (2015) Cable stayed bridge ropes. *Bridon.com*.
<http://www.bridon.com/uk/construction-industry/cable-stayed-bridge-ropes/stay-cables/locked-coil-strand/> (2015-05-18)

Brockenbrough, R., Merritt, F-S. (2014) *Structural Steel Designer's Handbook*, Washington D.C: ASCE Press

Bäckström, Magnus (magnus.backstrom@cowi.se) (2015-05-05) Konsultation på COWIs kontor i Göteborg

Dahlblom, O., Olsson, K-G. (2010) *Strukturmekanik*, Lund: Studentlitteratur.

Davalos, J. (2013) *FRP Deck and Steel Girder Bridge*, CRC Press.

Ekholm, Kristoffer. (2015) kristoffer.ekholm@wspgroup.se (2015-02-06)
Föreläsning på Chalmers i Göteborg.

Eliassen, A.E. (2015) Weather statistics for Ulricehamn, Västra Götaland (Sweden). YR. <http://www.yr.no> (2015-02-25).

ELU. Järnvägsbro över Nyköpingsån, *ELU*.

<http://www.elu.se/reference/jarnvagsbro-nykoping-san/> (Hämtat 2015-03-08)

FormConsult AB. (2013) *Betong är världens mest använda byggmaterial*.
www.rollit.se/miljo/ <http://www.rollit.se/miljo/> (Hämtat 2015-02-13).

Forsman, A.F. (2000) Uddevallabron. I *Nationalencyklopedin*. <http://www.ne.se/> (2015-02-20).

Hewson, R-N. (2003) *Prestressed concrete bridges: Design and construction*. Cornwall. MPG Books.

Hollaway, L.C., Teng, J.G. (2008) *Strengthening and rehabilitation of civil infrastructures using fibre-reinforced polymer (FRP) composites*. Cambridge: Maney Publishing.

Janberg, N.J. (1998a) Akashi Kaikyo Bridge. *I Structurae*. <http://structurae.net/structures/akashi-kaikyo-bridge> (2015-02-20) .

Janberg, N.J. (1998b) Akashi Kaikyo Bridge. *I Structurae*. <http://structurae.net/structures/menai-suspension-bridge> (2015-02-25).

Jernkontoret. (2015a). Användning. *Jernkontoret*. <http://www.jernkontoret.se/stalindustrin/staltillverkning/anvandning/index.php> (2015-02-10).

Jernkontoret. (2015b) Processernas Miljöpåverkan. *Jernkontoret*. http://www.jernkontoret.se/stalindustrin/staltillverkning/processernas_miljopaverkan/index.php (2015-02-10).

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

Kemikalieinspektionen. (2011) Frågor i fokus: Träskyddsmedel. *Kemi.se*. <http://www.kemi.se/sv/Innehall/Fragor-i-fokus/Traskyddsmiddel/>. (2015-02-24).

Linton, O. (1929) Brobyggnader. Stockholm: P.A Nordstedt och Söner. *Martinsons, Bågbroar*. <http://www.martinsons.se/bagbroar> (2015-02-06).

Mageba. (2008) Bearings Lasto Blocks. *Mageba.cn*. http://www.mageba.cn/data/docs/zh_Hans-CN/2625/PROSPECT-LASTO-BLOCK-cn-en.pdf (2015-05-10)

Martinsons Träbroar. (2015) Martinsons: Framtidens naturliga sätt att bygga träbroar. <http://www.martinsons.se/>. (2015-02-17).

Moelven. (2015) Broar i trä. *Moelven.se*. <https://www.moelven.com/Documents/Toreboda/Broschyren/Broar-i-tra.pdf> (2015-05-10)

Nationalencyklopedin (2015) *Kompositer* www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/kompositer. Hämtad 2015-03-04

Pousette, A. (2008) *Träbroar: konstruktion och dimensionering*. SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.

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

Ramböll. (2014) Sveriges första bro i fiberkomposit. *Ramboll.se*. <http://www.ramboll.se/Press/rse/2014-sveriges-forsta-bro-i-fiberkomposit> (2015-02-18).

Rennerfelt, M., MacGregor. (1984) *Broar- så byggs de*. Danmark: Carlsen/if.

Sperle, J-O. Konstruktionsstål. *Nationalencyklopedin*.
<http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/konstruktionsstål> (2015-02-10) .

Strandberg, A-C. (1993) *Stenvalvsbroar, konstruktion- vård- historik*. Examensarbete, Göteborgs Universitet.

SteelConstruction, Bridges. <http://www.steelconstruction.info/Bridges> (2015- 02-10).

Svenskt trä. (2013a) Plattbroar. *Träbroar.se*
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=6994> (2015-02-13).

Svenskt trä. (2014b) TräGuiden: Träbroar – historisk återblick. *Träguiden.se*.
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=6989>. (2015-02-17).

Svenskt trä. (2014c) TräGuiden: Kemiskt träskydd. *Träguiden.se*.
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7036>. (2015-02-24).

Svenskt trä. (2014d) TräGuiden: Träbroar - Brodetaljer. *Träguiden.se*.
<http://traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/trabroar/trabroar/brodetaljer>
(2015-05-10)

Swerock. (2015) Miljösmart byggande med betong. *www.swerock.se*
http://www.swerock.se/Global/Swerock/Broschyter/Miljosmart_byggande.pdf (2015-02-17).

Trafikverket. (1996) Broprojektering - en handbok. Borlänge: Vägverkets tryckeri.
Trafikverket.se
http://www.trafikverket.se/PageFiles/24176/broprojektering_en_handbok_kap5_6.pdf
(2015-02-13) .

Trafikverket. (2004) Bro 2004 kap 7 – Brodetaljer. VV Publ 2004:56. *Trafikverket.se*.
http://www.trafikverket.se/contentassets/01ea65b9d6d548a5ae25ba90892fb68b/bro_2004_7_brodetaljer.pdf (2015-05-10)

Trafikverket. (2008) *Kodförteckning och beskrivning av brotyper*. BaTMan- Bro och tunnel management. <http://batman.vv.se>

Trafikverket. (2011) TRVK bro 11 – Trafikverkets tekniska krav Bro. TRV publ nr 2011:085. *Trafikverket.se*.
http://www.trafikverket.se/contentassets/718ad11ffa584dbbbe455595ed929006/2011_085_trvk_bro_11.pdf (2015-05-10)

Trafikverket. (2014a) Projekt – väg 40 Ulricehamn ska byggas ut till motorväg.
<http://www.trafikverket.se/vag40-ulricehamn> (2015-05-18)

Trafikverket. (2014b) Modellen med klimatzoner. *Trafikverket.se*.
<http://www.trafikverket.se/> (2015-03-07)

Vägverket. (2008) *Kodförteckning och beskrivning av Brotyper*. [Elektronisk]
Borlänge. Vägverkets tryckeri.

12.2 Bildförteckning

- Figur 1* Google maps (2015) *Karta över Hössnamotet*.
- Figur 2* Peterson, P.P. (2009) *Neat Log Bridge on Upper Dungeness Trail*.
<https://www.flickr.com/photos/pollypeterson/4066657781/>
- Figur 4* Unknown (2008) *Bågbro i sten från nationalpark*. Utah, USA
http://pixabay.com/p-4608/?no_redirect
- Figur 5* Zahou. (2007) *Stenvalvsbro An-Chi*, Kina.
http://en.wikipedia.org/wiki/Anji_Bridge#mediaviewer/File:Zhaozhou_Bridge.jpg (2015-02-25).
- Figur 8* Britton. (2003) *Fackverksbro i stål*, Arizona.
<http://www.freefoto.com/preview/1217-01-11/Salt-River-Southern-Pacific-Railroad-Bridge--Tempe--Arizona--USA>
- Figur 9* Schodek D.L., Bechthold M. (2008) *Structures*, New Jersey: Pearson
- Figur 10* Schodek D.L., Bechthold M. (2008) *Structures*, New Jersey: Pearson
- Figur 11* Knapton, M.K. (2004) *Menai Suspension Bridge*. [elektronisk bild]
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Menai_Suspension_Bridge_Dec_09.JPG [Åtkomst 2015-03-02]
- Figur 15* Engström, B. (2015) *Designprocess*, enligt föreläsning Konceptuell Design
- Figur 19* Svenskt trä. (2014d) *TräGuiden: Plattbroar*. *Träguiden.se*.
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=6994>.
(2015-03-03).
- Figur 21* Trafikverket (2014). *Teknisk beskrivning byggnadsverk avseende 15-1762-1*.
- Figur 22* Vägverket (1996). *Broprojektering- En handbok*, Borlänge: Vägverkets tryckeri.
- Figur 42* Pousette, A. (2008) *Träbroar: konstruktion och dimensionering*. SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.
- Figur 43* Pousette, A. (2008) *Träbroar: konstruktion och dimensionering*. SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.

13 Bilagor

Bilaga 1 – Teknisk Beskrivning

**TRAFIKVERKET
PROJEKT VÄG 40 DÄLLEBO-ULRICEHAMN
DELEN DÄLLEBO-HESTER, ETAPP 3
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN**

TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVERK

avseende

15-1762-1

BRO ÖVER ALLMÄN VÄG I HÖSSNAMOTET, Ö ULRICEHAMN, KM 17/240

OBJEKTNR 85 43 60 30

CHAOSNR 3K110002

Handlingen upprättad 2012-09-15

Handlingen reviderad:2013-05-03

Innehåll

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA	Objektdata	5
	Dokumentdata	5
REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING		6
	Dokumentutformning	6
	Avsnitt	6
	Rubriker enligt Dispositionen	6
	Typer av konstruktioner	6
	Kravhierarkier	7
	Förteckning över okodade underrubriker	7
B. TRAFIK		8
	B1. Vägtrafik	8
C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER		9
	C1. Befintlig mark och miljö	9
	C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden	9
	C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden	9
	C1. Befintlig mark och miljö/ Bergtekniska förhållanden	10
	C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden	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/ fyllning	15
	DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta	16
	DC3. Komplettering i vägbro	16
	DC31. Beläggning	16
	DC33. Beläggning/ Slitlager	16
	DC31. Beläggning/ Bindlager	17
	DC31. Beläggning/ Kantstöd	17
	DC33. Tätskikt, skyddslager	17
	DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Länkplattor	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubbar	17
	DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Konsol för belysningsstolpe	18
	DC4. Slänt eller kon	18
	DC41. Slänt	18
	DC42. Kon	18
	DE. Avvattningssystem	18
	DE1. Dagvattensystem	18

DE2. Dränvattensystem	19
DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro	19
DF. Trafikskyddsanordning	19
DF2. Räcke	19
DF21. Sidoräcke	19
DF21. Sidoräcke/ Broräcke	19
DK. Elsystem och telesystem	20
DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsror i betongkonstruktion	20
X. DOKUMENTATION	21
X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering	21
XB. Projekteringshandling	21
XB. Projekteringshandling/ Design basis	21
XC. Arbetshandling	21
XC. Arbetshandling/ Vägbro	21
XD. Relationshandling	22
XD. Relationshandling/ Vägbro	23

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATAObjektdata

Vägnummer: Väg 40

Vägnamn: Väg 40 Borås - Ulricehamn

Objektnamn: Delen Dällebo – Hester, Etapp 3

Objektnummer: 85 43 60 30

Kommun: Ulricehamns Kommun

Län: Västra Götaland

Dokumentdata

Titel: Teknisk Beskrivning Byggnadsverk
15-1762-1 Bro över allmän väg

Dokumentslag: 3K110003, Bygghandling

Utgivningsdatum: 2012-09-15

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Gunnar Jellbin

Konsulter: COWI AB

Carl Kiviloo Broprojektör

Lennart Johansson Geotekniker

REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING

Dokumentutformning

Avsnitt

För denna OTB gäller att den innehåller rubriker under avsnitten:

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

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

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

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

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

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

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

Rubriker enligt Dispositionen

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

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

Typer av konstruktioner

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

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

Typ av konstruktion uttrycks i Dispositionen av rubrik för konstruktion följt av ”/x” där x anger typ av konstruktion. Exempel på rubrik är ”DC11. Brobanepatta/ Platsgjuten brobanepatta” där brobanepatta är konstruktion och platsgjuten brobanepatta är typ av sådan konstruktion.

Kravhierarkier

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

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

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

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

Förteckning över okodade underrubriker

Under okodade underrubriker anges krav indelade enligt följande.

De okodade underrubrikerna är:

- Omfattning
- Funktion
- Teknisk lösning
- Kontroll

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

Under ”Funktion” hanteras följande:

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

Under ”Teknisk lösning” hanteras följande:

- Material
- Vara
- Konstruktion
- Utförande
- Märkning

Under ”Kontroll” hanteras följande:

- Provnings (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 och tvärsnitt på ritning nummer 3 47 G 1101, 3 47 G 1201, 3 47 G 1301 och 3 47 G 1302.

C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden

Omfattning

Terrängen består uteslutande av skogslandskap. Norr om bron förekommer ett våtmarksområde. Markytan sjunker mot öster från ca +303 (ca 30 m väster om blivande bron) till ca +297,6 (ca 30 m öster om blivande bron).

C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden

Omfattning

Djupet till berg varierar mellan 3,5 och 5,5 m. Överst består jordlagren av ett tunt mulljordslager (ca 0,1 m) som vilar på ungefär 1-1,5 m siltig sand eller sand. Därunder förekommer ca 3-5 m av morän på berg. Moränen bedöms vara mycket blockigt. Ca 30 m nordost om bron förekommer ett ca 0,5-0,8 m tjockt torvlager. Förekomst av torv är då inte möjligt i läget för brostöd.

Teknisk lösning

Schakt för väg kommer att utföras enligt TB/väg.

C1. Befintlig mark och miljö/ Bergtekniska förhållanden

Omfattning

Området är jordtäckt och berg i dagen har ej påträffats. Djup till berg är ≥ 2 m.

Berg i dagen har påträffats vid c:a km 16/050 och vid c:a km 16/400. Två kärnborrhål är borrade längs sträckan. KBH 9 (väg) är ansatt i c:a km 16/080, c:a 20 m vänster om vägmitt. Det är borrarat mot N30°Ö och lutat 60° från horisontalplanet. KBH 10 (väg) är ansatt i km c:a 16/860, c:a 20 m höger om vägmitt. Kärnborrhålet är utfört vertikalt.

Berget utgörs av en gråröd-röd granit. Enligt kärnkarteringen består berget av en röd glimmerfattig medelkornig något gnejsig granit, ställvis grovkristallin, med inslag av amfibolit och pegmatit. Foliationen lutar enligt kärnkarteringen svagt till medelbrant mot väst till sydväst, d.v.s. ut mot vägen på dess vänstra sida. SGU anger en foliation stupande mot sydsydväst, brant vid c:a km 15/900, avtagande till flack vid c:a km 16/800.

Sprickor är enligt ytkarteringen branta-vertikala och går i nordöst-sydväst, d.v.s. tvärs planerad väglinje. Enligt kärnkarteringen följer sprickorna oftast foliationen, d.v.s. lutar svagt till medelbrant ut mot planerad väg på dess vänstra sida. Det förekommer även branta sprickor. Uppkrossade partier förekommer.

Den dimensionerande hållfastheten i planerad bergschakt bedöms ligga på 2 MPa.

C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden

Omfattning

Grundvattenyta ligger vid nivå ca +296,4 (d.v.s. ca 0,5 m under befintligt markytan) ca 150 m norr om blivande bron och vid nivå ca +296,5 (d.v.s. ca 0,3 m ovan befintlig markytan) ca 100 m söder om blivande bron. Norr om bron ligger ett våtmarksområde och strax norr om bron har en fri vattenyta i några skruvprovtagningshål (B108, B113, B118, B117) observerats vid nivå ca +298 - +298,9.

D. VÄGANLÄGGNING

Omfattning

Denna tekniska beskrivning byggnadsverk omfattar 15-1762-1 Bro över allmän väg i Hössnamotet, Ö Ulricehamn.

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 2010:18 "Vägverkets föreskrifter om bärförmåga, stadga och beständighet hos byggnadsverk vid byggande av vägar och gator" följas i kombination med VVFS 2011:12 "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 Vägverkets publikation 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 kravspekifikation som är upprättad och godtagen enligt VV publikation 2009:27 TK Bro, A.1.4 och A.1.9.

Teknisk lösning

Avvikelse från förfrågningsunderlagets profilhöjder får inte ske.

I de fall entreprenören väljer tekniska lösningar eller material ska krav enligt TK Bro, TK Geo kapitel 6-17 eller VVK Väg och krav på material eller utförande som 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 enligt AMA CEB.52 med förstärkningslagermaterial enligt DCB.211 och krossad sprängsten enligt CEB.521, samt enligt TK Geo, tabell 7.3-1. Fyllning mot bro ska utföras upp till terrassnivå för anslutande väg, och upp till underkant för 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 3 47 K 2001.

Formgivningsvillkor framgår av förslagsritning.

Bron 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 basmättet vara minst 50 mm. Måttet ska innehållas även vid droppnäsor. För övriga byggnadsverksdelar skall basmättet 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 enligt förslagsritning 3 47 K 2002.

Kantbalken utformas som förhöjd och med rundning i underkant enligt förslagsritning 3 47 K 2002.

DC13c. Upplagsanordningar

DC13cb. Lager

Teknisk lösning

Bron ska utföras med topflager. Lager ska vara CE-märkta.

DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning

Funktion

Krav på vibrationer mm framgår av Handling 13.2 Riskanalys Mark- och Bergschaktningsarbete.

Kontroll. Funktion

Kontroll ska ske genom mätning.

Teknisk lösning

Schaktningsarbetena skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CBB.51.

Bergschakt ska utföras enligt AMA Anläggning 07 kap CBC.5121 och kap CBC tabell CBC/2 bergschaktningstolerans 2.

Endast elektroniska sprängkapslar får användas.

Schaktnings- och fyllningsarbeten för bottenplattor ska ske i torrhet.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska utföras genom besiktning.

DC2. Grundläggning av vägbro/ fyllning

Teknisk lösning

Grundläggning av bron ska ske på $\geq 0,5$ m packad fyllning av krossmaterial på friktionsmaterial (siltig sand).

Allt eventuellt organiskt material ska schaktas bort innan fyllning av krossmaterial.

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

Material	Egenskap	Karaktäristiskt värde
Packad fyllning (krossmaterial)	Tunghet (Tabell 5.2-1) Friktionsvinkel (Tabell 5.2-4) E-modul (Tabell 5.2-3)	$\gamma_k = 18,0 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 21,0 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 45^\circ$ $E_k = 50 \text{ MPa}$
Friktionsmaterial (siltig sand)	Tunghet (Tabell 5.2-1) Friktionsvinkel (Tabell 5.2-4) E-modul (Tabell 5.2-3)	$\gamma_k = 18,0 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{mk} = 20,0 \text{ kN/m}^3$ $\Phi'_k = 32^\circ$ $E_k = 20 \text{ MPa}$

DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta

Teknisk lösning

Gjutningsarbete för bottenplattor ska förutsättas ske i torrhet.

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

Gjutning godtas utförd mot vattenavvisande papp eller plastfolie.

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

DC33. Beläggning/ Slitlager

Teknisk lösning

Bron ska förses med permanent slitlager om 40 mm enligt normalsektion 3 15 T 0404.

Bron ska försees med beläggning för GC-väg med 120 mm AGF och 40 mm slitlager enligt normalsektion 3 15 T 0401.

DC31. Beläggning/ Bindlager

Teknisk lösning

Kombinerat skydds- och bindlager utförs med 50 mm PGJA.

DC31. Beläggning/ Kantstöd

Teknisk lösning

Kantstöd limmas på PGJA.

DC33. Tätskikt, skyddslager

DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt

Teknisk lösning

Bron försees med tätskikt av isoleringsmatta på MMA-primer.

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/ Länkplattor

Teknisk lösning

Bron ska försees med länkplattor.

Länkplattor utförs enligt förslagsritning. Länkplattornas tjocklek ska vara minst 370 mm.

Översida upplagsklack utförs i samma lutning som länkplatta. Undersida upplagsklack utförs i lutning 2:1.

Länkplatta försees inte med tätskikt och skall ha ett täckande betongskikt av minst 50 mm och försees över skarv med isoleringsmatta som dras ut minst 300 mm åt ömse håll om skarven.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb

Teknisk lösning

Bron ska försees med avvägningsdubbar enligt TK Bro.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubbar

Teknisk lösning

Mellanstöd ska försees med loddubbar enligt TK Bro.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Konsol för belysningsstolpe

Teknisk lösning

Bron ska förses med konsoler för belysningsstolpe i princip enligt bilaga 2, vägverkets ritning 589:2S-b, och med placering enligt förslagsritning 3 47 K 2001.

Montage av ingjutningsgods för belysningsstolpe, enligt TB Väg/MF Väg DEF.33, ingår i broarbetet.

DC4. Slänt eller kon

Omfattning

Fyllning för slänt och kon ingår i broarbetet, men inte ytskikt enligt nedan.

DC41. Slänt

Teknisk lösning

Slänter runt bron (dock ej under bron) kläs med släntkappor bestående av 100 mm mineraljord 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 1:2.

DC42. Kon

Teknisk lösning

Koner runt bron kläs med släntkappor bestående av 100 mm mineraljord 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 1:2.

DE. Avvattningssystem

DE1. Dagvattensystem

Funktion

Dagvattensystemet ska kunna leda bort och ta hand om vatten från vägyta och brobana. Vattnet från vägkropp, sidoområde och omgivande yta samt dräneringsvatten ska avledas så att stabilitet och säkerhet mot skred eller uppflytning inte försämras samt att sättningar och negativ påverkan på miljön inte uppstår.

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

Kontroll. Funktion

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

Teknisk lösning

Bron förses med 2 ytavlopp. Ytavloppet placeras enligt förslagsritning 3 47 K 2001.

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

DE2. Dränvattensystem

Omfattning

Dränvattensystem avleder dräneringsvatten och omfattar dräneringsledningar och dräneringsbrunnar.

Funktion

Dräneringssystem ska kunna dränera väggkroppen, 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. Grundavloppsror 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 förses med kapacitetsutjämnande övergång enligt TK Bro G.9.1.8. Ingår i vägarbetet.

DF21. Sidoräcke/ Broräcke

Omfattning

Räcke på bro ska omfatta räcke fram till och med skarv vid broände inklusive leverans av broräckesavslut enligt förslagsritning.

Teknisk lösning

Broräcken ska utföras enligt förslagsritning och TK Bro.

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

Räcke ska utföras i kapacitetsklass H2, skaderiskklass A alternativt B och med arbetsbredd W3.

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

På broar med kantbalk ska räckesståndare skruvas fast.

Broräcken och anslutande vägräcken ska utföras med samma typ av navföljare och tillhöra samma CE-märkta räckesfamilj. Med räckesfamilj avses samma fabrikat och modellserie.

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 undergjudas.

Skruvarna förses med grafitfett eller vax.

Räckesskruvar får inte komma i kontakt med kantbalkens armering.

Montage av broräcket ingår i broarbetet och montage av broräckesavslutningar ingår i vägarbetet.

Räckesmaterial och broräckesavslutningar kommer att tillhandahållas från sidoentreprenör för etapp 2 på anvisad plats efter avrop enligt AFC.361.

Tillhandahållna broräcken kommer att vara Varmförzinkning Z rörprofil B4-1 respektive B4-4.

Ingjutningsgods för montage av tillhandahållet broräcke ingår i broarbetet.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

DK. Elsystem och telesystem

DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsror i betongkonstruktion

Teknisk lösning

Överbyggnaden förses med ett längsgående SRN PVC $\phi 50$ med placering enligt förslagsritning 3 47 K 2001 och 3 47 K 2002. Rör ska vara försett med galvaniserad dragtråd.

X. DOKUMENTATION

X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering

Se handling 11.1 TB Väg, 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 § 7.2.

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
- mätprotokoll avseende lagerinställningar, lod- och avvagningsdubbar
- provningsintyg
- arbetsbeskrivningar upprättade av entreprenören
- verifikat och certifikat enligt SS-EN standard alternativt YE i handling 11.1, TB Väg

På original exemplet av sammanställningsritningen ska redovisas

- använd typ av tillsatsmedel i betong
- förteckning över av beställaren godtagna handlingar
- lagerinställningar
- sammansättning av injekteringsbruk med uppgift om cementfabrikat, tillsatsmedel, dosering samt vct_{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.

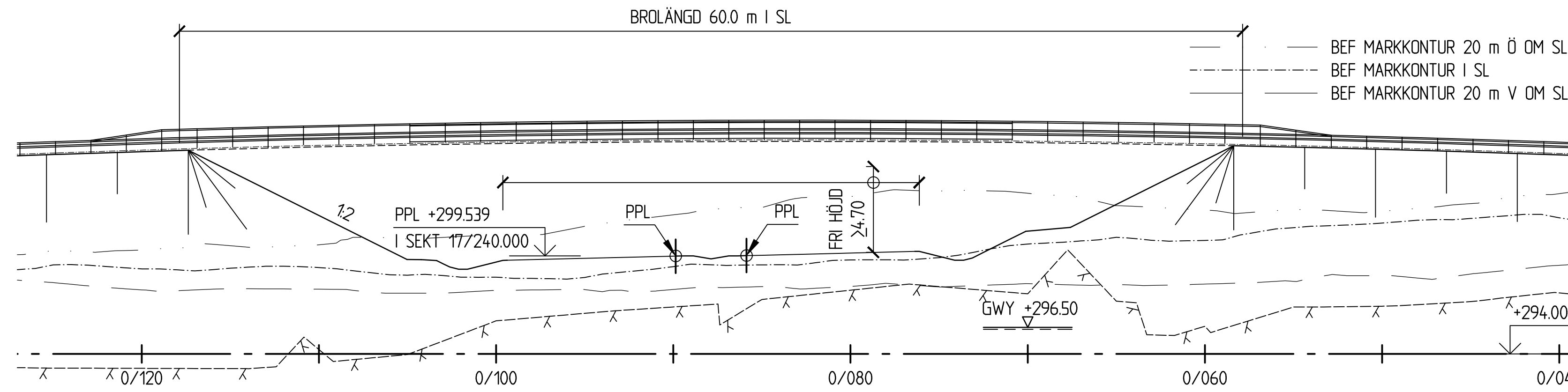
Eventuella smärre avsteg från godtagen ritning ska vara införda på originalritningarna.

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

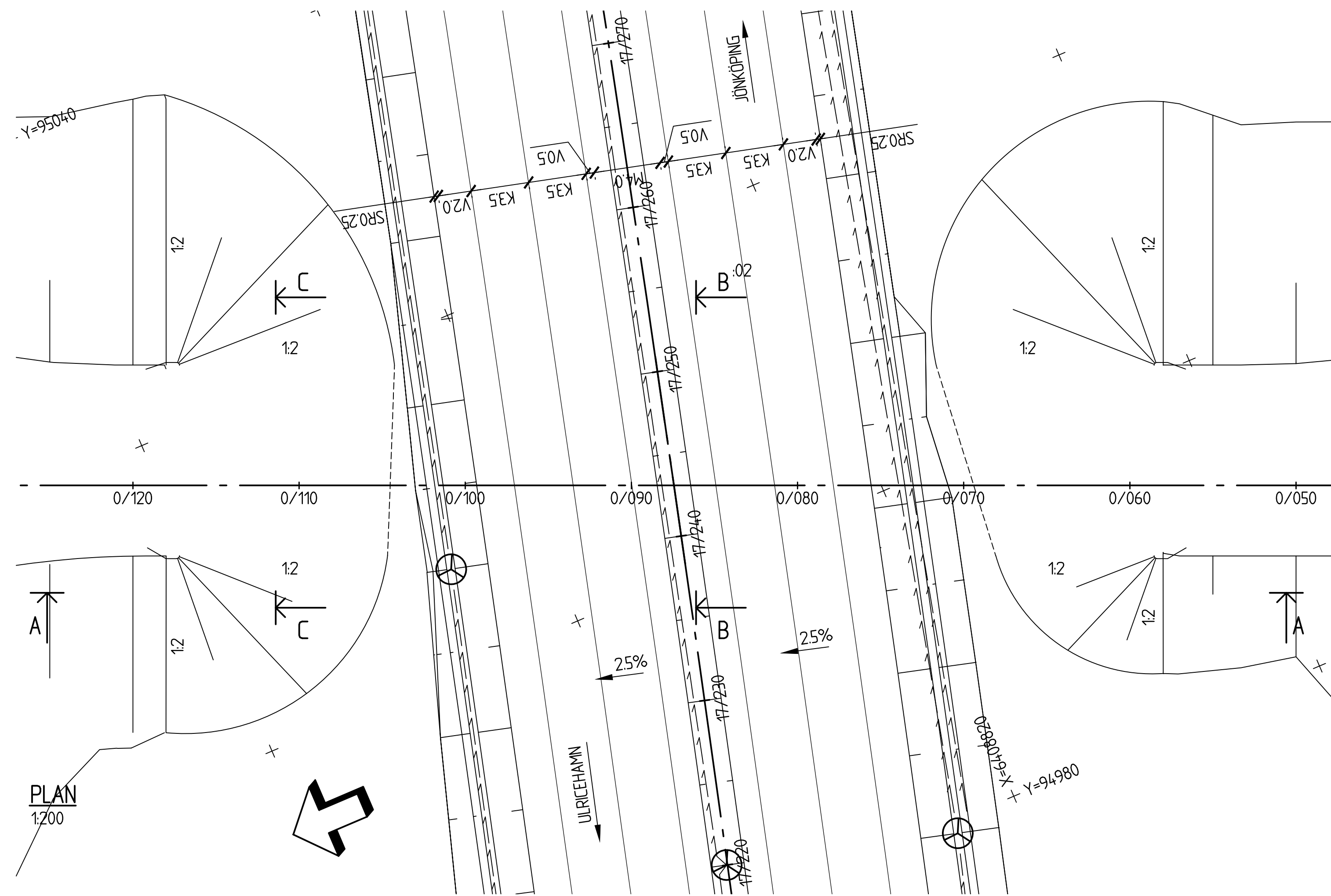
Mätprotokollen avseende inmätning av lod- och avvagningsdubbar ska utöver mätresultaten innehålla datum för mätningen, lufttemperaturen vid mätningen, mätmetod samt uppgift om vilken fixpunkt som använts. Inmätningen ska utföras enligt BJB.22 i handling 11.1, TB Väg.

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

Bilaga 2 - Ritning över Hössnamotet

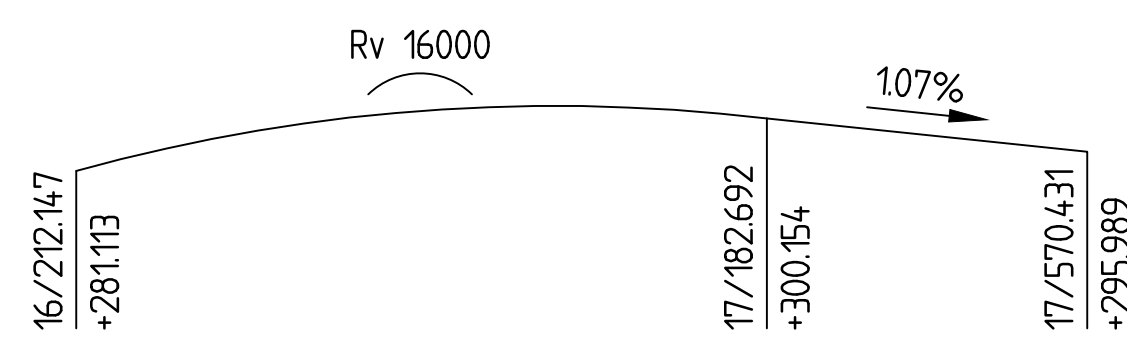


ELEVATION A-A
1:200



PLAN
1:200

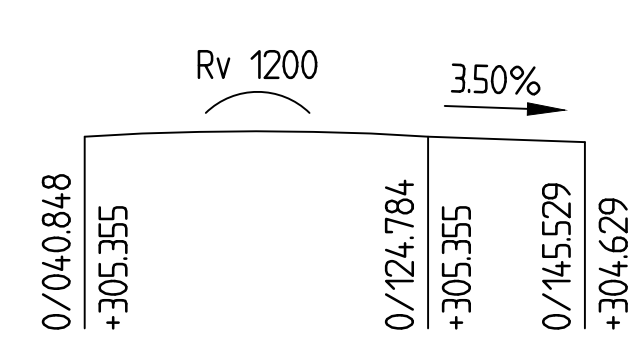
PROFIL VÄG 40



PLANDATA VÄG 40

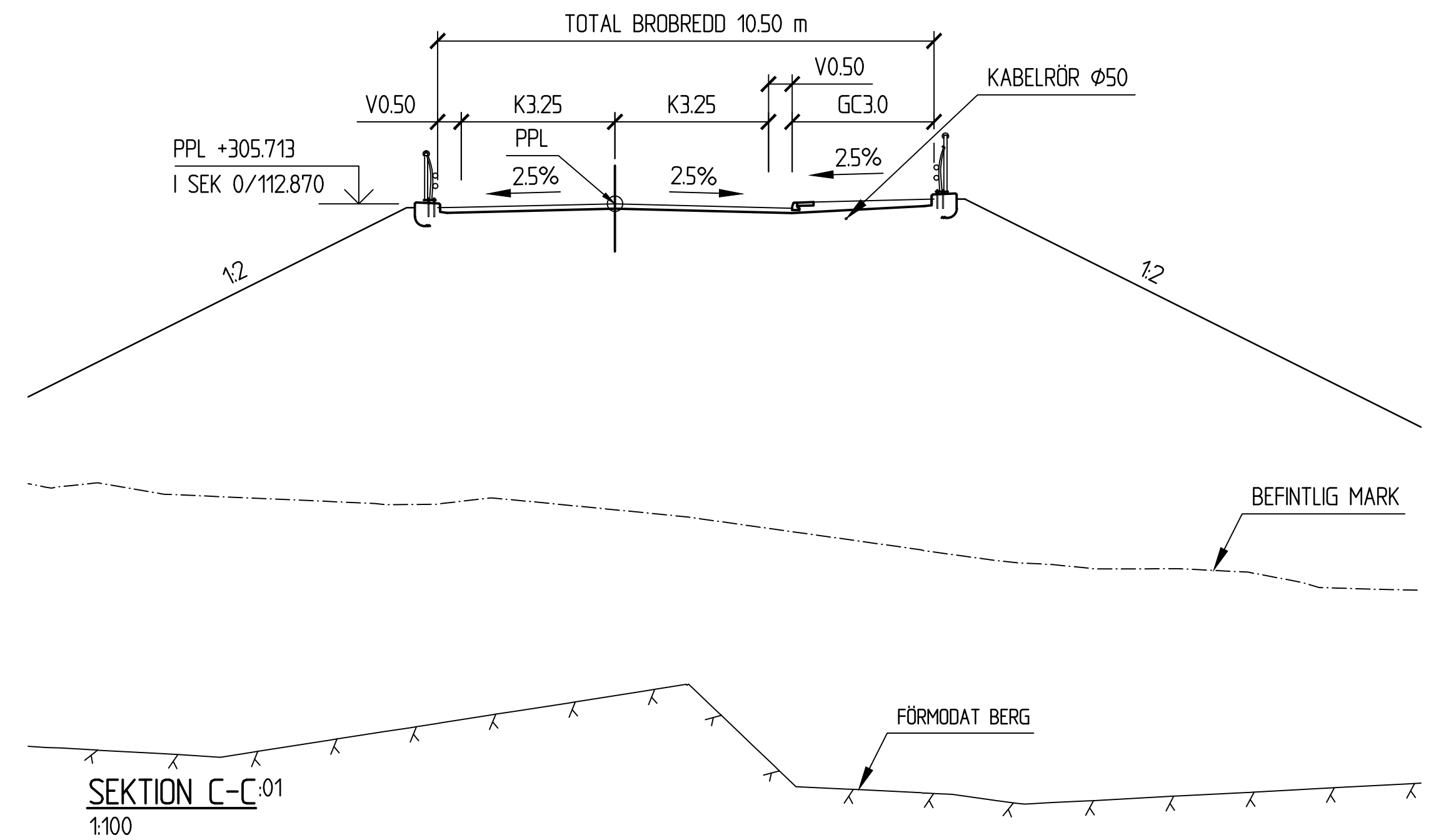
PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM.
1	16/132.182	6409272.348	93990.111	R=3700
2	17/927.677	6408717.778	95679.337	

PROFIL VÄG 1721

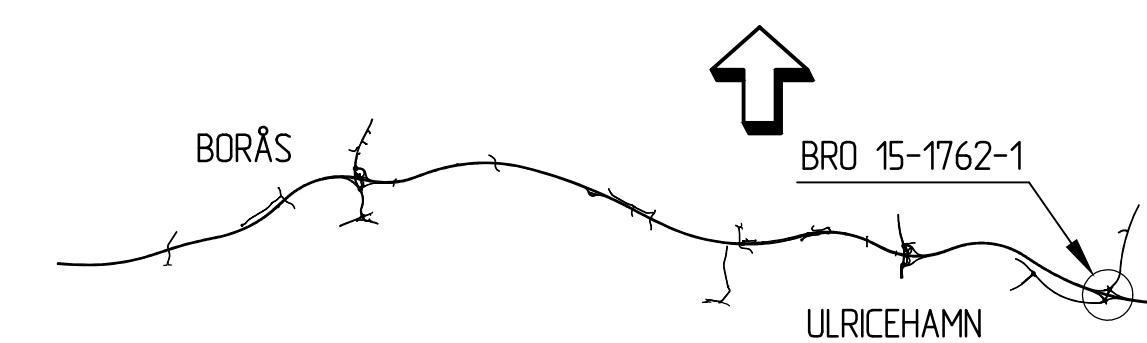


PLANDATA VÄG 1721

PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM.
1	0/000.000	6408751.037	94970.959	RL
2	0/169.122	6408906.623	95037.260	



SEKTION C-C-01
1:100



SITUATIONSPLAN

ALLMÄNNA ANVISNINGAR

- HÖJDSYSTEM: RH 70
- KOORDINATSYSTEM: RT 90 5 gon V 0.-1.
- HÖJDFIX: ENLIGT MÄTPÄRM
- POLYGONPUNKTER: ENLIGT MÄTPÄRM
- NORMER, FÖRESKRIFTER OCH BESKRIVNINGAR: BRON SKALL DIMENSIONERAS OCH UTFÖRAS ENLIGT TK BRD (PUBL 2009:27) OCH TK GEO (PUBL 2009:46) SAMT TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK 3K110003 UPPRÄTTAD AV COWI AB, DATERAD 2012-09-15.

FÖRKLARINGAR

- FL/RL AVSER FAST RESPEKTIVE RÖRLIGT LAGER
- 1) AVSER KONSOL FÖR BELYSNINGSSTOLPE

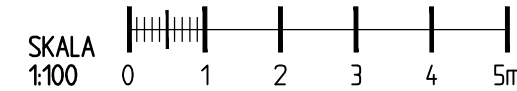
HÄNVISNINGAR

- LEDNINGAR ENLIGT RITNING 300W5112
- YTSKIKT ENLIGT RITNING 300L1912
- BELYSNING ENLIGT RITNING 301E6312

TECKENFÖRKLARINGAR

- NY DRÄNERINGSLEDNING
- DAGVATTENBRUNN

REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	GDOK	DATUM	VV DATUM	VV DIARIENUMMER
BYGGHANDLING			FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG			
TRAFIKVERKET COWI <small>CowI AB Skärgårdsgatan 1 BOX 12076 Göteborg 010-850 10 00 www.cowi.se</small>			VÄG 40 BORÅS-ULRICEHAMN DELEN DÄLLEBO - HESTER ETAPP 3 BRO ÖVER ALLMÄN VÄG I HÖSSNAMOTET, Ö ULRICEHAMN KM 17/250 FÖRSLAGSRITNING			
UPPDRAGSANSVARIG A BERGHOLTZ			UPPDRAGSNUMMER 161925			
KONSTR C KIVILOO			GRÄNSK. M BÄCKSTRÖM			
GÖTEBORG A BERGHOLTZ			2012-09-15			
KONSTRUKTIONSNR 15-1762-1		FORMAT A1		SKALA ENLIGT FIGUR		REV
OBJEKT NR 854.36030		RITNINGSNR 347K2001				



Bilaga 3 - Viktning och Kriteriemall

Tabell 1. Ranking av utvärderingskriterierna

Kriterier	A	B	C	D	E	F	Summa	Ranking
A. Trafiksäkerhet	0	1	1	1	1	1	5	1
B. Livstidskostnad	-1	0	-1	1	-1	1	-1	4
C. Estetik	-1	1	0	1	-1	1	1	3
D. Underhållstillgänglighet	-1	-1	-1	0	-1	1	-3	5
E. Miljövänlighet	-1	1	1	1	0	1	3	2
F. Produktionsvänlighet	-1	-1	-1	-1	-1	0	-5	6

Tabell 2. Viktning av kriterierna

Placering	Antal Givna Poäng	Procentsat	Viktningvärde
1 (Trafiksäkerhet)	10	0,33	1,33
2 (Miljövänlighet)	8	0,27	1,27
3 (Estetik)	6	0,20	1,20
4 (Livstidskostnad)	4	0,13	1,13
5 (Underhållstillgänglighet)	2	0,07	1,07
6 (Produktionsvänlighet)	0	0,00	1,00

I Tabell 1 jämförs kriterierna ett och ett mot varandra för att därefter erhålla poäng för i hur många fall ett enskilt kriterie anses viktigare än något av de andra. Den totala poängsumman bestämmer sedan rankingen på kriterierna.

I Tabell 2 ges kriterierna en poängsumma mellan 0 och 10 som motsvarar hur viktigt kriteriet anses vara i förhållande till de andra kriterierna. Den givna poängsumman dividerades sedan med den totala summan utgivna poäng (30) för att erhålla en procentsats för varje kriterie. Procentsatsen adderades sedan med 1 för att erhålla en ny procentsats som motsvarar kriteriets viktningvärde.

Tabell 3. Värdering av brokoncept

Brokoncept	A	A-viktat	B	B-viktat	C	C-viktat	D	D-viktat	E	E-viktat	F	Summa	Ranking
1. Balkbro, betong, ett stöd	-1	-1,33	1	1,13	-1	-1,2	1	1,07	-1	-1,27	1	-0,6	12
2. Balkbro, betong, två stöd	1	1,33	1	1,13	-1	-1,2	1	1,07	-1	-1,27	1	2,06	3
3. Balkbro, stål, ett stöd	-1	-1,33	0	0	-1	-1,2	0	0	0	0	1	-1,53	14
4. Balkbro stål, två stöd	1	1,33	0	0	-1	-1,2	0	0	0	0	1	1,13	6
5. Balkro, trä, ett stöd	-1	-1,33	1	1,13	-1	-1,2	-1	-1,07	1	1,27	1	-0,2	10
6. Balkbro, trä, två stöd	1	1,33	1	1,13	-1	-1,2	-1	-1,07	1	1,27	1	2,46	1
7. Balkbro, FRP, ett stöd	-1	-1,33	0	0	-1	-1,2	1	1,07	0	0	1	-0,46	11
8. Balkbro, FRP, två stöd	1	1,33	0	0	-1	-1,2	1	1,07	0	0	1	2,2	2
9. Snedkabelbro, betong, en pylon	0	0	-1	-1,13	1	1,2	1	1,07	-1	-1,27	0	-0,13	9
10. Snedkabelbro, betong, två pyloner	0	0	-1	-1,13	1	1,2	0	0	-1	-1,27	-1	-2,2	16
11. Snedkabelbro, stål, en pylon	0	0	-1	-1,13	1	1,2	0	0	0	0	0	0,07	8
12. Snedkabelbro, stål, två pyloner	0	0	-1	-1,13	1	1,2	-1	-1,07	0	0	-1	-2	15
13. Snedkabelbro, trä, en pylon	0	0	0	0	1	1,2	0	0	0	0	0	1,2	5
14. Snedkabelbro, trä, två pyloner	0	0	0	0	1	1,2	-1	-1,07	0	0	-1	-0,87	13
15. Snedkabelbro, FRP, en pylon	0	0	0	0	1	1,2	0	0	0	0	0	1,2	5
16. Snedkabelbro, FRP, två pyloner	0	0	0	0	1	1,2	-1	-1,07	0	0	-1	-0,87	13
17. Bågbro betong	0	0	0	0	1	1,2	1	1,07	-1	-1,27	0	1	7
18. Bågbro stål	0	0	-1	-1,13	1	1,2	0	0	0	0	0	0,07	8
19. Bågbro trä	0	0	0	0	1	1,2	-1	-1,07	1	1,27	0	1,4	4
20. Bågbro FRP	0	0	0	0	1	1,2	0	0	0	0	0	1,2	5

Tabell 4. Noggrann poängbedömning med viktning

Brokoncept	A	A-viktat	B	B-viktat	C	C-viktat	D	D-viktat	E	E-viktat	F	Summa	Ranking
Balkbro, betong, två stöd	4	5,32	5	5,65	1,5	1,8	4	4,28	2,5	3,175	5	25,225	1
Bågbro trä	3,5	4,655	3	3,39	4,5	5,4	2,5	2,675	3,5	4,445	2,5	23,065	2
Snedkabelbro, trä, en pylon	4	5,32	2,5	2,825	4,5	5,4	2	2,14	2,5	3,175	3	21,86	3

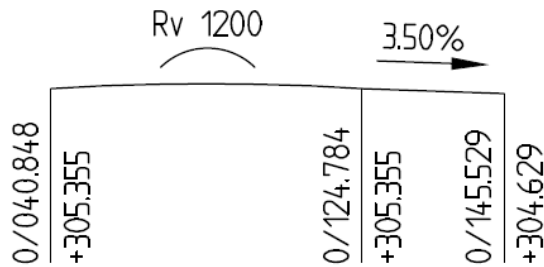
I Tabell 3 varje brokoncept utifrån de givna kriterierna med 1, 0 eller -1 där 1 representerar god kvalitet i givet kriterium, -1 representerar dålig kvalitet och 0 varken eller. Varje kriterium viktades därefter med det framräknade (se Tabell 2) viktningsvärdet varpå en total poängsumma erhöles och således även en ranking av brokoncepten.

I Tabell 4 värderas de tre slutgiltiga brokoncepten med poäng mellan 1 och 5 för varje kriterie. Poängen för varje kriterie viktades sedan med det framräknade viktningsvärdet (se Tabell 2) varpå en ranking av brokoncepten erhöles. Observera att två av brokoncepten med högre ranking i Tabell 3 av olika anledningar

Bilaga 4 - Beräkning av fri konstruktionshöjd

Underliggande väg 40 ligger på plushöjden +299,539 i sektionen 17/240,000. Den minsta fria höjden som krävs är 4,70 meter.

PROFIL VÄG 1721



PLANDATA VÄG 1721

PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM.
1	0/000.000	6408751.037	94970.959	RL
2	0/169.122	6408906.623	95037.260	

Kritiska snitt som behöver kontrolleras på överliggande väg 1721 är:

- 0/100,000 (Kant, norr)
- 0/75,000 (Kant, söder)

Tangentpunkt (0/124,784)

$$X_{tp} = 124,784 \text{ m}$$

$$Z_{tp} = +305,355 \text{ m}$$

Maxpunkt

$$X_{max} = X_{tp} + R_v * i = 124,784 + 1200 * -3.50 \% = 82,78 \text{ m}$$

$$Z_{max} = Z_{tp} + (X_{tp} - X_{max})^2 / (2 * R_v) = 305,355 + (124,784 - 82,78)^2 / (2 * 1200) = 306,09 \text{ m}$$

Kritiska punkter

$$Z_{norr} = Z_{max} - (X_{norr} - X_{max})^2 / (2 * R_v) = 306,09 - (100 - 82,78)^2 / (2 * 1200) = 305,97 \text{ m}$$

$$Z_{söder} = Z_{max} - (X_{söder} - X_{max})^2 / (2 * R_v) = 306,09 - (75 - 82,78)^2 / (2 * 1200) = 306,06 \text{ m}$$

Fri höjd

$$h_{norr} = Z_{norr} - 4.70 - Z_{väg40} = 305,97 - 4.70 - 299,539 = 1,731 \text{ m}$$

$$h_{söder} = Z_{söder} - 4.70 - Z_{väg40} = 306,06 - 4.70 - 299,539 = 1,821 \text{ m}$$

$$h = \min(h_{norr}, h_{söder}) = \mathbf{1,731 \text{ m}}$$

Bilaga 5 – Beräkning längsled (CALFEM)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Kandidatarbete Bro. Grupp 4
% 2015-05-14
% Beräkningsmodell längsled
%
% Kontroll av moment, tvärkraft,
% normalkraft och nedböjning i
% träfarbana och kablar
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

close all
clear
clc

% Allokera minne
K = zeros(104);
f = zeros(104,1);

%% INDATA %%
%% LASTER (Från Bilaga 6, dimensionering längsled)
% Egentyngder
G = 60.255 * 10^3; % Egentyngd brobana [N/m]
Gs = 37.115 * 10^3 % Egentyngd ståltvärbalkar [N]

% Trafiklaster
P = 675 * 10^3; % TS [N]
q = 109.954 * 10^3; % UDL [N/m]

% Bromskraft
Q = 544.752 * 10^3 % [N]

%% Lastfall 1: Utbredd trafiklastlast (UDL) i alla fack och Punktlast (TS) i
fack JK
% Punktlaster
f(11) = -Gs; % Egentyngd stålbalk
f(20) = -Gs;
f(29) = -Gs;
f(38) = -Gs;
f(47) = -Gs;
f(56) = -Gs;
f(65) = -Gs;
f(74) = -Gs;
f(83) = -Gs;
f(92) = -Gs;

f(86) = -P; % Trafiklast TS
f(89) = -P;

f(101) = -Q; % Bromskraft
```

```

% Utbredda laster
Eq = [0 -(G + q)      % fack 1
      0 -(G + q)      % fack 2
      0 -(G + q)      % ...
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)];

%% Lastfall 2: Utbredd trafiklastlast (UDL) i fack IJ, JK, KL och Punktlast
(TS) i fack JK
% % Punktlaster
% f(11)= -Gs; % Egentyngd stålbalk
% f(20)= -Gs;
% f(29)= -Gs;
% f(38)= -Gs;
% f(47)= -Gs;
% f(56)= -Gs;
% f(65)= -Gs;
% f(74)= -Gs;
% f(83)= -Gs;
% f(92)= -Gs;
%
% f(86)= -P; % Trafiklast TS
% f(89)= -P;
%
% f(101)= -Q; % Bromskraft
%
% % Utbredda laster
% Eq = [0 -(G)      % fack 1
%       0 -(G)      % fack 2
%       0 -(G)      % ...
%       0 -(G)
%       0 -(G)
%       0 -(G)
%       0 -(G)
%       0 -(G)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)];

%% Lastfall 3: Utbredd trafiklastlast (UDL) i alla fack och Punktlast (TS) i
fack FG
% % Punktlaster
% f(11)= -Gs; % Egentyngd stålbalk
% f(20)= -Gs;
% f(29)= -Gs;
% f(38)= -Gs;
% f(47)= -Gs;
% f(56)= -Gs;
% f(65)= -Gs;

```

```

% f(74) = -Gs;
% f(83) = -Gs;
% f(92) = -Gs;
%
% f(50) = -P; % Trafiklast TS
% f(53) = -P;
%
% f(101) = -Q; % Bromskraft
%
% % Utbredda laster
% Eq = [0 -(G + q) % fack 1
%       0 -(G + q) % fack 2
%       0 -(G + q) % ...
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)];
%
%% Limträplatta, GL36c
% Dimensioner och Egenskaper
h = 0.620; % Höjd [m]
b = 10.5; % Bredd [m]
A_brobana = b*h; % Area [m^2]
I_brobana = b*h^3/12; % Yttröghetsmoment [m^4]
E_brobana = 11900 * 10^6; % E-modul [Pa]

% Elementegenskaper, brobana
ep_brobana = [E_brobana A_brobana I_brobana];

%% Kablar, Locked-coil-strand
% Dimensioner och Egenskaper
A = @(d) pi * (d/2)^2; % Area [m^2]
E = 165 * 10^9; % E_modul (Bridon) [Pa]

ep_kabel = [E 2*A(0.100) % Kabel 1
            E 2*A(0.100) % Kabel 2
            E 2*A(0.100) % ...
            E 2*A(0.100)
            E 2*A(0.100)
            E 2*A(0.100)
            E 2*A(0.100)
            E 2*A(0.100)
            E 2*A(0.100)
            E 2*A(0.180)
            E 2*A(0.180)];

%% Elementkoordinater
% Indata
L_spann = 60; % brospann [m]
n_kablar = 10; % Antal kablar
n_element = 3*(n_kablar+1); % Antal broelement, 33st
L_sidofack = 3; % längd sidofack [m]

```

```
L_fack = 6; % längd fack [m]
L_axellaster = 1.2; % Avstånd mellan axellaster [m]
h_pylon = 35; % Höjd pylon [m]
```

```
% Brobana
```

```
Ex = [0 0.9000
      0.9000 2.1000
      2.1000 3.0000
      3.0000 5.4000
      5.4000 6.6000
      6.6000 9.0000
      9.0000 11.4000
      11.4000 12.6000
      12.6000 15.0000
      15.0000 17.4000
      17.4000 18.6000
      18.6000 21.0000
      21.0000 23.4000
      23.4000 24.6000
      24.6000 27.0000
      27.0000 29.4000
      29.4000 30.6000
      30.6000 33.0000
      33.0000 35.4000
      35.4000 36.6000
      36.6000 39.0000
      39.0000 41.4000
      41.4000 42.6000
      42.6000 45.0000
      45.0000 47.4000
      47.4000 48.6000
      48.6000 51.0000
      51.0000 53.4000
      53.4000 54.6000
      54.6000 57.0000
      57.0000 57.9000
      57.9000 59.1000
      59.1000 60.0000];
```

```
Ey = zeros(n_element,2);
```

```
% Kablar
```

```
Ex_kabel = [0 3
            0 9
            0 15
            0 21
            0 27
            0 33
            0 39
            0 45
            0 51
            0 57];
```

```
Ey_kabel = [35 0
            35 0
            35 0]
```

```
35    0
35    0
35    0
35    0
35    0
35    0
35    0];
```

```
%% Topologi
```

```
% Brobana
```

```
edof_brobana = [1    1    2    3    4    5    6
                2    4    5    6    7    8    9
                3    7    8    9   10   11   12
                4   10   11   12   13   14   15
                5   13   14   15   16   17   18
                6   16   17   18   19   20   21
                7   19   20   21   22   23   24
                8   22   23   24   25   26   27
                9   25   26   27   28   29   30
               10   28   29   30   31   32   33
               11   31   32   33   34   35   36
               12   34   35   36   37   38   39
               13   37   38   39   40   41   42
               14   40   41   42   43   44   45
               15   43   44   45   46   47   48
               16   46   47   48   49   50   51
               17   49   50   51   52   53   54
               18   52   53   54   55   56   57
               19   55   56   57   58   59   60
               20   58   59   60   61   62   63
               21   61   62   63   64   65   66
               22   64   65   66   67   68   69
               23   67   68   69   70   71   72
               24   70   71   72   73   74   75
               25   73   74   75   76   77   78
               26   76   77   78   79   80   81
               27   79   80   81   82   83   84
               28   82   83   84   85   86   87
               29   85   86   87   88   89   90
               30   88   89   90   91   92   93
               31   91   92   93   94   95   96
               32   94   95   96   97   98   99
               33   97   98   99   100  101  102];
```

```
% Kablar
```

```
edof_kablar = [ 34  103  104  10  11
                35  103  104  19  20
                36  103  104  28  29
                37  103  104  37  38
                38  103  104  46  47
                39  103  104  55  56
                40  103  104  64  65
                41  103  104  73  74
                42  103  104  82  83
                43  103  104  91  92];
```



```

%% Elementstyvhetmatriser och assemblering
% Brobana
for i = 0:n_kablar % En gång per fack
    [Ke, fe] = beam2e(Ex(3*i+1,:), Ey(3*i+1,:), ep_brobana, Eq(i+1,:));
    [K, f] = assem(edof_brobana(3*i+1,:), K, Ke, f, fe);

    [Ke, fe] = beam2e(Ex(3*i+2,:), Ey(3*i+2,:), ep_brobana, Eq(i+1,:));
    [K, f] = assem(edof_brobana(3*i+2,:), K, Ke, f, fe);

    [Ke, fe] = beam2e(Ex(3*i+3,:), Ey(3*i+3,:), ep_brobana, Eq(i+1,:));
    [K, f] = assem(edof_brobana(3*i+3,:), K, Ke, f, fe);
end

% Kablar
for i = 1:n_kablar % En gång per kabel
    Ke = bar2e(Ex_kabel(i,:), Ey_kabel(i,:), ep_kabel(i,:));
    K = assem(edof_kablar(i,:), K, Ke);
end

%% Randvillkor
bc = [1 0 % Landfäste, låst x
      2 0 % Landfäste, låst y
      101 0 % Landfäste, Rullstöd
      103 0 % pylontopp, låst x
      104 0]; % pylontopp, låst y

%% Lösning
[a, r] = solveq(K, f, bc)

%% Elementförskjutningar
Ed_brobana = extract(edof_brobana, a)
Ed_kablar = extract(edof_kablar, a)

%% Spänningar
n=5;

for i = 0:n_kablar % En gång per fack

    Es = (beam2s(Ex(3*i+1,:), Ey(3*i+1,:), ep_brobana, Ed_brobana(3*i+1,:),
Eq(i+1,:), n))';
    N(3*i+1,:) = Es(1,:);
    V(3*i+1,:) = Es(2,:);
    M(3*i+1,:) = Es(3,:);

    Es = (beam2s(Ex(3*i+2,:), Ey(3*i+2,:), ep_brobana, Ed_brobana(3*i+2,:),
Eq(i+1,:), n))';
    N(3*i+2,:) = Es(1,:);
    V(3*i+2,:) = Es(2,:);
    M(3*i+2,:) = Es(3,:);

```

```

    Es = (beam2s(Ex(3*i+3,:), Ey(3*i+3,:), ep_brobana, Ed_brobana(3*i+3,:),
Eq(i+1,:), n))';
    N(3*i+3,:) = Es(1,:);
    V(3*i+3,:) = Es(2,:);
    M(3*i+3,:) = Es(3,:);
end

for i = 1:n_kablar % En gång per kabel
    N_kablar(i) = bar2s(Ex_kabel(i,:), Ey_kabel(i,:), ep_kabel(i,:),...
... Ed_kablar(i,:));
end

%% Plot %%
%% Förskjutningar
figure(1)
axis([-5 65 -20 40]);
title('Förskjutningar, w [m]')
sfac = scalfact2(Ex(15,:), Ey(15,:), Ed_brobana(15,:),1.5);
pltscalb2(sfac,[5e-2 30 30]);

% Balkelement
plotpar_1=[3 3 0];
plotpar_2=[1 2 0];
for i = 1:n_element;
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar_1);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed_brobana(i,:), plotpar_2, sfac);
end

% Kablar
for i = 1:n_kablar;
    eldraw2(Ex_kabel(i,:), Ey_kabel(i,:), plotpar_1);
    eldisp2(Ex_kabel(i,:), Ey_kabel(i,:), Ed_kablar(i,:), plotpar_2, sfac);
end

%% Normalkrafter
% Balkelement
figure(2)
axis([-5 65 -20 40]);
title('Normalkrafter [N]')
sfac = scalfact2(Ex(18,:), Ey(18,:), N(18,:)',4);
pltscalb2(sfac,[5e6 30 30]);

plotpar=[3 1];
for i = 1:n_element;
    eldia2(Ex(i,:), Ey(i,:), N(i,:)', plotpar, sfac);
end

%% Tvärkrafter
figure(3)
axis([-5 65 -20 40]);
title('Tvärkraft, V, [N]')
sfac = scalfact2(Ex(14,:), Ey(14,:), V(14,:)', 3);
pltscalb2(sfac,[1e6 30 30]);

```

```

plotpar=[3 1];
for i = 1:n_element;
    eldia2(Ex(i,:), Ey(i,:), V(i,:)', plotpar, sfac);
end

%% Moment
figure(4)
axis([-5 65 -20 40]);
title('Moment [Nm]')
sfac = scalfact2(Ex(14,:), Ey(14,:), M(14,:) ',2);
pltscaleb2(sfac,[1e6 30 30]);

plotpar=[3 1];
for i = 1:n_element;
    eldia2(Ex(i,:), Ey(i,:), M(i,:) ', plotpar, sfac);
end

%% Dimensionerande värden

disp('Max Normalkraft')
N_max = max(max(abs(N)))

disp('Max Tvärkraft')
V_max = max(max(abs(V)))

disp('Max Moment')
M_max = max(max(abs(M)))

disp('Max Nedböjning')
w_max = max(abs(a(2:3:end)))

%% Normalkrafter kablar
disp('Max Normalkraft Kabel, 1 st')
N_kabel_max = max(N_kablar)/2

%% Kabelkomponenter för pylondimensionering
F_x = 0;
F_y = 0;

for i = 1:n_kablar
    F_x = F_x + N_kablar(i) * cos(atan(h_pylon/Ex(3*i,2)));
    F_y = F_y + N_kablar(i) * sin(atan(h_pylon/Ex(3*i,2)));
end
disp('Kabelkomponenter för pylondimensionering, summan av kabelkrafterna')
disp('Horisontalkomponent')
F_x
disp('Vertikalkomponent')
F_y

```

utdata:

Dimensionerande värden per lastfall:

	Lastfall 1	Lastfall 2	Lastfall 3
Moment [kNm]	3515	3841	2154
Tvärkraft [kN]	1448	1371	1265
Normalkraft [kN]	9695	6433	9287
Nedböjning [mm]	59,8	47,7	60,5
Vertikal kraftresultant pylontopp [kN]	10688	5941	10984

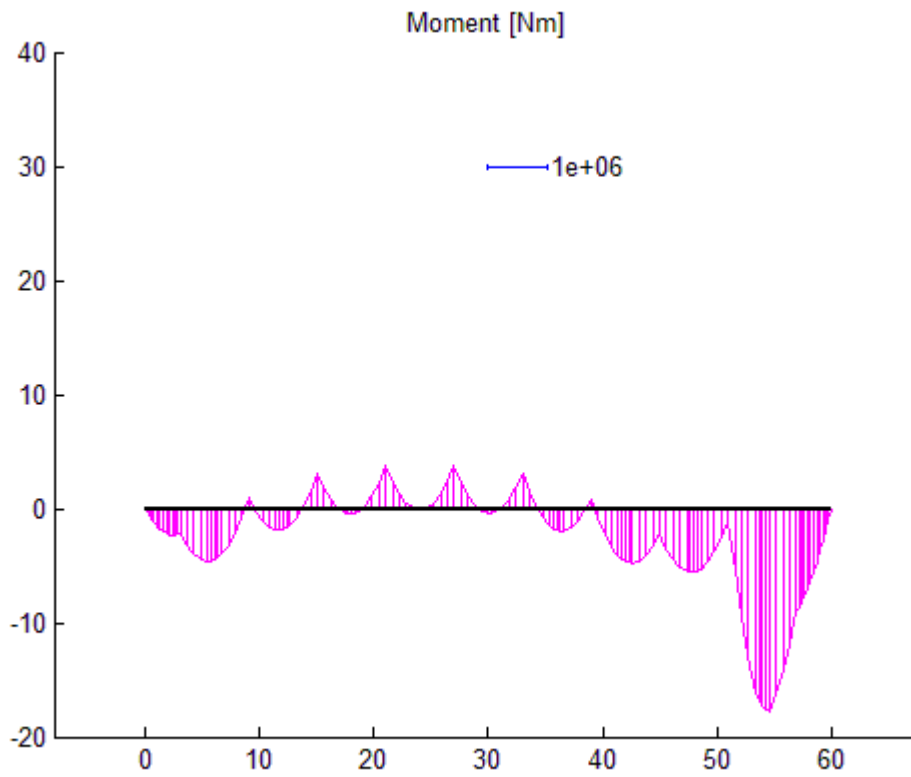
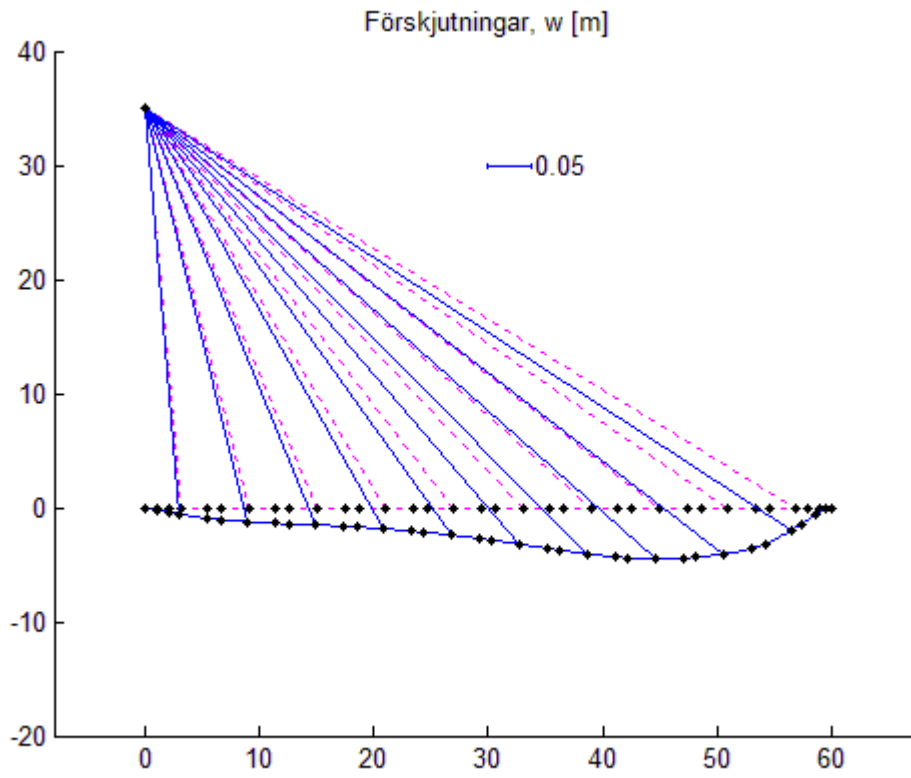
(se figurer nedan)

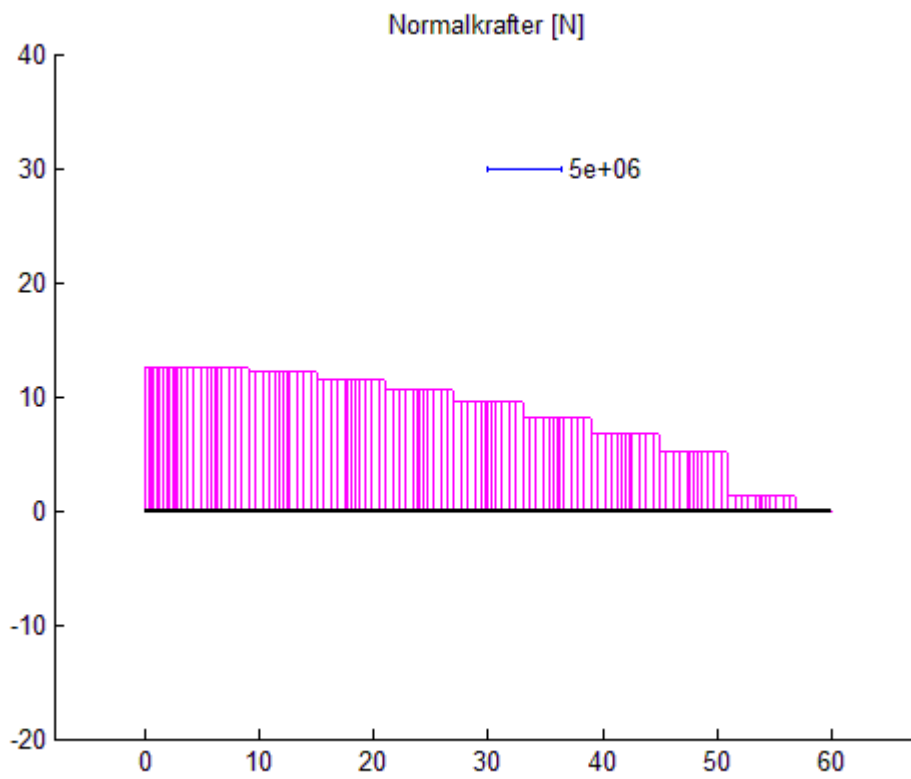
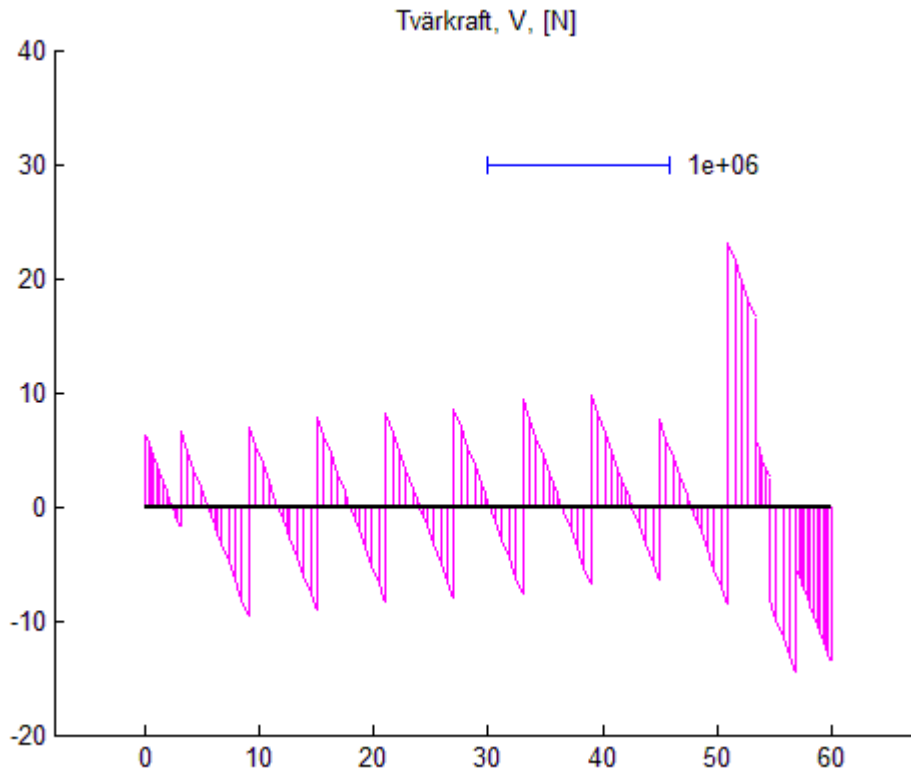
Kabelkrafter, dimensionerande lastfall 3:

Kabel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Normalkraft [kN]	554	1081	1193	1501	2100	2211	1819	1345	2451	578

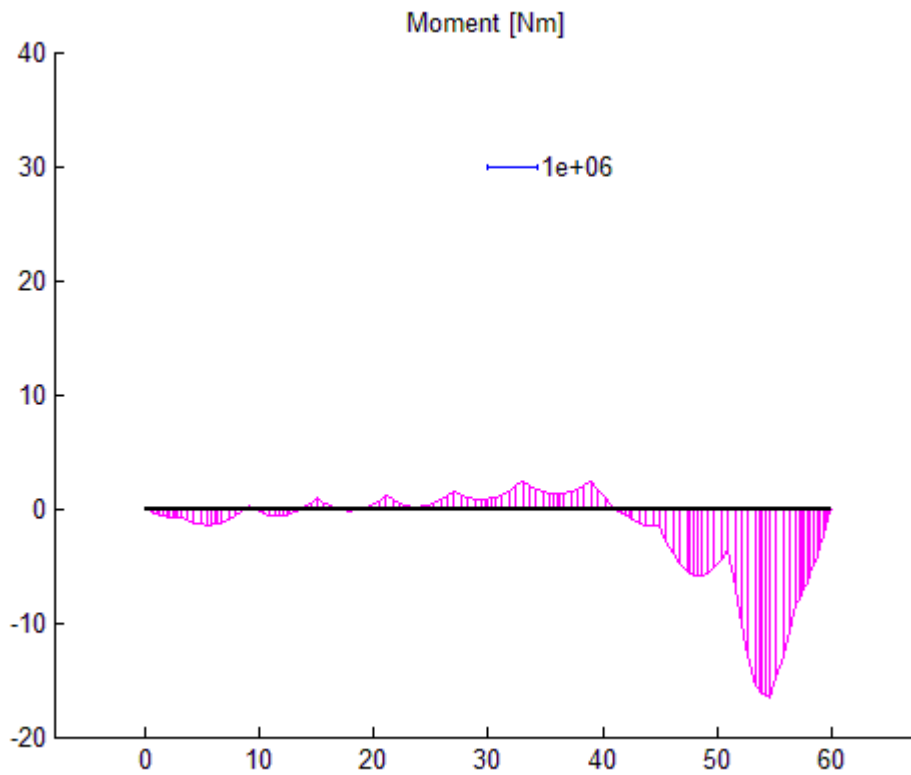
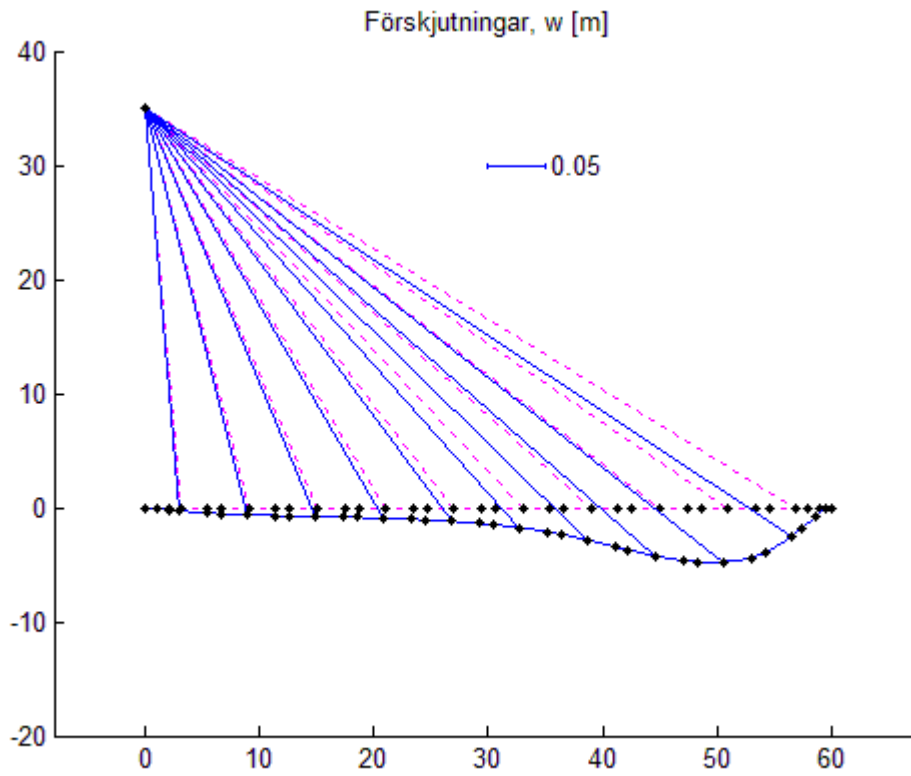
(Används för pylonberäkningar. Kablarna dimensioneras efter olycksfall)

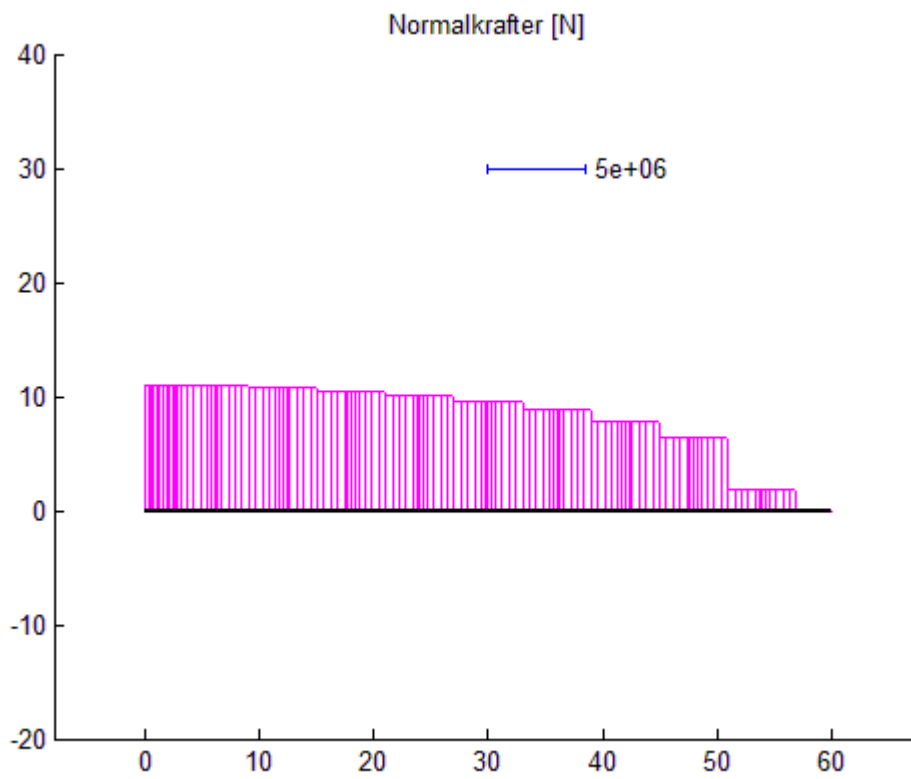
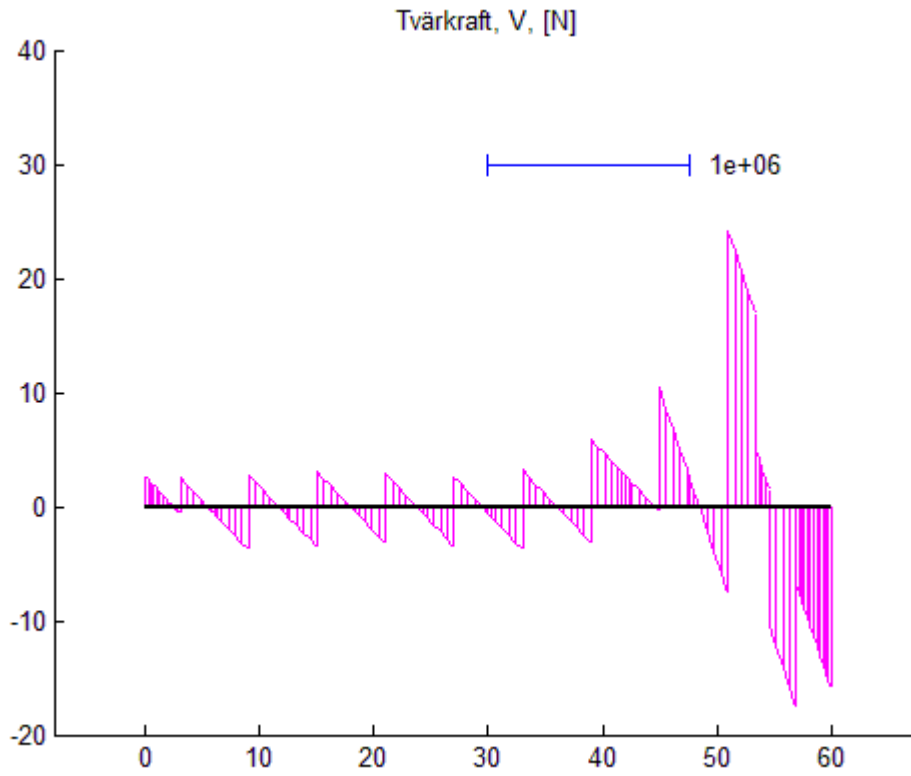
Lastfall 1



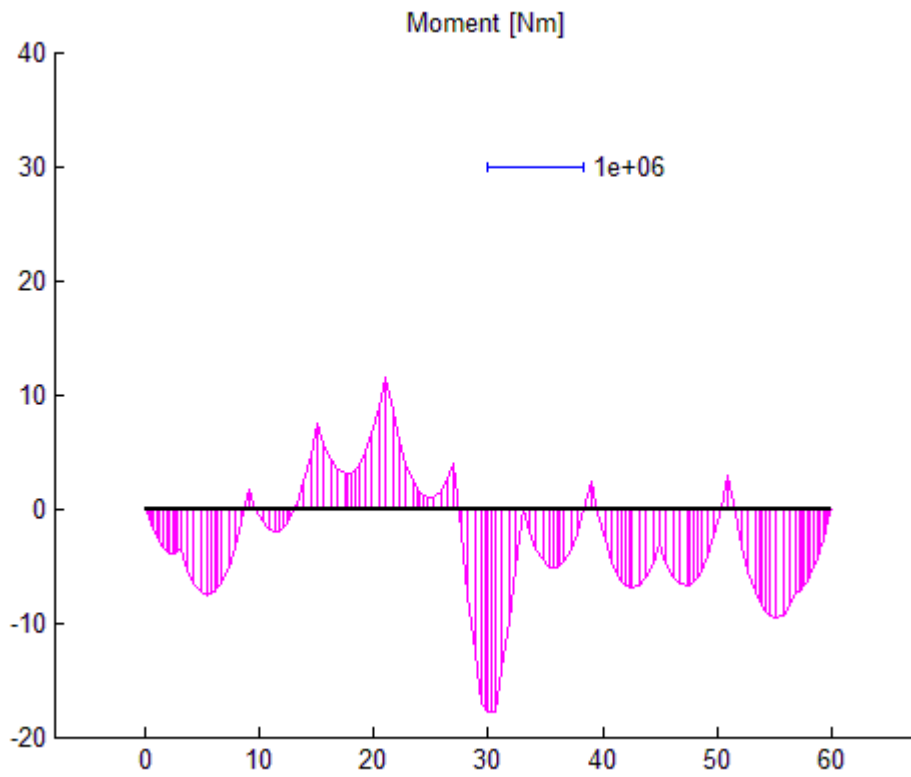
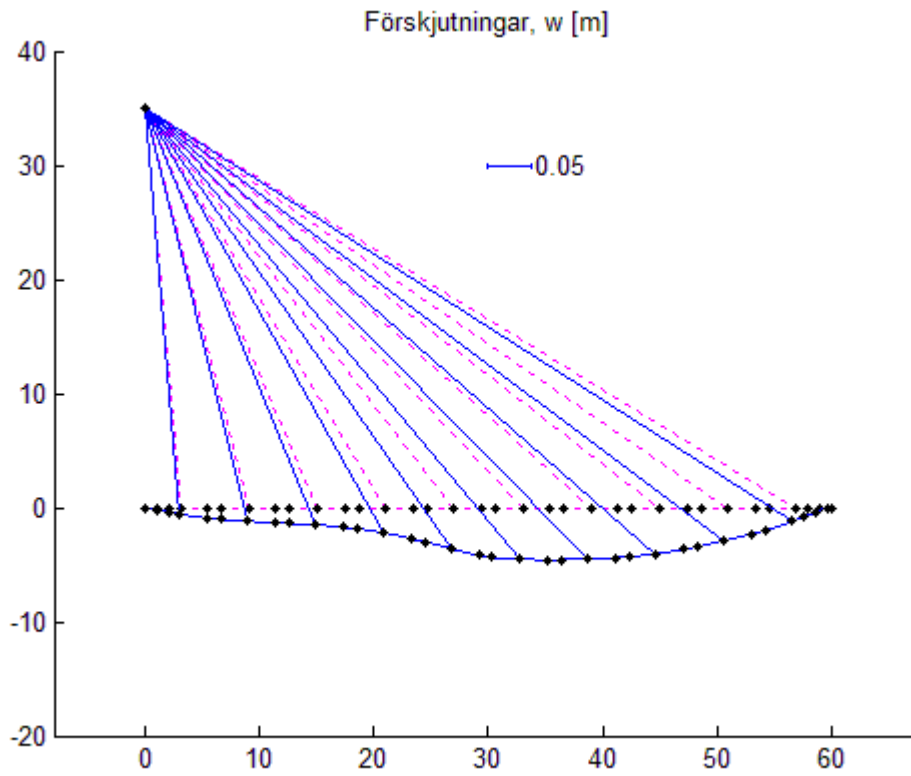


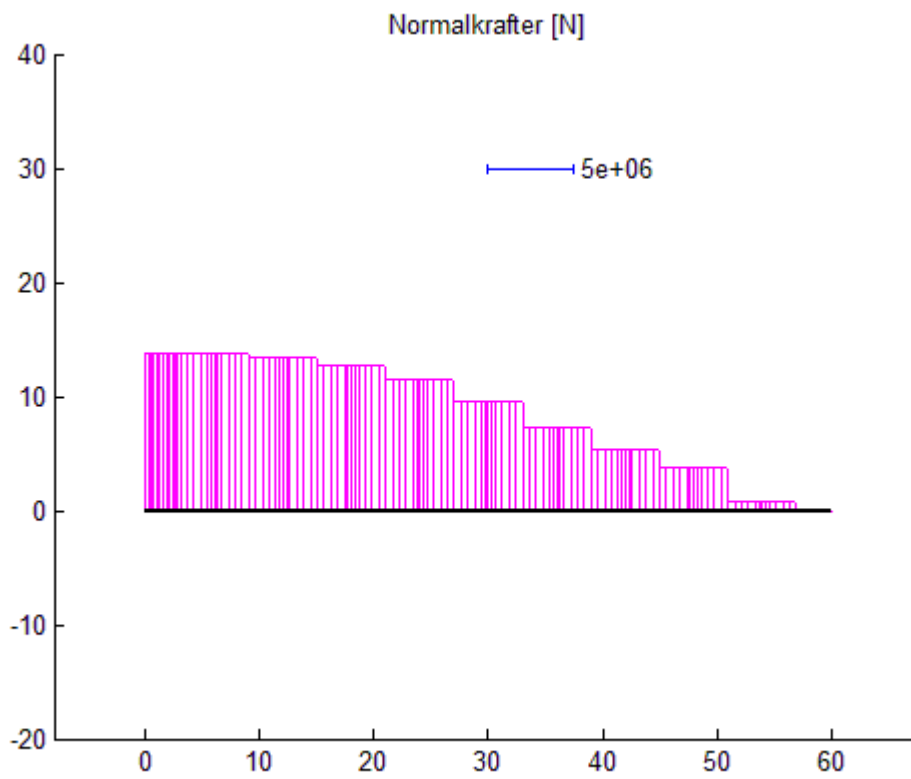
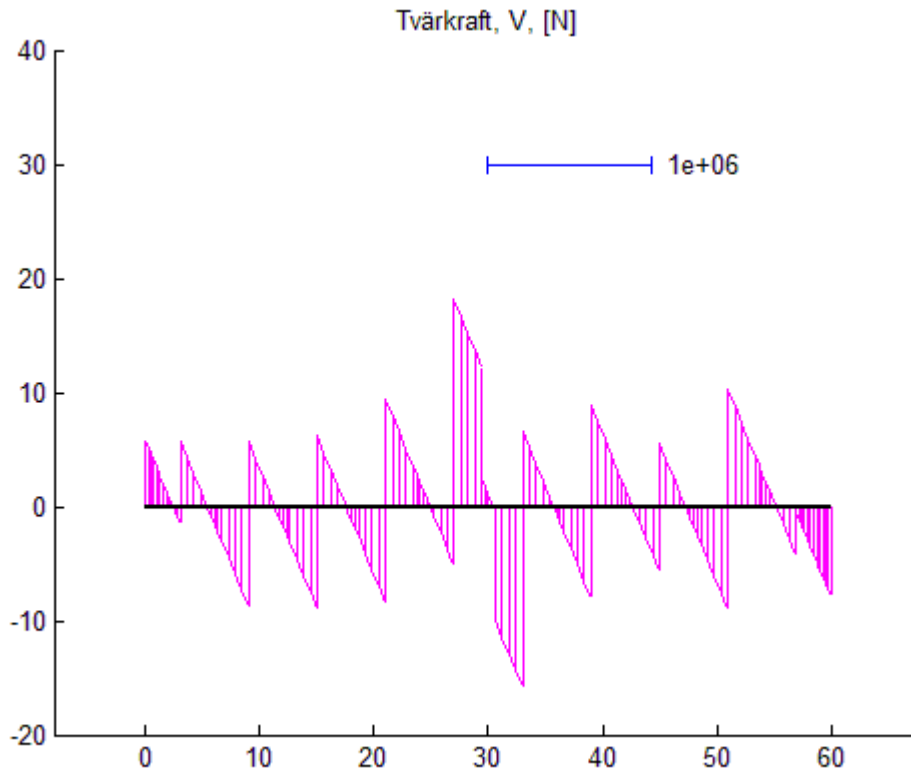
Lastfall 2:





Lastfall 3:





```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Kandidatarbete Bro. Grupp 4
% 2015-05-14
% Beräkningsmodell längsled
%
% Olyckslast: Kontroll av kabelkrafter
% om en kabel går sönder/byts ut.
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

close all
clear
clc

% Allokera minne
K = zeros(104);
f = zeros(104,1);

%% LASTER (Från Bilaga ###, dimensionering träfarbana)
% Egentyngder
G = 60.255 * 10^3;           % Egentyngd brobana           [N/m]
Gs = 37.115 * 10^3          % Egentyngd ståltvärbalkar [N]

% Trafiklaster
P = 675 * 10^3;             % TS           [N]
q = 109.954 * 10^3;         % UDL          [N/m]

% Bromskraft
Q = 544.752 * 10^3          % [N]

%% Olycksfall 1:
% Utbredd trafiklastlast (UDL) i alla fack
% Punktlast (TS) i fack FG.
% Kabel 6 saknas.

% Punktlaster
f(11) = -Gs; % Egentyngd stålbalkar
f(20) = -Gs;
f(29) = -Gs;
f(38) = -Gs;
f(47) = -Gs;
f(56) = -Gs;
f(65) = -Gs;
f(74) = -Gs;
f(83) = -Gs;
f(92) = -Gs;

f(50) = -P; % Trafiklast TS
f(53) = -P;

f(101) = -Q; % Bromskraft

```

```

% Utbredda laster
Eq = [0 -(G + q)      % fack 1
      0 -(G + q)      % fack 2
      0 -(G + q)      % ...
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)
      0 -(G + q)];

%% Olycksfall 2:
% % Utbredd trafiklastlast (UDL) i fack IJ, JK, KL
% % Punktlast (TS) i fack JK.
% % Kabel 9 saknas.
%
% % Punktlaster
% f(11)= -Gs; % Egentyngd stålbalkar
% f(20)= -Gs;
% f(29)= -Gs;
% f(38)= -Gs;
% f(47)= -Gs;
% f(56)= -Gs;
% f(65)= -Gs;
% f(74)= -Gs;
% f(83)= -Gs;
% f(92)= -Gs;
%
% f(86)= -P; % Trafiklast TS
% f(89)= -P;
%
% f(101)= -Q; % Bromskraft
%
% % Utbredda laster
% Eq = [0 -(G)      % fack 1
%       0 -(G)      % fack 2
%       0 -(G)      % ...
%       0 -(G)
%       0 -(G)
%       0 -(G)
%       0 -(G)
%       0 -(G)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)
%       0 -(G + q)];

%% Limträplatta, GL36c
% Dimensioner och Egenskaper
h = 0.620; % Höjd [m]
b = 10.5; % Bredd [m]
A_brobana = b*h; % Area [m^2]
I_brobana = b*h^3/12; % Yttröghetsmoment [m^4]
E_brobana = 11900 * 10^6; % E-modul [Pa]

```

```

% Elementegenskaper, brobana
ep_brobana = [E_brobana A_brobana I_brobana];

%% Kablar, Locked-coil-strand
% Dimensioner och Egenskaper
A = @(d) pi * (d/2)^2;           % Area [m^2]
E = 165 * 10^9;                 % E_modul (Bridon) [Pa]

ep_kabel = [E 2*A(0.100)        % Kabel 1
            E 2*A(0.100)        % Kabel 2
            E 2*A(0.100)        % ...
            E 2*A(0.100)
            E 2*A(0.100)
            E 1*A(0.100)        % Olycksfall 1
            E 2*A(0.100)
            E 2*A(0.100)
            E 2*A(0.180)        % Olycksfall 2
            E 2*A(0.180)];

%% Elementkoordinater
% Indata
L_spann = 60;                   % brospann [m]
n_kablar = 10;                  % Antal kablar
n_element = 3*(n_kablar+1);     % Antal broelement, 33st
L_sidofack = 3;                 % längd sidofack [m]
L_fack = 6;                     % längd fack [m]
L_axellaster = 1.2;             % Avstånd mellan axellaster [m]
h_pylon = 35;                   % Höjd pylon [m]

% Brobana
Ex = [0      0.9000
      0.9000 2.1000
      2.1000 3.0000
      3.0000 5.4000
      5.4000 6.6000
      6.6000 9.0000
      9.0000 11.4000
      11.4000 12.6000
      12.6000 15.0000
      15.0000 17.4000
      17.4000 18.6000
      18.6000 21.0000
      21.0000 23.4000
      23.4000 24.6000
      24.6000 27.0000
      27.0000 29.4000
      29.4000 30.6000
      30.6000 33.0000
      33.0000 35.4000
      35.4000 36.6000
      36.6000 39.0000
      39.0000 41.4000
      41.4000 42.6000
      42.6000 45.0000
      45.0000 47.4000
      47.4000 48.6000

```

```
48.6000 51.0000
51.0000 53.4000
53.4000 54.6000
54.6000 57.0000
57.0000 57.9000
57.9000 59.1000
59.1000 60.0000];
```

```
Ey = zeros(n_element,2);
```

```
% Kablar
```

```
Ex_kabel = [0 3
0 9
0 15
0 21
0 27
0 33
0 39
0 45
0 51
0 57];
```

```
Ey_kabel = [35 0
35 0
35 0
35 0
35 0
35 0
35 0
35 0
35 0
35 0
35 0];
```

```
%% Topologi
```

```
% Brobana
```

```
edof_brobana = [1 1 2 3 4 5 6
2 4 5 6 7 8 9
3 7 8 9 10 11 12
4 10 11 12 13 14 15
5 13 14 15 16 17 18
6 16 17 18 19 20 21
7 19 20 21 22 23 24
8 22 23 24 25 26 27
9 25 26 27 28 29 30
10 28 29 30 31 32 33
11 31 32 33 34 35 36
12 34 35 36 37 38 39
13 37 38 39 40 41 42
14 40 41 42 43 44 45
15 43 44 45 46 47 48
16 46 47 48 49 50 51
17 49 50 51 52 53 54
18 52 53 54 55 56 57
19 55 56 57 58 59 60
20 58 59 60 61 62 63]
```

```

21    61    62    63    64    65    66
22    64    65    66    67    68    69
23    67    68    69    70    71    72
24    70    71    72    73    74    75
25    73    74    75    76    77    78
26    76    77    78    79    80    81
27    79    80    81    82    83    84
28    82    83    84    85    86    87
29    85    86    87    88    89    90
30    88    89    90    91    92    93
31    91    92    93    94    95    96
32    94    95    96    97    98    99
33    97    98    99   100   101   102];

```

```
% Kablar
```

```

edof_kablar = [ 34   103   104    10    11
                35   103   104    19    20
                36   103   104    28    29
                37   103   104    37    38
                38   103   104    46    47
                39   103   104    55    56
                40   103   104    64    65
                41   103   104    73    74
                42   103   104    82    83
                43   103   104    91    92];

```

```
%% Elementstyvhetmatriser och assemblering
```

```
% Brobana
```

```
for i = 0:n_kablar % En gång per fack
```

```
    [Ke, fe] = beam2e(Ex(3*i+1,:), Ey(3*i+1,:), ep_brobana, Eq(i+1,:));
```

```
    [K, f] = assem(edof_brobana(3*i+1,:), K, Ke, f, fe);
```

```
    [Ke, fe] = beam2e(Ex(3*i+2,:), Ey(3*i+2,:), ep_brobana, Eq(i+1,:));
```

```
    [K, f] = assem(edof_brobana(3*i+2,:), K, Ke, f, fe);
```

```
    [Ke, fe] = beam2e(Ex(3*i+3,:), Ey(3*i+3,:), ep_brobana, Eq(i+1,:));
```

```
    [K, f] = assem(edof_brobana(3*i+3,:), K, Ke, f, fe);
```

```
end
```

```
% Kablar
```

```
for i = 1:n_kablar % En gång per kabel
```

```
    Ke = bar2e(Ex_kabel(i,:), Ey_kabel(i,:), ep_kabel(i,:));
```

```
    K = assem(edof_kablar(i,:), K, Ke);
```

```
end
```

```
%% Randvillkor
```

```

bc = [ 1 0           % Landfäste, låst x
      2 0           % Landfäste, låst y
      101 0        % Landfäste, Rullstöd
      103 0        % pylontopp, låst x
      104 0];      % pylontopp, låst y

```

```
%% Lösning
```

```

[a, r] = solveq(K, f, bc)

%% Elementförskjutningar
Ed_brobana = extract(edof_brobana, a)
Ed_kablar = extract(edof_kablar, a)

%% Spänningar
for i = 1:n_kablar % En gång per kabel
    N_kablar(i) = bar2s(Ex_kabel(i,:), Ey_kabel(i,:), ep_kabel(i,:), ...
        ... Ed_kablar(i,:));
end

%% Kabelspänningar
for i = 1:n_kablar % En gång per kabel
    disp('Spänning kabel:')
    disp(num2str(i))
    N_kablar(i)
end

```

Utdata:

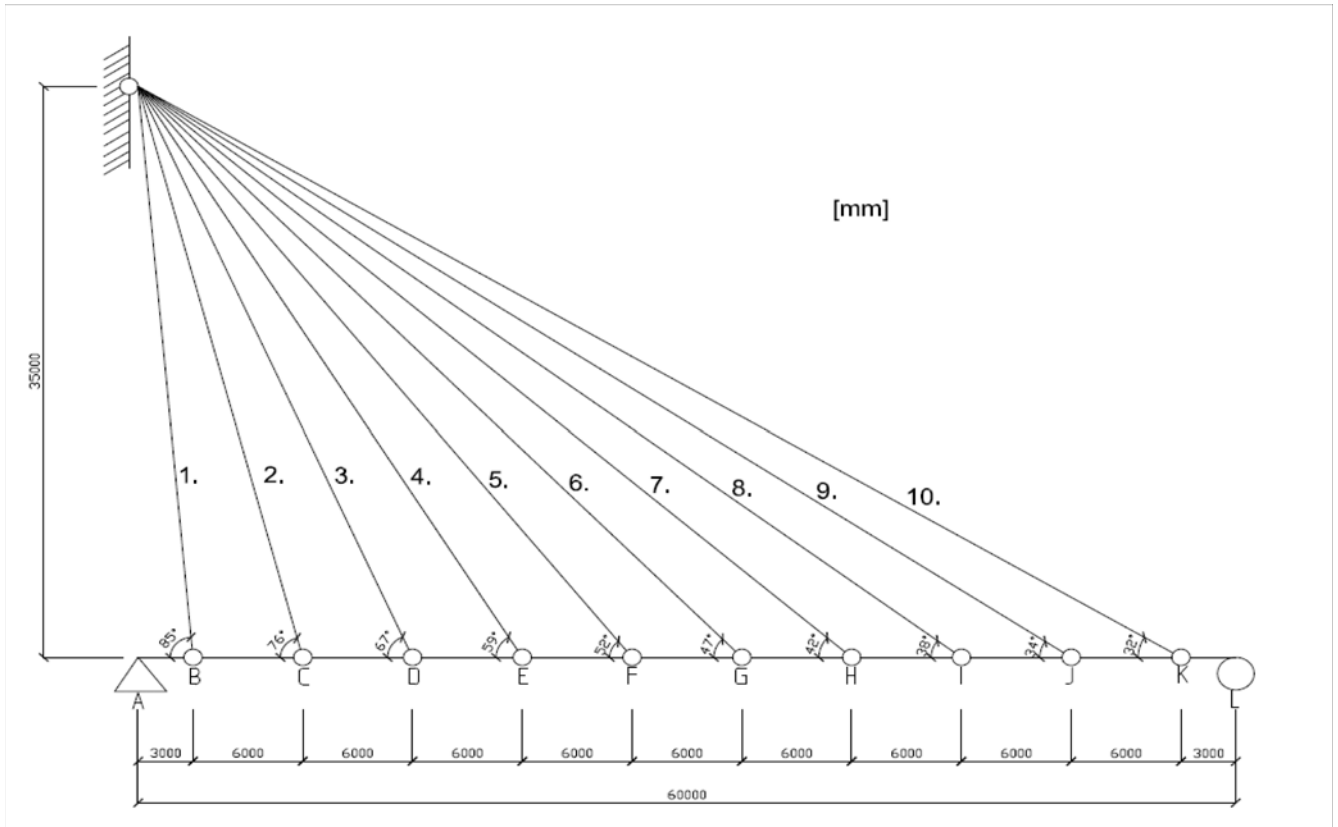
Kabelspänningar [kN]

Kabel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Olycksfall #1	549	1059	1161	1570	2479	1419	2166	1438	2458	560
Olycksfall #2	216	427	451	439	458	600	959	1408	2306	1719

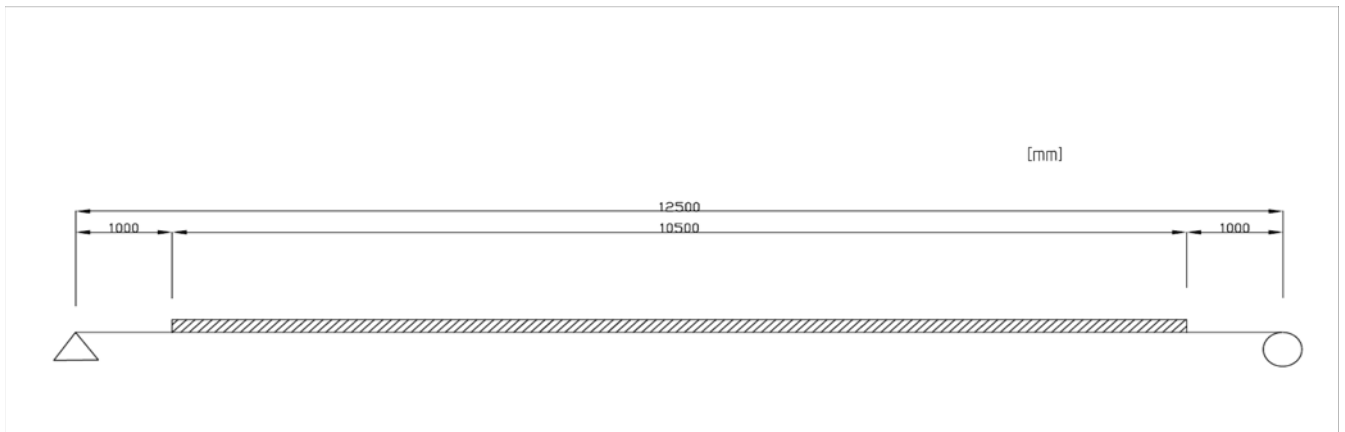
Bilaga 6 - Dimensionering tvärled och längsled

1. Geometri

Längsled



Tvärled



$L_{bro} := 60m$

$L_{tvärbalk} := 12500mm$

$L_{körbana} := 10500mm$

$L_{fack} := 6000mm$

$L_{körfält} := 3000mm$

Brospann

Bredd på tvärbalken

Bredd på körbanan

Fackstorlek längsled

Körfältsbredd

2. Materialegenskaper

Stål: HEA900, tvärsnittsklass 1

Diverse utdrag:

$$A_s := 32050 \text{ mm}^2$$

$$h_s := 890 \text{ mm}$$

$$t_{fs} := 30 \text{ mm} \quad t_{ws} := 16.0 \text{ mm}$$

$$R_s := 30 \text{ mm} \quad b_{ws} := 300 \text{ mm}$$

$$d_s := h_s - 2 \cdot t_{fs} - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot R = 0.745 \text{ m}$$

$$c_s := \frac{(b_{ws} - t_{ws})}{2} - \sqrt{2} \cdot R = 0.1 \text{ m}$$

$$W_{pl} := 10800 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad g_{k,s} := g \cdot 252 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 2.471 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hållfasthet:

$$f_{yk} := 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{s} := 77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \gamma_0 := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_0} = 308.696 \cdot \text{MPa}$$

Trä: GL36C

$$\gamma_{trä} := g \cdot 430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 4.217 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$h_{trä} := 620 \text{ mm}$$

$$g_{k,trä} := \gamma_{trä} \cdot h_{trä} \cdot L_{fack} = 15.687 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

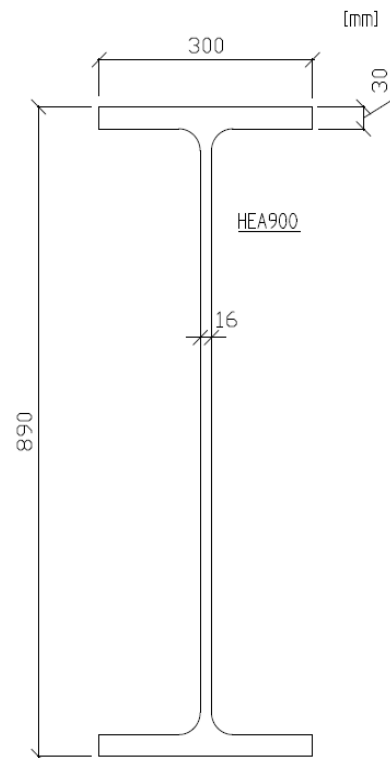
Beläggning:

$$\gamma_{bel} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$h_{bel} := (50 + 40) \text{ mm}$$

$$g_{k,räcke} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k, bel} := \gamma_{bel} \cdot h_{bel} \cdot L_{fack} = 12.42 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Tvärsnittsklasskontroll för HEA900

$$\varepsilon_s := 0.81$$

För stålclass S355

$$\frac{d_s}{t_{ws}} \leq 72\varepsilon = 1$$

Ger tvärsnittsklass 1

3. Dimensionering enligt EC1 EN1990

Brottgränstillstånd enligt EC1

$$\Sigma \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

6.10a, EN 1990. Variabla huvudlasten reduceras ytterligare.

$$\Sigma \gamma_G \cdot \xi \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

6.10b, EN 1990. Egentyngden reduceras ytterligare. Dimensionerande!

Partialkoefficienter- Brottgräns

$$\gamma_G := 1.35 \quad \gamma_Q := 1.5$$

Lastreduktionstal - Brottsgräns

$$\begin{aligned} \psi_{0,1} &:= 0.75 && \text{Axellast} \\ \psi_{0,2} &:= 0.4 && \text{Utbredd trafiklast} \\ \xi &:= 0.89 && \text{Reduktionsfaktor} \end{aligned}$$

Horisontell vindkraft på brobanan enligt EN 1991-1-4

$$h_{\text{trä}} = 620 \cdot \text{mm}$$

$$h_{\text{stål}} := 990 \text{mm}$$

$$h_{\text{frihöjd}} := 2 \text{m}$$

Frihöjden är för bilbroar 2m och gc-bro 1.5m

$$d_{\text{tot}} := h_{\text{trä}} + h_{\text{stål}} + h_{\text{frihöjd}} = 3.61 \text{ m}$$

$$\frac{L_{\text{körbana}}}{d_{\text{tot}}} = 2.909$$

$$c_{\text{fbrobana}} := \begin{cases} 2.56 - 0.311 \cdot \frac{L_{\text{körbana}}}{d_{\text{tot}}} & \text{if } 0.5 < \frac{L_{\text{körbana}}}{d_{\text{tot}}} < 5 \\ 2.4 & \text{if } \frac{L_{\text{körbana}}}{d_{\text{tot}}} \leq 0.5 \\ 1 & \text{if } \frac{L_{\text{körbana}}}{d_{\text{tot}}} \geq 5 \end{cases}$$

$$c_{\text{fbrobana}} = 1.655$$

$$A_{\text{refbrobana}} := d_{\text{tot}} \cdot L_{\text{fack}} = 21.66 \text{ m}^2$$

Data från bilaga 1:2 ifrån ber. av vindlast i EC1

$$v_b := 25 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{ger:} \quad q_p := 0.93 \cdot \text{kPa}$$

terrängtyp III

Geografiska förutsättningar ger ett karakteristisk hastighetstryck för vindlast

$$F_{\text{wbrobana}} := c_{\text{fbrobana}} \cdot q_p \cdot A_{\text{refbrobana}} = 33.347 \cdot \text{kN} \quad \text{Motsvarande vindkraft}$$

Horisontell vindkraft på pylon

$$H_{\text{pylon}} := 35 \text{m}$$

$$h_{\text{pylon}} := 2.5 \text{m}$$

$$b_{\text{pylon}} := 2 \text{m}$$

$$\frac{h_{\text{pylon}}}{b_{\text{pylon}}} = 1.25 \quad \text{ger:} \quad c_{\text{fo}} := 2.0$$

$$\psi_r := 0.5$$

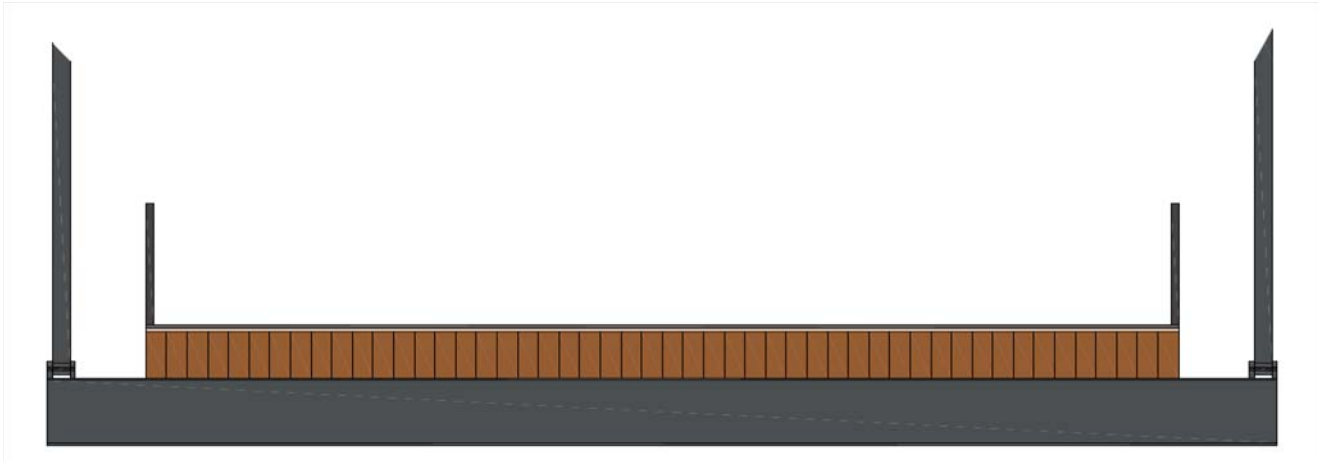
$$c_f := c_{\text{fo}} \cdot \psi_r = 1$$

$$A_{\text{ref}} := b_{\text{pylon}} \cdot H_{\text{pylon}} = 70 \text{ m}^2$$

$$F_w := c_f \cdot q_p \cdot A_{\text{ref}} = 65.1 \cdot \text{kN}$$

$$F_{w,\text{tot}} := 2 \cdot F_w = 130.2 \cdot \text{kN}$$

4. Dimensionering tvärbalk



Egentyngder

$$g_{\text{däck.d}} := \gamma_G \cdot \xi \cdot (g_{\text{k.trä}} + g_{\text{k.bel}} + g_{\text{k.räcke}}) = 34.371 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Egentyngd brodäck

$$g_{\text{s.d}} := \gamma_G \cdot \xi \cdot g_{\text{k.s}} = 2.969 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Egentyngd Tvärbalkar

Trafiklast

LM1: Beräkningar

$$w := L_{\text{körbana}} = 10.5 \text{ m}$$

Körbanans bredd

$$n_1 := \text{floor}\left(\frac{w}{3\text{m}}\right) = 3$$

Antal lastfält

$$w_1 := 3\text{m}$$

Bredd på ett lastfält

$$w_2 := w - 3\text{m} \cdot n_1 = 1.5 \text{ m}$$

Återstående ytans bredd

Karaktäristiska värden:

Boggisystem	Utbredd last	Anpassningsfaktorer		
$Q_{1k} := 300\text{kN}$	$q_{1k} := 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\alpha_{Q1} := 0.9$	$\alpha_{q1} := 0.8$	Lastfält nummer 1
$Q_{2k} := 200\text{kN}$	$q_{2k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\alpha_{Q2} := 0.9$	$\alpha_{q2} := 1.0$	Lastfält nummer 2
$Q_{3k} := 100\text{kN}$	$q_{3k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\alpha_{Q3} := 0$	$\alpha_{q3} := 1.0$	Lastfält nummer 3
$Q_{rk} := 0\text{kN}$	$q_{rk} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\alpha_{Qr} := 1$	$\alpha_{qr} := 1.0$	Resterande lastfält

Dimensionerande värden

$$TS_1 := \gamma_Q \cdot Q_{1k} \cdot \alpha_{Q1} = 405 \cdot \text{kN}$$

$$UDL_1 := \gamma_Q \cdot q_{1k} \cdot \alpha_{q1} \cdot L_{\text{fack}} = 64.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$TS_2 := \gamma_Q \cdot Q_{2k} \cdot \alpha_{Q2} = 270 \cdot \text{kN}$$

$$UDL_2 := \gamma_Q \cdot q_{2k} \cdot \alpha_{q2} \cdot L_{\text{fack}} = 22.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

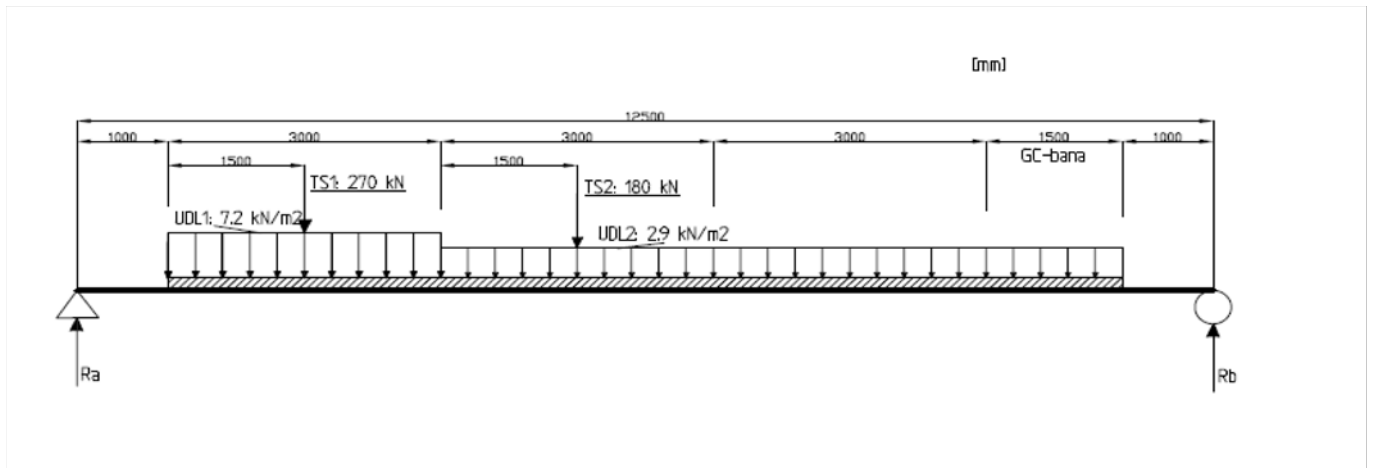
$$TS_3 := \gamma_Q \cdot Q_{3k} \cdot \alpha_{Q3} = 0 \cdot \text{kN}$$

$$UDL_3 := \gamma_Q \cdot q_{3k} \cdot \alpha_{q3} \cdot L_{\text{fack}} = 22.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$TS_r := \gamma_Q \cdot Q_{rk} \cdot \alpha_{Qr} = 0 \cdot \text{kN}$$

$$UDL_r := \gamma_Q \cdot q_{rk} \cdot \alpha_{qr} \cdot L_{\text{fack}} = 22.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lastfall 1



$$\begin{aligned}
 R_B := & \frac{\begin{aligned} & g_{s,d} \cdot L_{tvärbalk} \cdot \frac{L_{tvärbalk}}{2} \dots \\ & + g_{däck,d} \cdot L_{körbana} \cdot \left(\frac{L_{körbana}}{2} + 1000\text{mm} \right) + UDL_1 \cdot w_1 \cdot \left(\frac{w_1}{2} + 1000\text{mm} \right) \dots \\ & + UDL_2 \cdot (w_1 + w_1 + w_2) \cdot \left[\frac{(w_1 + w_1 + w_2)}{2} + 4000\text{mm} \right] + TS_1 \cdot \left(\frac{w_1}{2} + 1000\text{mm} \right) \dots \\ & + TS_2 \cdot \left(\frac{w_1}{2} + w_1 + 1000\text{mm} \right) \end{aligned}}{L_{tvärbalk}} = 542.31 \cdot \text{kN}
 \end{aligned}$$

Vertikal jämvikt:

$$\begin{aligned}
 R_A := & TS_1 + UDL_1 \cdot w_1 + TS_2 \dots = 893.85 \cdot \text{kN} \\
 & + UDL_2 \cdot (w_1 + w_1 + w_2) + g_{s,d} \cdot L_{tvärbalk} + g_{däck,d} \cdot L_{körbana} - R_B
 \end{aligned}$$

Kontroll jämvikt:

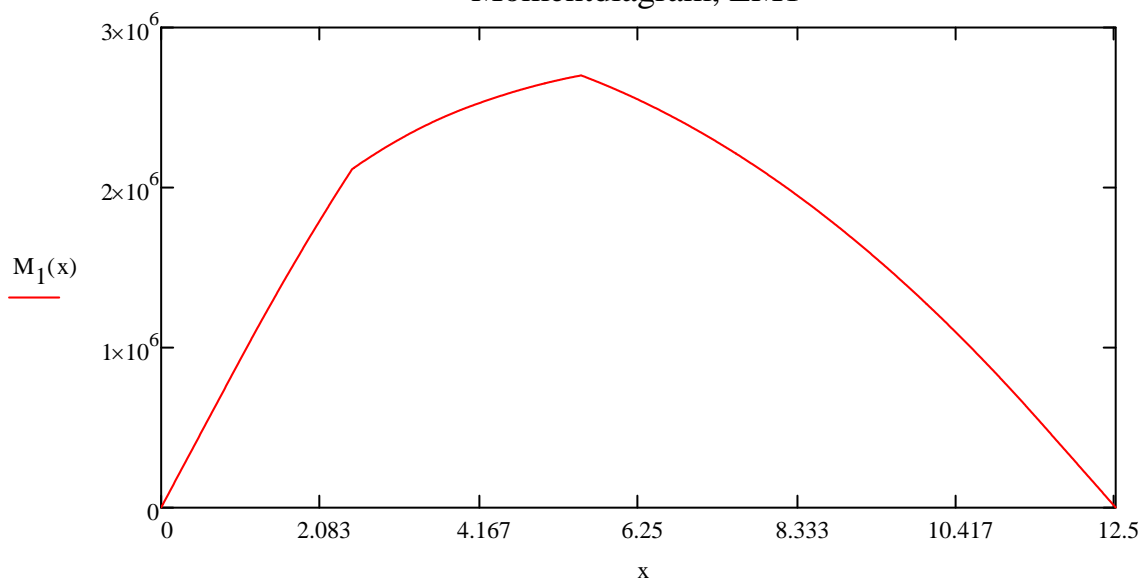
$$\begin{aligned}
 \Sigma Q := & TS_1 + TS_2 + UDL_1 \cdot w_1 + UDL_2 \cdot (w_1 + w_1 + w_2) \dots = 1.436 \times 10^3 \cdot \text{kN} \\
 & + g_{s,d} \cdot L_{tvärbalk} + g_{däck,d} \cdot L_{körbana}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma R := R_A + R_B = 1.436 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$\Sigma Q := \Sigma R \quad \text{OK!}$$

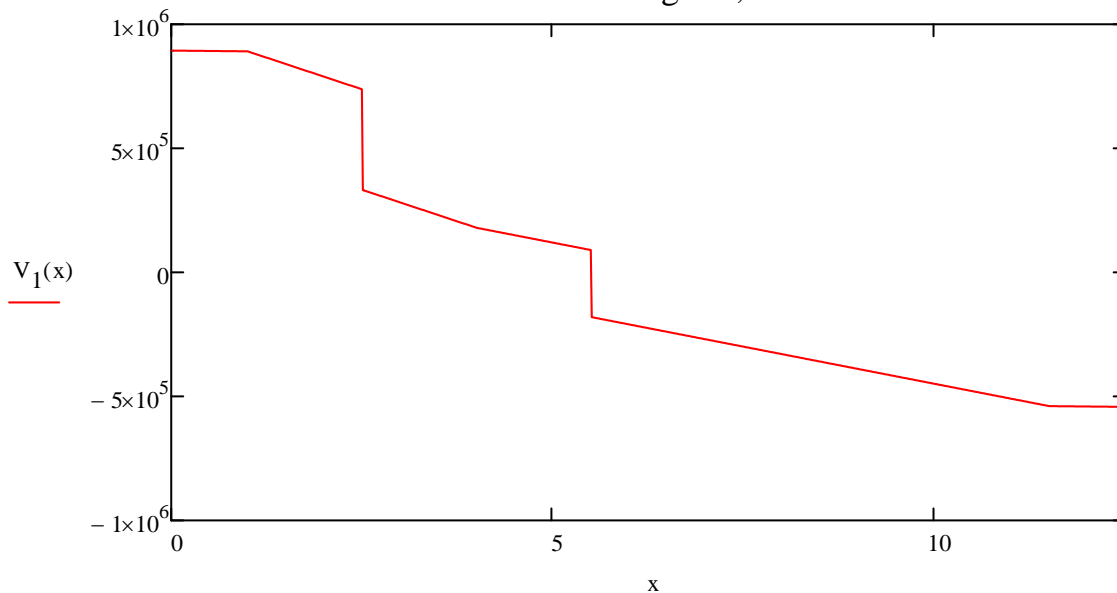
$$M_1(x) := \begin{cases} R_A \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } x < 1000\text{mm} \wedge x \geq 0 \\ \left[R_A \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} - g_{d\ddot{a}ck,d} \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \dots \right. \\ \left. + -UDL_1 \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \right] & \text{if } x < 2500\text{mm} \wedge x \geq 1000\text{mm} \\ \left[R_A \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} - g_{d\ddot{a}ck,d} \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \dots \right. \\ \left. + -UDL_1 \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} - TS_1 \cdot (x - 2500\text{mm}) \right] & \text{if } x < 4000\text{mm} \wedge x \geq 2500\text{mm} \\ \left[R_A \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} - g_{d\ddot{a}ck,d} \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \dots \right. \\ \left. + -UDL_1 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 2500\text{mm}) - TS_1 \cdot (x - 2500\text{mm}) \dots \right. \\ \left. + -UDL_2 \cdot \frac{(x - 4000\text{mm})^2}{2} \right] & \text{if } x < 5500\text{mm} \wedge x \geq 4000\text{mm} \\ \left[R_A \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} - g_{d\ddot{a}ck,d} \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \dots \right. \\ \left. + -UDL_1 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 2500\text{mm}) - TS_1 \cdot (x - 2500\text{mm}) \dots \right. \\ \left. + -UDL_2 \cdot \frac{(x - 4000\text{mm})^2}{2} - TS_2 \cdot (x - 5500\text{mm}) \right] & \text{if } x < 11500\text{mm} \wedge x \geq 5500\text{mm} \\ \left[R_A \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} \dots \right. \\ \left. + -g_{d\ddot{a}ck,d} \cdot 10500\text{mm} \cdot \left[x - \left(\frac{10500\text{mm}}{2} + 1000\text{mm} \right) \right] \dots \right. \\ \left. + -UDL_1 \cdot 3000\text{mm} \cdot \left[x - \left(\frac{3000\text{mm}}{2} + 1000\text{mm} \right) \right] \dots \right. \\ \left. + -TS_1 \cdot (x - 2500\text{mm}) \dots \right. \\ \left. + -UDL_2 \cdot 7500\text{mm} \cdot \left[x - \left(\frac{7500\text{mm}}{2} + 4000\text{mm} \right) \right] \dots \right. \\ \left. + -TS_2 \cdot (x - 5500\text{mm}) \right] & \text{if } x \leq 12500\text{mm} \wedge x \geq 11500\text{mm} \end{cases}$$

Momentdiagram, LM1

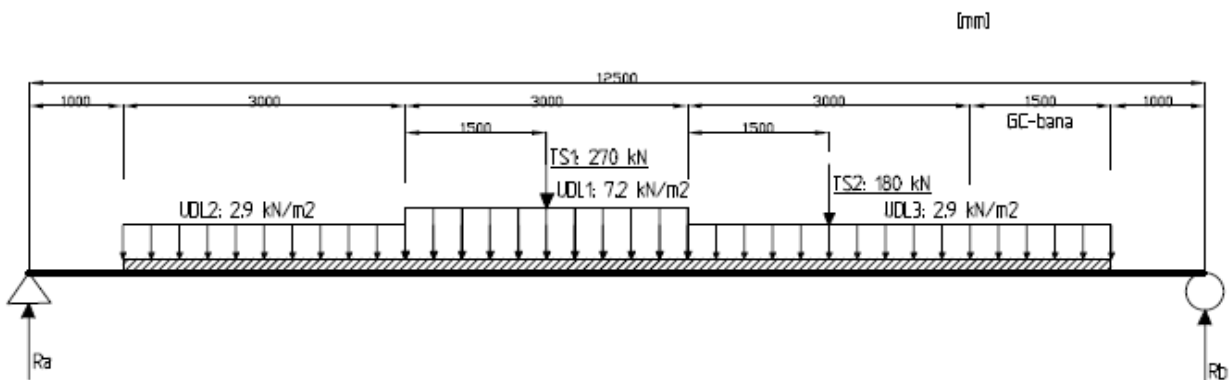


$$V_1(x) := \begin{cases} R_A - g_{s,d} \cdot x & \text{if } x < 1000\text{mm} \wedge x \geq 0 \\ \left[\begin{array}{l} R_A - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot (x - 1000\text{mm}) \dots \\ + -UDL_1 \cdot (x - 1000\text{mm}) \end{array} \right] & \text{if } x < 2500\text{mm} \wedge x \geq 1000\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_A - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot (x - 1000\text{mm}) \dots \\ + -UDL_1 \cdot (x - 1000\text{mm}) - TS_1 \end{array} \right] & \text{if } x < 4000\text{mm} \wedge x \geq 2500\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_A - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot (x - 1000\text{mm}) \dots \\ + -UDL_1 \cdot 3000\text{mm} - TS_1 - UDL_2 \cdot (x - 4000\text{mm}) \end{array} \right] & \text{if } x < 5500\text{mm} \wedge x \geq 4000\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_A - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot (x - 1000\text{mm}) \dots \\ + -UDL_1 \cdot 3000\text{mm} - TS_1 - UDL_2 \cdot (x - 4000\text{mm}) \dots \\ + -TS_2 \end{array} \right] & \text{if } x < 11500\text{mm} \wedge x \geq 5500\text{mm} \\ \left(\begin{array}{l} R_A - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot 10500\text{mm} \dots \\ + -UDL_1 \cdot 3000\text{mm} - TS_1 - UDL_2 \cdot 7500\text{mm} - TS_2 \end{array} \right) & \text{if } x \leq 12500\text{mm} \wedge x \geq 11500\text{mm} \end{cases}$$

Tvärkraftsdiagram, LM1



Lastfall 2



$$R_{B2} := \frac{\left[\begin{array}{l} TS_1 \cdot 5500\text{mm} + TS_2 \cdot 8500\text{mm} + g_{s,d} \cdot \frac{L_{\text{tvärbalk}}^2}{2} \dots \\ + g_{\text{däck},d} \cdot L_{\text{körbana}} \cdot \left(\frac{L_{\text{körbana}}}{2} + 1000\text{mm} \right) \dots \\ + UDL_1 \cdot 3000\text{mm} \cdot 5500\text{mm} + UDL_2 \cdot 3\text{m} \cdot \left(\frac{3000\text{mm}}{2} + 1000\text{mm} \right) \dots \\ + UDL_3 \cdot 4500\text{mm} \cdot \left(\frac{4500\text{mm}}{2} + 7000\text{mm} \right) \end{array} \right]}{L_{\text{tvärbalk}}} = 734.766 \cdot \text{kN}$$

Vertikal jämvikt ger Ra:

$$R_{A2} := \left(\begin{array}{l} TS_1 + TS_2 + g_{s,d} \cdot L_{\text{tvärbalk}} + g_{\text{däck},d} \cdot L_{\text{körbana}} \dots \\ + UDL_1 \cdot 3000\text{mm} + UDL_2 \cdot 7500\text{mm} - R_{B2} \end{array} \right) = 701.394 \cdot \text{kN}$$

Kontroll jämvikt:

$$\Sigma Q_2 := TS_1 + TS_2 + UDL_1 \cdot w_1 + UDL_2 \cdot (w_1 + w_1 + w_2) \dots = 1.436 \times 10^3 \cdot \text{kN} \\ + g_{s,d} \cdot L_{\text{tvärbalk}} + g_{\text{däck},d} \cdot L_{\text{körbana}}$$

$$\Sigma R_2 := R_{A2} + R_{B2} = 1.436 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$\Sigma Q_2 := \Sigma R \quad \text{OK!}$$

$$M_2(x) := \left[\begin{array}{l} R_{A2} \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} \quad \text{if } x < 1000\text{mm} \wedge x \geq 0 \\ \left[\begin{array}{l} R_{A2} \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} \dots \\ + -g_{\text{däck},d} \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \dots \\ + -UDL_2 \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \end{array} \right] \quad \text{if } x < 4000\text{mm} \wedge x \geq 1000\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_{A2} \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} \dots \\ + -g_{\text{däck},d} \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \dots \\ + -UDL_1 \cdot \frac{(x - 4000\text{mm})^2}{2} \dots \\ + -UDL_2 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 2500\text{mm}) \end{array} \right] \quad \text{if } x < 5500\text{mm} \wedge x \geq 4000\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_{A2} \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} \dots \\ + -g_{\text{däck},d} \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \dots \\ + -UDL_1 \cdot \frac{(x - 4000\text{mm})^2}{2} \dots \\ + -TS_1 \cdot (x - 5500\text{mm}) \dots \\ + -UDL_2 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 2500\text{mm}) \end{array} \right] \quad \text{if } x < 7000\text{mm} \wedge x \geq 5500\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_{A2} \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} \dots \\ + -g_{\text{däck},d} \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \dots \end{array} \right] \quad \text{if } x < 8500\text{mm} \wedge x \geq 7000\text{mm} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} & + -\text{UDL}_1 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 5500\text{mm}) \dots \\ & + -\text{UDL}_2 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 2500\text{mm}) \dots \\ & + -\text{TS}_1 \cdot (x - 5500\text{mm}) \dots \\ & + -\text{UDL}_3 \cdot \frac{(x - 7000\text{mm})^2}{2} \end{aligned}$$

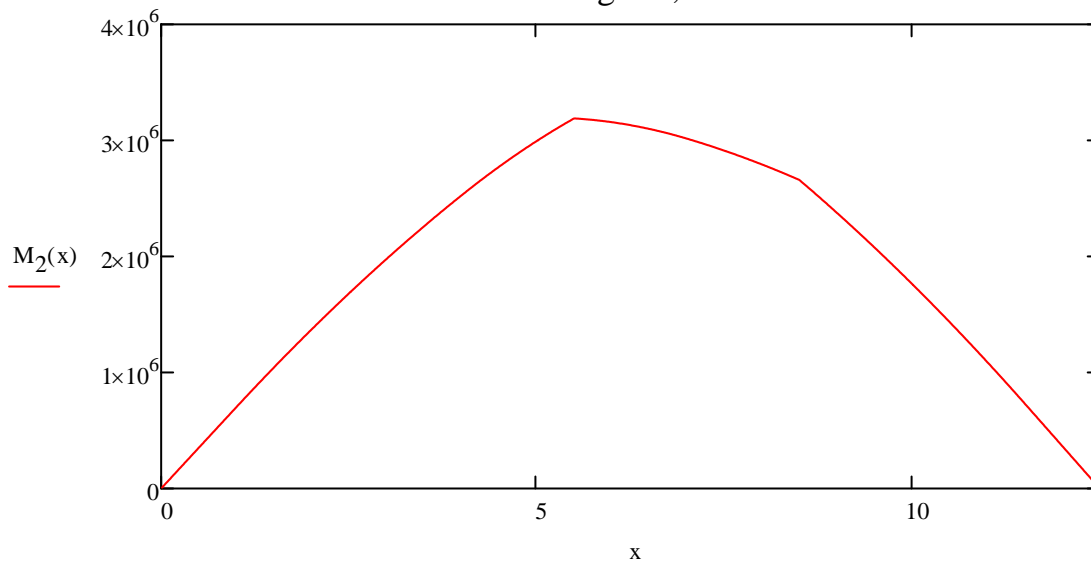
$$\begin{aligned} & R_{A2} \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} \dots \\ & + -g_{\text{däck},d} \cdot \frac{(x - 1000\text{mm})^2}{2} \dots \\ & + -\text{UDL}_1 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 5500\text{mm}) \dots \\ & + -\text{UDL}_2 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 2500\text{mm}) \dots \\ & + -\text{TS}_1 \cdot (x - 5500\text{mm}) \dots \\ & + -\text{UDL}_3 \cdot \frac{(x - 7000\text{mm})^2}{2} \dots \\ & + -\text{TS}_2 \cdot (x - 8500\text{mm}) \end{aligned}$$

if $x < 11500\text{mm} \wedge x \geq 8500\text{mm}$

$$\begin{aligned} & R_{A2} \cdot x - g_{s,d} \cdot \frac{x^2}{2} \dots \\ & + -g_{\text{däck},d} \cdot L_{\text{körbana}} \cdot \left(x - \frac{L_{\text{körbana}}}{2} - 1000\text{mm} \right) \dots \\ & + -\text{UDL}_2 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 2500\text{mm}) \dots \\ & + -\text{UDL}_1 \cdot 3000\text{mm} \cdot (x - 5500\text{mm}) \dots \\ & + -\text{TS}_1 \cdot (x - 5500\text{mm}) \dots \\ & + -\text{UDL}_3 \cdot 4500\text{mm} \cdot (x - 9250\text{mm}) \dots \\ & + -\text{TS}_2 \cdot (x - 8500\text{mm}) \end{aligned}$$

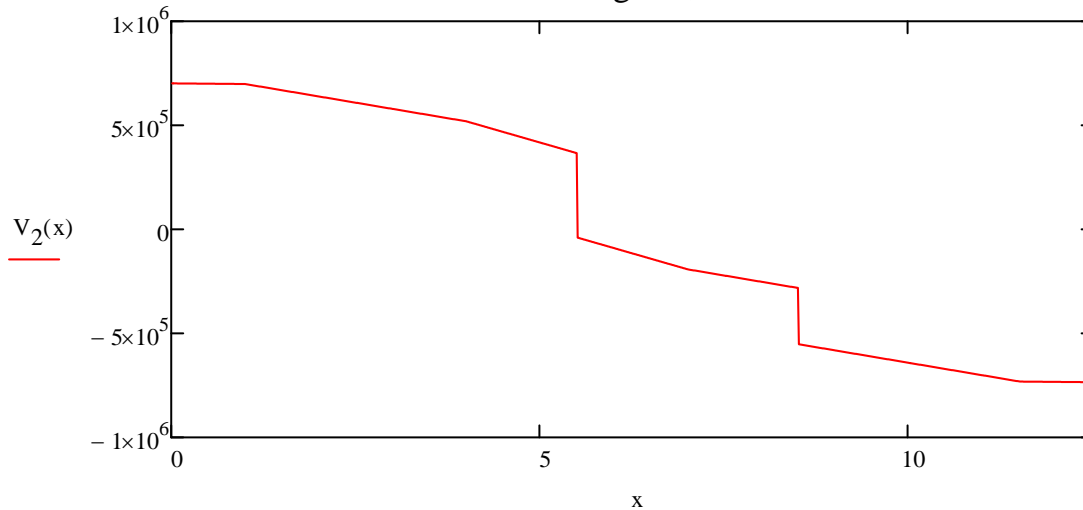
if $x \leq 12500\text{mm} \wedge x \geq 11500\text{mm}$

Momentdiagram, Lastfall 2



$$V_2(x) := \begin{cases} R_{A2} - g_{s,d} \cdot x & \text{if } x < 1000\text{mm} \wedge x \geq 0 \\ \left[\begin{array}{l} R_{A2} - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot (x - 1000\text{mm}) \dots \\ + -UDL_2 \cdot (x - 1000\text{mm}) \end{array} \right] & \text{if } x < 4000\text{mm} \wedge x \geq 1000\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_{A2} - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot (x - 1000\text{mm}) \dots \\ + -UDL_1 \cdot (x - 4000\text{mm}) - UDL_2 \cdot 3000\text{mm} \end{array} \right] & \text{if } x < 5500\text{mm} \wedge x \geq 4000\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_{A2} - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot (x - 1000\text{mm}) \dots \\ + -UDL_1 \cdot (x - 4000\text{mm}) - TS_1 - UDL_2 \cdot 3000\text{mm} \end{array} \right] & \text{if } x < 7000\text{mm} \wedge x \geq 5500\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_{A2} - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot (x - 1000\text{mm}) \dots \\ + -UDL_1 \cdot 3000\text{mm} - UDL_2 \cdot 3000\text{mm} - TS_1 \dots \\ + -UDL_3 \cdot (x - 7000\text{mm}) \end{array} \right] & \text{if } x < 8500\text{mm} \wedge x \geq 7000\text{mm} \\ \left[\begin{array}{l} R_{A2} - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot (x - 1000\text{mm}) \dots \\ + -UDL_1 \cdot 3000\text{mm} - UDL_2 \cdot 3000\text{mm} - TS_1 \dots \\ + -UDL_3 \cdot (x - 7000\text{mm}) - TS_2 \end{array} \right] & \text{if } x < 11500\text{mm} \wedge x \geq 8500\text{mm} \\ \left(\begin{array}{l} R_{A2} - g_{s,d} \cdot x - g_{däck,d} \cdot L_{körbana} \dots \\ + -UDL_2 \cdot 3000\text{mm} - UDL_1 \cdot 3000\text{mm} \dots \\ + -TS_1 - UDL_3 \cdot 4500\text{mm} - TS_2 \end{array} \right) & \text{if } x \leq 12500\text{mm} \wedge x \geq 11500\text{mm} \end{cases}$$

Tvärkraftsdiagram, Lastfall 2



Dimensionerande värden

$$V_1(0) = 893.85 \cdot \text{kN}$$

$$V_1(12.5\text{m}) = -542.31 \cdot \text{kN}$$

$$V_2(0) = 701.394 \cdot \text{kN}$$

$$V_2(12.5\text{m}) = -734.766 \cdot \text{kN}$$

$$V_{\max} := V_1(0) = 893.85 \cdot \text{kN}$$

$$M_1(5\text{m}) = 2.647 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2(5\text{m}) = 2.994 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\max} := M_2(5\text{m}) = 2.994 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Kontroll av stålbalk

Momentkapacitet:

$$M_{b.Rd} := f_{yd} \cdot W_{pl} = 3.334 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{b.Rd} > M_{\max} = 1 \quad \text{OK!}$$

$$\frac{M_{\max}}{M_{b.Rd}} = 0.898 \quad \text{OK!}$$

$$f_{yd} = 3.087 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$W_{pl} = 10.8 \text{ L}$$

Kontroll för skjuvbuckling

$$h_w := h_s - 2 \cdot t_{fs} - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot R = 0.745 \text{ m}$$

$$\eta := 1.2 \quad \varepsilon := \sqrt{\frac{f_{yd}}{275 \text{ MPa}}} = 1.059 \quad \kappa_T := 5.34$$

$$\frac{h_w}{t_{fs}} < 31 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} \cdot \sqrt{\kappa_T} = 1 \quad \text{OK}$$

Tvärkapacitet:

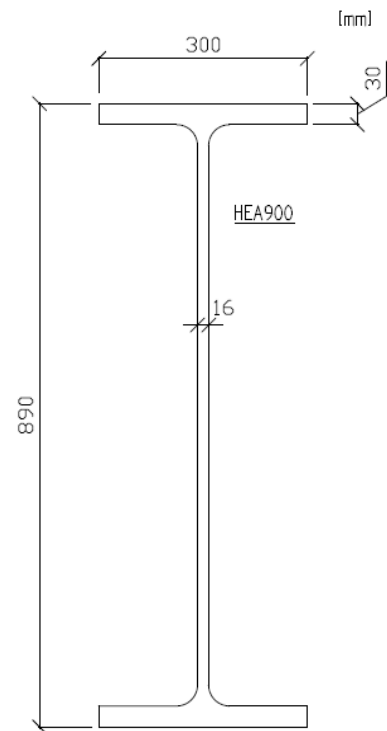
$$A_v := \eta \cdot h_w \cdot t_{ws} = 0.014 \text{ m}^2 \quad \gamma_{M0} := 1$$

$$V_{pl.Rd} := A_v \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = 2.932 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$V_{pl.Rd} > |V_{\max}| = 1 \quad \text{OK}$$

Interaktionskontroll

$$V_{pl.Rd} > 2 \cdot |V_{\max}| = 1 \quad \text{OK} \quad \frac{V_{\max}}{V_{pl.Rd}} = 0.305$$



5. Dimensionering träfarbana

Dimensionerande laster brottsgränstillstånd enligt 6.10b. Trafiklast huvudlast.

Egentyngder Från dimensionering tvärlad

$$g_{\text{däck.d.längs}} := g_{\text{däck.d}} \cdot \frac{L_{\text{körbana}}}{L_{\text{fack}}} = 60.149 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Laster räknas om från tvärlad till längsled}$$

$$g_{\text{s.d.längs}} := g_{\text{s.d}} \cdot L_{\text{tvärbalk}} = 37.115 \cdot \text{kN}$$

Trafiklast Från dimensionering tvärlad

$$q := \frac{\text{UDL}_1 \cdot w_1 + \text{UDL}_2 \cdot w_1 + \text{UDL}_3 \cdot w_1 + \text{UDL}_r \cdot w_2}{L_{\text{körfält}}} = 121.05 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P := \text{TS}_1 + \text{TS}_2 + \text{TS}_3 + \text{TS}_r = 675 \cdot \text{kN}$$

Bromskraft SS-EN 1991-2 Kap 4.4.1

$$L_1 := 1.2\text{m} \quad w_r := 1.2\text{m}$$

$$Q_{1b} := 0.6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot (2Q_{1k}) + 0.10 \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L_1 = 3.266 \times 10^5 \text{N} \quad \text{Körfält 1}$$

$$Q_{2b} := 0.6 \cdot \alpha_{Q2} \cdot (2Q_{2k}) + 0.10 \alpha_{q2} \cdot q_{2k} \cdot w_1 \cdot L_1 = 2.169 \times 10^5 \text{N} \quad \text{Körfält 2}$$

$$Q_{3b} := 0.6 \cdot \alpha_{Q3} \cdot (2Q_{3k}) + 0.10 \alpha_{q3} \cdot q_{3k} \cdot w_1 \cdot L_1 \quad \text{Körfält 3}$$

$$Q_{rb} := 0.6 \cdot \alpha_{Qr} \cdot (2Q_{rk}) + 0.10 \alpha_{qr} \cdot q_{rk} \cdot w_r \cdot L_1 \quad \text{Resterande körfält}$$

$$Q_{\text{tot}} := Q_{1b} + Q_{2b} + Q_{3b} + Q_{rb} = 544.752 \cdot \text{kN}$$

Dimensionerande värden från matlab-beräkningar, bilaga 5

Lastfall 1: Utbredd trafiklast (UDL) i alla fack och Punktlast (TS) i fack JK samt Bromskraft

Lastfall 2: Utbredd trafiklast (UDL) i fack IJ, JK, KL och Punktlast (TS) i fack JK samt Bromskraft

Lastfall 3: Utbredd last i alla fack och Punktlast i fack FG samt Bromskraft

$M_{\text{Ed.LF1}} := 3515 \text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{\text{Ed.LF2}} := 3841 \text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{\text{Ed.LF3}} := 2154 \text{kN}\cdot\text{m}$	Moment
$V_{\text{Ed.LF1}} := 1448 \text{kN}$	$V_{\text{Ed.LF2}} := 1371 \text{kN}$	$V_{\text{Ed.LF3}} := 1265 \text{kN}$	Tvärfkraft
$N_{\text{Ed.LF1}} := 9695 \text{kN}$	$N_{\text{Ed.LF2}} := 6433 \text{kN}$	$N_{\text{Ed.LF3}} := 9287 \text{kN}$	Normalkraft
$w_{\text{LF1}} := 59.8 \text{mm}$	$w_{\text{LF2}} := 47.7 \text{mm}$	$w_{\text{LF3}} := 60.5 \text{mm}$	Nedböjning

$$M_{\text{Ed}} := \max(M_{\text{Ed.LF1}}, M_{\text{Ed.LF2}}, M_{\text{Ed.LF3}}) = 3.841 \times 10^3 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{\text{Ed}} := \max(V_{\text{Ed.LF1}}, V_{\text{Ed.LF2}}, V_{\text{Ed.LF3}}) = 1.448 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$N_{\text{Ed}} := \max(N_{\text{Ed.LF1}}, N_{\text{Ed.LF2}}, N_{\text{Ed.LF3}}) = 9.695 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$w_{\text{max}} := \max(w_{\text{LF1}}, w_{\text{LF2}}, w_{\text{LF3}}) = 60.5 \cdot \text{mm}$$

Kontroll nedböjning

$$w_{\text{till}} := \frac{L_{\text{bro}}}{400} = 150 \cdot \text{mm} \quad (\text{SS-EN 1995-2 Tabell 7.1})$$

$$w_{\text{max}} < w_{\text{till}} = 1 \quad \text{Ok!} \quad \text{Nedböjningen ok i brottsgräns -> bruksgräns ok!}$$

Kapacitet träfarbana

Kontroll av tvärsnittet för träfarbanan

Indata trätyp GL36c

$$\begin{aligned} f_{\text{mk}} &:= 36 \cdot \text{MPa} & f_{\text{tk}} &:= 22.5 \cdot \text{MPa} & f_{\text{ck}} &:= 26.5 \cdot \text{MPa} \\ E_{\text{mean}} &:= 14700 \cdot \text{MPa} & E_{0.05} &:= 11900 \cdot \text{MPa} & f_{\text{c.90.k}} &:= 3.3 \cdot \text{MPa} \\ h_{\text{trä}} &:= 620 \cdot \text{mm} & b_{\text{trä}} &:= 10.5 \text{m} & & \\ \gamma_{\text{M}} &:= 1.25 & & & A_{\text{trä}} &:= b_{\text{trä}} \cdot h_{\text{trä}} = 6.51 \text{m}^2 \end{aligned}$$

Limträ >600 mm

$$k_{\text{h}} := \min \left[\left(\frac{600 \text{mm}}{h_{\text{trä}}} \right)^{0.1}, 1.1 \right] = 0.997$$

Klimatklass 2 antas då de bärande delarna är fuktskyddade (Svenskt trä, 2014c)

$$\begin{aligned} k_{\text{mod.perm}} &:= 0.60 & k_{\text{def}} &:= 0.8 \\ k_{\text{mod.lång}} &:= 0.70 & k_{\text{m}} &:= 0.7 \\ k_{\text{mod.medel}} &:= 0.80 & k_{\text{mod.kort}} &:= 0.9 \end{aligned}$$

$$f_{\text{d}} = k_{\text{mod}} \cdot f_{\text{k}} \cdot \frac{k_{\text{h}}}{\gamma_{\text{M}}}$$

$$f_{\text{m.y.d.perm}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{mk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.perm}}}{\gamma_{\text{M}}} = 17.223 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{m.y.d.lång}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{mk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.lång}}}{\gamma_{\text{M}}} = 20.094 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{m.y.d.medel}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{mk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.medel}}}{\gamma_{\text{M}}} = 22.965 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{m.y.d.kort}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{mk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.kort}}}{\gamma_{\text{M}}} = 25.835 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{m.z.d.perm}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{mk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.perm}}}{\gamma_{\text{M}}} = 17.223 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{m.z.d.lång}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{mk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.lång}}}{\gamma_{\text{M}}} = 20.094 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{m.z.d.medel}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{mk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.medel}}}{\gamma_{\text{M}}} = 22.965 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{m.z.d.kort}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{mk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.kort}}}{\gamma_{\text{M}}} = 25.835 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{t.0.d.perm}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{tk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.perm}}}{\gamma_{\text{M}}} = 10.765 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{t.0.d.lång}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{tk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.lång}}}{\gamma_{\text{M}}} = 12.559 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{t.0.d.medel}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{tk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.medel}}}{\gamma_{\text{M}}} = 14.353 \cdot \text{MPa}$$

Dimensionerande laster

$$M_{\text{Ed}} = 3.841 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad M_{\text{max.y}} := 0 \text{kN}$$

$$V_{\text{Ed}} = 1.448 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$N_{\text{Ed}} = 9.695 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Momentkapacitet

$$I_{\text{trä}} := b_{\text{trä}} \cdot \frac{h_{\text{trä}}^3}{12} = 0.209 \text{ m}^4$$

$$z := \frac{h_{\text{trä}}}{2} = 0.31 \text{ m}$$

$$W_{\text{trä}} := \frac{I_{\text{trä}}}{z} = 0.673 \cdot \text{m}^3$$

$$W_{\text{trä}} \cdot f_{\text{m.z.d.kort}} = 1.738 \times 10^4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed}} < W_{\text{trä}} \cdot f_{\text{m.z.d.perm}} = 1$$

$$W_{\text{trä}} \cdot f_{\text{m.z.d.perm}} = 1.159 \times 10^4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Samtidig böjning och axiell dragning

$$\sigma_{\text{t.0.d}} := \frac{N_{\text{Ed}}}{A_{\text{trä}}} = 1.489 \times 10^3 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_{\text{m.y.d}} := M_{\text{max.y}} \cdot \frac{z}{I_{\text{trä}}} = 0$$

$$\sigma_{\text{m.z.d}} := \frac{M_{\text{Ed}} \cdot z}{I_{\text{trä}}} = 5.71 \times 10^3 \cdot \text{kPa}$$

$$\frac{\sigma_{\text{t.0.d}}}{f_{\text{t.0.d.perm}}} + \frac{\sigma_{\text{m.y.d}}}{f_{\text{m.y.d.perm}}} + k_{\text{m}} \cdot \frac{\sigma_{\text{m.z.d}}}{f_{\text{m.z.d.perm}}} \leq 1 = 1 \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\sigma_{\text{t.0.d}}}{f_{\text{t.0.d.perm}}} + k_{\text{m}} \frac{\sigma_{\text{m.y.d}}}{f_{\text{m.y.d.perm}}} + \frac{\sigma_{\text{m.z.d}}}{f_{\text{m.z.d.perm}}} \leq 1 = 1 \quad \text{OK!}$$

Utnyttjandegrad

$$\left(\frac{\sigma_{\text{t.0.d}}}{f_{\text{t.0.d.perm}}} + \frac{\sigma_{\text{m.y.d}}}{f_{\text{m.y.d.perm}}} + k_{\text{m}} \cdot \frac{\sigma_{\text{m.z.d}}}{f_{\text{m.z.d.perm}}} \right) = 37.041 \cdot \%$$

$$\left(\frac{\sigma_{\text{t.0.d}}}{f_{\text{t.0.d.perm}}} + k_{\text{m}} \frac{\sigma_{\text{m.y.d}}}{f_{\text{m.y.d.perm}}} + \frac{\sigma_{\text{m.z.d}}}{f_{\text{m.z.d.perm}}} \right) = 46.986 \cdot \%$$

Tryckkraftskapacitet

$l := 300 \text{ mm}$ bredd på stålbalcken

$a := 0 \text{ mm}$

$l_1 := 10 \text{ m}$

$b := 10.5 \text{ m}$

$$F_{\text{c.90.d}} := V_{\text{Ed}}$$

$$l_{\text{ef}} := l + 30 \text{ mm} + 30 \text{ mm} = 0.36 \text{ m}$$

$$A_{\text{ef}} := b \cdot l_{\text{ef}} = 3.78 \text{ m}^2$$

$$k_{\text{c.90}} := 1.75$$

$$\sigma_{\text{c.90.d}} := \frac{F_{\text{c.90.d}}}{A_{\text{ef}}} = 383.069 \cdot \text{kPa}$$

$$f_{\text{c.90.d.perm}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{tk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.perm}}}{\gamma_{\text{M}}} = 10.765 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{c.90.d.lång}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{tk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.lång}}}{\gamma_{\text{M}}} = 12.559 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{c.90.d.medel}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{tk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.medel}}}{\gamma_{\text{M}}} = 14.353 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{c.90.d.kort}} := k_{\text{h}} \cdot f_{\text{tk}} \cdot \frac{k_{\text{mod.kort}}}{\gamma_{\text{M}}} = 16.147 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{c.90.d}} \leq k_{\text{c.90}} \cdot f_{\text{c.90.d.perm}} = 1 \quad \text{OK!}$$

$$k_{\text{c.90}} \cdot f_{\text{c.90.d.kort}} = 28.257 \cdot \text{MPa}$$

Kontroll upplagstryck

$$k_{\text{c.90}} \cdot f_{\text{c.90.d.kort}} \cdot A_{\text{ef}} = 106.812 \cdot \text{MN} \quad \text{OK!} \quad \text{Inga reaktionskrafter överstiger detta.}$$

6. Förspänning träfarbana

Samtliga beräkningar enligt Pousette, 2007.

Indata

$$b_{\text{träbana}} := 10500\text{mm} \quad C_B := 0.85 \quad \text{Skarvfaktor 1 på 5}$$

$$t_{\text{träbana}} := 215\text{mm} \quad \text{Bro med två körfält}$$

$$L_{\text{träbana}} := L_{\text{fack}} = 6\text{ m}$$

$$E_0 := 14700\text{MPa}$$

$$E_{90} := 0.013 \cdot E_0 = 191.1 \cdot \text{MPa} \quad \text{Tvärmodulerna baseras på plattans funktion och ska ej förväxlas med värden för trä (Pousette, 2007).}$$

$$G_0 := 850\text{MPa}$$

$$G_{90} := 0.03 \cdot E_0 = 441 \cdot \text{MPa}$$

Hjullastens fördelning i tvärlid

$$\alpha := \frac{2 \cdot G_{90}}{\sqrt{C_B \cdot E_0 \cdot E_{90}}} = 0.571$$

$$\Theta := \left[\left(C_B \cdot \frac{E_0}{E_{90}} \right)^{0.25} \right] \cdot \frac{b_{\text{träbana}}}{2L_{\text{träbana}}} = 2.488$$

Detta ger enligt Figur 8.14 lastfördelningsbredden $D_w := 1200\text{mm}$

Erforderlig förspänning

Tvärböjmomentet erhålls från diagram 8.17

$$M_T := 1500\text{N}$$

$$\beta := 12.8 \cdot \sqrt{C_B} \cdot \frac{b_{\text{träbana}}}{L_{\text{träbana}}} = 20.652$$

$$V_T := 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad \text{Figur 8.18}$$

Förspänningen

$$\mu := 0.45$$

$$\sigma_f := \max \left(1.5 \cdot \frac{V_T}{t_{\text{träbana}} \cdot \mu}, 6 \cdot \frac{M_T}{t_{\text{träbana}}^2}, 0.28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) = 310.078 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_{f,i} := 2.5 \cdot \sigma_f = 775.194 \cdot \text{kPa} \quad \text{förspänning m.h.t 60\% spänningsförlust}$$

Enligt Eurocode EN 1995-2 ska :

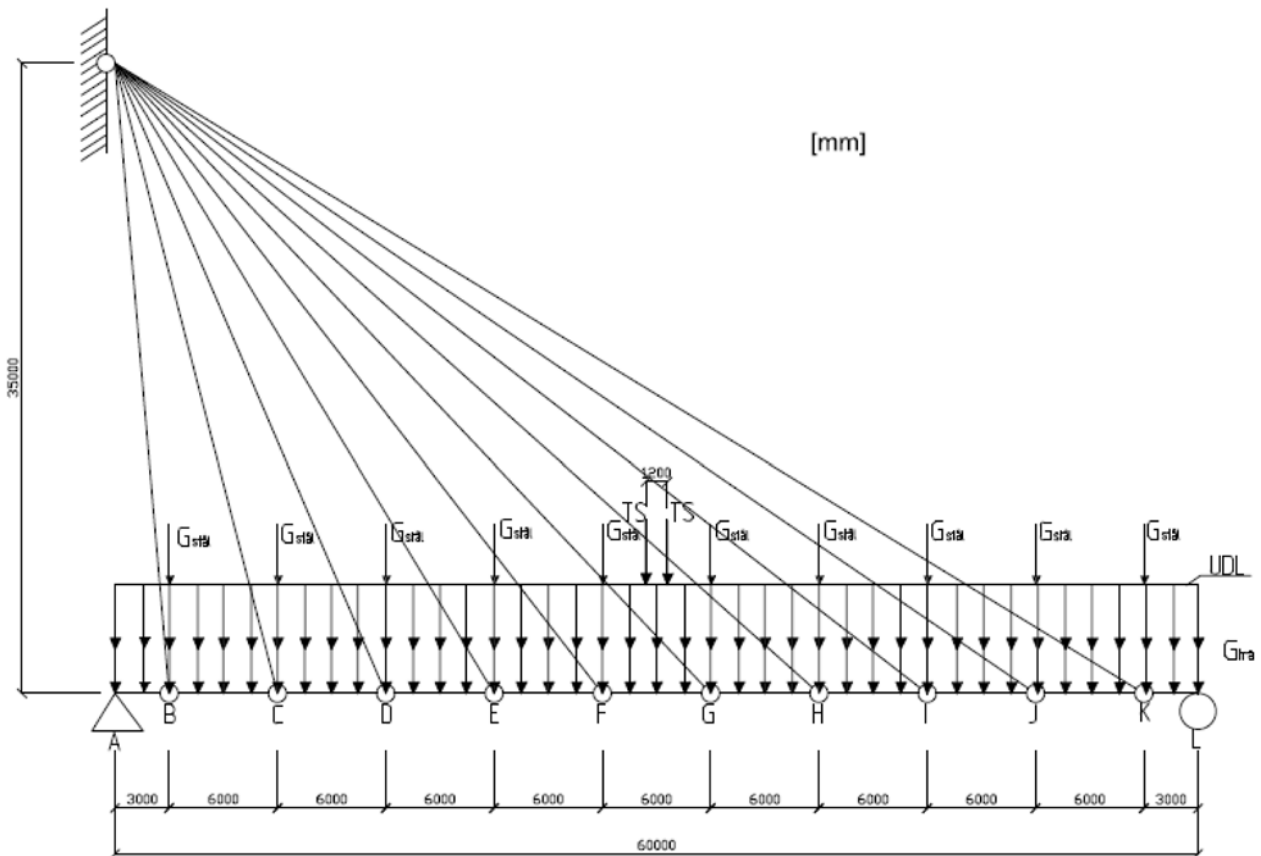
$$\sigma_{f,i,\text{min}} := 1\text{MPa}$$

$$\sigma_{p,\text{min}} := 0.35\text{MPa}$$

fuktkvoten är max 16%

Förspänningen sätts till 1 MPa!

Lastfall 3 då kabel 6 byts ut



Kablar till vänster (1 till 8)

Indata från Bridon

LC 100

$$M_{\text{kabel}} := 56.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$A_{\text{kabel}} := 6990 \text{mm}^2$$

$$F_{Rd} := 6121 \text{kN}$$

$$EA_{\text{kabel}} := 1151 \text{MN}$$

Största reaktionskraft från Bilaga 5.

$$R_D := 1419 \text{kN}$$

Kraft från egenvikt av kabel

$$x_{\text{kabel}} := 33 \text{m}$$

x-koordinat för kabel

$$y_{\text{kabel}} := 33.75 \text{m}$$

y-koordinat för kabel

$$\theta_{\text{kabel}} := \text{atan} \left(\frac{y_{\text{kabel}}}{x_{\text{kabel}}} \right) = 45.644 \text{ deg}$$

vinkel mellan kabel och bro

$$L_{\text{kabel}} := \sqrt{x_{\text{kabel}}^2 + y_{\text{kabel}}^2} = 47.202 \text{ m}$$

Längd av kabel

$$G_{\text{kabel}} := M_{\text{kabel}} \cdot L_{\text{kabel}} \cdot g = 26.015 \text{ kN}$$

Egentyngd för kabel

$$F_G := \frac{G_{\text{kabel}}}{\sin(\theta_{\text{kabel}})} = 36.384 \cdot \text{kN}$$

Kraft i kabelns riktning

Kraft från temperaturutvidgning

$$\sigma_T := 16 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{C}}$$

$$T_{\text{max}} := 34 \text{C}$$

$$T_{\text{min}} := -30 \text{C}$$

$$\Delta T := T_{\text{max}} - T_{\text{min}} = 64 \text{C}$$

$$\varepsilon := \Delta T \cdot \sigma_T = 1.024 \times 10^{-3}$$

$$F_T := EA_{\text{kabel}} \cdot \varepsilon = 1.179 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kraftsummering

$$F_D := R_D + F_G + F_T = 2.634 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kontroll

$$\text{Kapacitet} := \frac{F_D}{F_{Rd}} = 0.43 \quad \text{OK!}$$

Kablar längst ut till höger (9 och 10)

Indata från Bridon

LC 180

$$M_{\text{kabel}} := 184 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$A_{\text{kabel}} := 22900 \text{mm}^2$$

$$F_{Rd} := 18788 \text{kN}$$

$$EA_{\text{kabel}} := 3780 \text{MN}$$

Största reaktionskraft från Bilaga 5.

$$R_{D_i} := \frac{2458 \text{kN}}{2} = 1.229 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kraft från egenvikt av kabel

$$x_{\text{kabel}} := 51 \text{m}$$

x-koordinat för kabel

$$y_{\text{kabel}} := 32.5 \text{m}$$

y-koordinat för kabel

$$\theta_{\text{kabel}} := \text{atan}\left(\frac{y_{\text{kabel}}}{x_{\text{kabel}}}\right) = 32.508 \cdot \text{deg}$$

vinkel mellan kabel och bro

$$L_{\text{kabel}} := \sqrt{x_{\text{kabel}}^2 + y_{\text{kabel}}^2} = 60.475 \text{m}$$

Längd av kabel

$$G_{\text{kabel}} := M_{\text{kabel}} \cdot L_{\text{kabel}} \cdot g = 109.123 \cdot \text{kN}$$

Egentyngd för kabel

$$F_{Gv} := \frac{G_{\text{kabel}}}{\sin(\theta_{\text{kabel}})} = 203.053 \cdot \text{kN}$$

Kraft i kabelns riktning

Kraft från temperaturutvidgning

$$\sigma_T := 16 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{C}}$$

$$\Delta T = 64 \text{C}$$

$$\varepsilon := \Delta T \cdot \sigma_T = 1.024 \times 10^{-3}$$

$$F_T := EA_{\text{kabel}} \cdot \varepsilon = 3.871 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

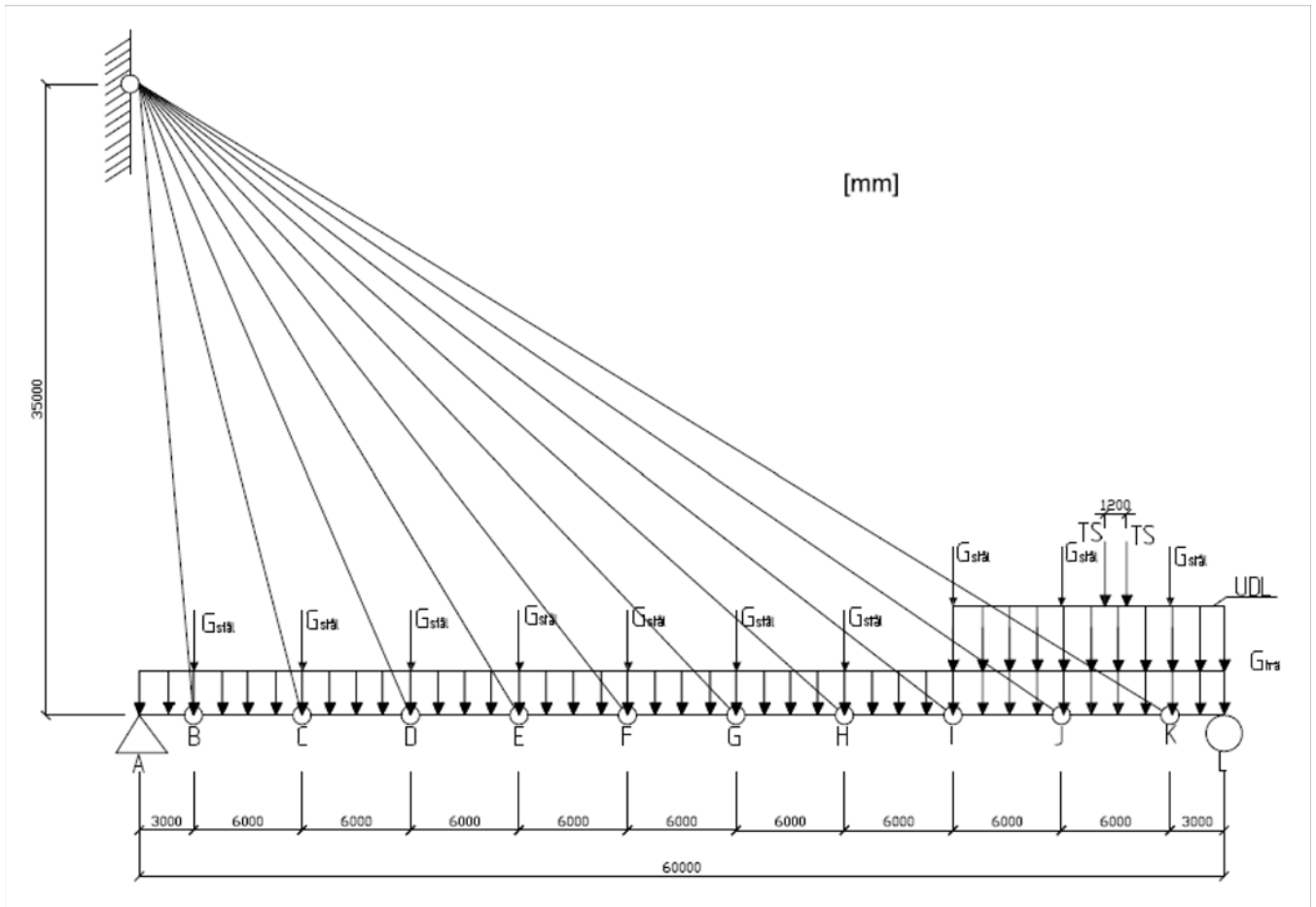
Kraftsummering

$$F_D := R_D + F_G + F_T = 5.303 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kontroll

$$\text{Kapacitet} := \frac{F_D}{F_{Rd}} = 0.282 \quad \text{OK!}$$

Lastfall 2 då kabel näst längst till höger byts ut (Kabel 9)



Kablar till vänster

Indata från Bridon

LC 100

$$M_{\text{kabel}} := 56.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$A_{\text{kabel}} := 6990 \text{mm}^2$$

$$F_{Rd} := 6121 \text{kN}$$

$$EA_{\text{kabel}} := 1151 \text{MN}$$

Största reaktionskraft från Bilaga 5.

$$R_D := \frac{1408}{2} \text{kN} = 7.04 \times 10^5 \text{N}$$

Kraft från egenvikt av kabel

$$x_{\text{kabel}} := 55\text{m}$$

x-koordinat för kabel

$$y_{\text{kabel}} := 34.25\text{m}$$

y-koordinat för kabel

$$\theta_{\text{kabel}} := \text{atan}\left(\frac{y_{\text{kabel}}}{x_{\text{kabel}}}\right) = 31.912\text{-deg}$$

vinkel mellan kabel och bro

$$L_{\text{kabel}} := \sqrt{x_{\text{kabel}}^2 + y_{\text{kabel}}^2} = 64.792\text{m}$$

Längd av kabel

$$G_{\text{kabel}} := M_{\text{kabel}} \cdot L_{\text{kabel}} \cdot g = 35.709\text{-kN}$$

Egentyngd för kabel

$$F_G := \frac{G_{\text{kabel}}}{\sin(\theta_{\text{kabel}})} = 67.553\text{-kN}$$

Kraft i kabelns riktning

Kraft från temperaturutvidgning

$$\sigma_T := 16 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{C}}$$

$$\Delta T = 64\text{C}$$

$$\varepsilon := \Delta T \cdot \sigma_T = 1.024 \times 10^{-3}$$

$$F_T := EA_{\text{kabel}} \cdot \varepsilon = 1.179 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kraftsummering

$$F_D := R_D + F_G + F_T = 1.95 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kontroll

$$\text{Kapacitet} := \frac{F_D}{F_{Rd}} = 0.319 \quad \text{OK!}$$

Kablar längst ut till höger

Indata från Bridon LC 180

$$M_{\text{kabel}} := 184 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$A_{\text{kabel}} := 22900\text{mm}^2$$

$$F_{Rd} := 18788\text{kN}$$

$$EA_{\text{kabel}} := 3780\text{MN}$$

Största reaktionskraft från Bilaga 5.

$$R_D := 2306\text{kN}$$

Kraft från egenvikt av kabel

$$x_{\text{kabel}} := 51\text{m}$$

x-koordinat för kabel

$$y_{\text{kabel}} := 32.5\text{m}$$

y-koordinat för kabel

$$\theta_{\text{kabel}} := \text{atan}\left(\frac{y_{\text{kabel}}}{x_{\text{kabel}}}\right) = 32.508\text{-deg}$$

vinkel mellan kabel och bro

$$L_{\text{kabel}} := \sqrt{x_{\text{kabel}}^2 + y_{\text{kabel}}^2} = 60.475\text{m}$$

Längd av kabel

$$G_{\text{kabel}} := M_{\text{kabel}} \cdot L_{\text{kabel}} \cdot g = 109.123\text{-kN}$$

Egentyngd för kabel

$$F_G := \frac{G_{\text{kabel}}}{\sin(\theta_{\text{kabel}})} = 203.053\text{-kN}$$

Kraft i kabelns riktning

Kraft från temperaturutvidgning

$$\underline{\underline{\sigma_T}} := 16 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{C}$$

$$\Delta T = 64 C$$

$$\underline{\underline{\varepsilon}} := \Delta T \cdot \sigma_T = 1.024 \times 10^{-3}$$

$$\underline{\underline{F_T}} := EA_{\text{kabel}} \cdot \varepsilon = 3.871 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kraftsummering

$$\underline{\underline{F_D}} := R_D + F_G + F_T = 6.38 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kontroll

$$\underline{\underline{\text{Kapazitet}}} := \frac{F_D}{F_{Rd}} = 0.34 \quad \text{OK!}$$

Lasteffekt

Maximal normalkraft 1st kabel, Från CALFEM-beräkningar.
Dimensionerande värde från lastfall 1. Bilaga 5.

$$N_{Ed} := 1795 \text{ kN}$$

Kontroll skjuvbrott enligt SS-EN 1993-1-8:2005 Tabell 3.4

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_v := 0.6 \quad (\text{Skjuvplanen går genom den ogångade delen av skruven})$$

$$n_{skär} := 2$$

$$F_{v,Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_{pin}}{\gamma_{M2}} \cdot n_{skär} = 1.885 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$F_{v,Rd} \geq N_{Ed} = 1 \quad \text{OK!}$$

Kontroll av hålkantbrott enligt EN 1993-1-8:2005/AC:2009

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0\right)$$

$$\alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$$

I kraftriktningen. För skruvar vid ände.

$$k_1 := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 1.696$$

Vinkelrätt kraftriktningen.

$$\alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0\right) = 0.404$$

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_{pin} \cdot t}{\gamma_{M2}} = 1.818 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$F_{b,Rd} \geq N_{Ed} = 1 \quad \text{OK!}$$

9. Kontroll av källsvetsar

Indata

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$a_{\text{svets}} := 13 \text{ mm} \quad a - \text{mått}$$

$$L_{\text{svets}} := 300 \text{ mm}$$

$$\alpha := 34 \text{ deg} \quad \text{Kraftriktning}$$

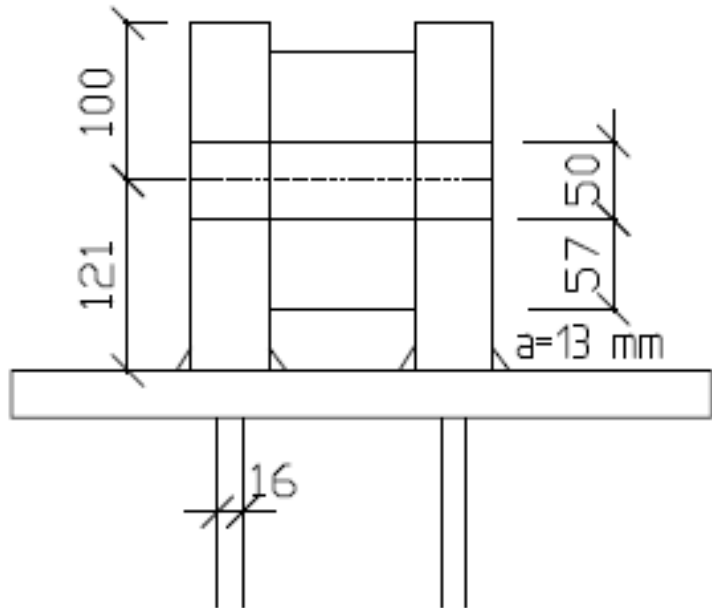
$$h_{\text{kraft}} := 121 \text{ mm} \quad \text{Kraftexcentrisitet}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$P := 1186 \text{ kN}$$

$$P_y := \sin(\alpha) \cdot P = 663.203 \cdot \text{kN}$$

$$P_x := \cos(\alpha) \cdot P = 983.239 \cdot \text{kN}$$



Beräkningar

$$W_{\text{svets}} := a_{\text{svets}} \cdot \frac{L_{\text{svets}}^2}{6} = 1.95 \times 10^{-4} \cdot \text{m}^3$$

$$M := h_{\text{kraft}} \cdot P_x = 118.972 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\tau_{\text{paralell}} := \frac{P_x}{2 \cdot 2 \cdot a_{\text{svets}} \cdot L_{\text{svets}}} = 6.303 \times 10^4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{\text{vinkelrät}} := \frac{P_y}{2 \cdot 2 \cdot a_{\text{svets}} \cdot L_{\text{svets}} \cdot \sqrt{2}} + \frac{M}{2 \cdot 2 \cdot W_{\text{svets}} \cdot \sqrt{2}} = 137.915 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{\text{vinkelrät}} := \frac{P_y}{2 \cdot 2 \cdot a_{\text{svets}} \cdot L_{\text{svets}} \cdot \sqrt{2}} + \frac{M}{2 \cdot 2 \cdot W_{\text{svets}} \cdot \sqrt{2}} = 137.915 \cdot \text{MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\text{vinkelrät}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{paralell}}^2 + \tau_{\text{vinkelrät}}^2)} = 296.647 \cdot \text{MPa}$$

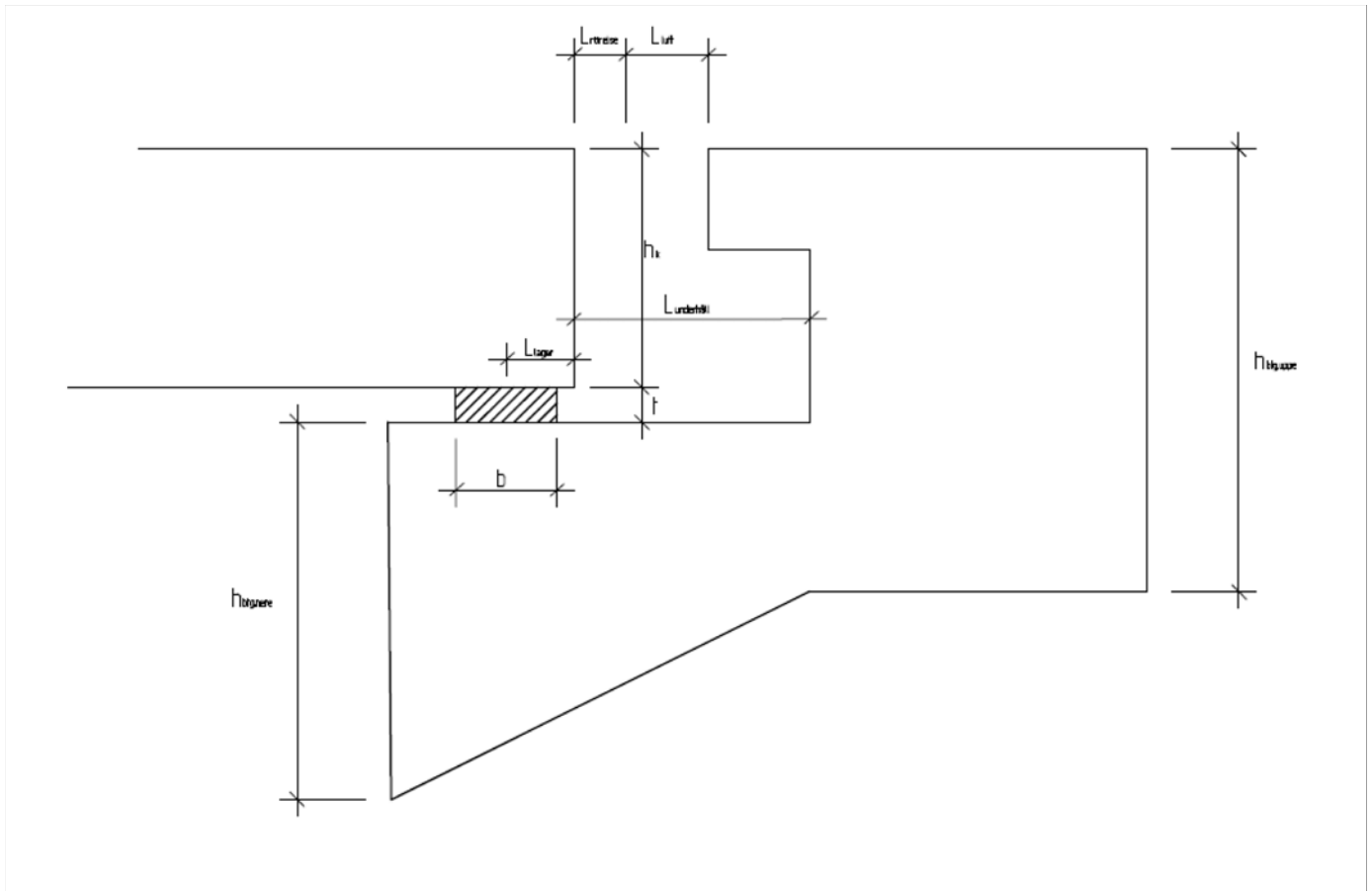
$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453.333 \cdot \text{MPa}$$

Kontroll

$$\sqrt{\sigma_{\text{vinkelrät}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{paralell}}^2 + \tau_{\text{vinkelrät}}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 1 \quad \text{OK!}$$

$$\sigma_{\text{vinkelrät}} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 1 \quad \text{OK!}$$

10. Landfäste i betong



Längder

$$L_{bro} = 60 \text{ m}$$

$$L_{stödremsa} := 0.5 \text{ m}$$

TRVK 11, D.1.2.4.2

$$L_{lager} := 0.2 \text{ m}$$

TRVK 11, G.6.2.2

$$L_{underhåll} := 0.7 \text{ m}$$

TRVK 11, B.1.7.3

väljs högre än min värde pga trä kräver mer underhåll

$$L_{överhäng} := 0.3 \text{ m}$$

Antagande

$$L_{bro.tot} := L_{bro} + 2 \cdot L_{lager} = 60.4 \text{ m}$$

Temperaturrelser, längder:

$$T_{max} = 34 \text{ C}$$

$$T_{min} = -30 \text{ C}$$

$$\Delta T = 64 \text{ C}$$

$$\alpha_{trä} := 5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{C}}$$

Temperaturutvidgningskoefficient

$$\Delta L_{temp} := \alpha_{trä} \cdot \Delta T \cdot L_{bro.tot} = 0.019 \text{ m}$$

Fukrelser, längder:

$$\text{Parallellt fibrer: } 0.5 \text{ mm/m}$$

(Svenskt limträ, 2006)

$$\Delta L_{fukt} := 0.5 \frac{\text{mm}}{\text{m}} \cdot L_{bro.tot} = 0.03 \text{ m}$$

Längder mellan brokant och landkant:

$$L_{\text{rörelse}} := \Delta L_{\text{temp}} + \Delta L_{\text{fukt}} = 0.05 \text{ m}$$

$$L_{\text{luft}} := L_{\text{underhåll}} - L_{\text{överhäng}} - L_{\text{rörelse}} = 0.35 \text{ m}$$

Lagret:

$$R_{\text{min}} := 1 \text{ m} \cdot \left(0.62 \text{ m} \cdot 10.5 \text{ m} \cdot 4.217 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} + 0.09 \text{ m} \cdot 10.5 \text{ m} \cdot 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right) = 49.188 \cdot \text{kN}$$

$$R_{\text{max}} := 450 \text{ kN}$$

$$a_{\text{lager}} := 250 \text{ mm}$$

$$b_{\text{lager}} := 300 \text{ mm}$$

$$t_{\text{lager}} := 104 \text{ mm}$$

Höjder:

$$h_{\text{trä}} = 620 \cdot \text{mm}$$

Träbalkarnas höjd

$$h_{\text{bel}} = 90 \cdot \text{mm}$$

Beläggningens tjocklek

$$h_{\text{k}} := h_{\text{trä}} + h_{\text{bel}} = 0.71 \text{ m}$$

Totala konstruktionshöjden

Höjdkrav mellan släntkant och lager kant sätts till 0.5m för att minska risken för att smuts skall komma in i lagren.

$$h_{\text{krav}} := 0.5 \text{ m}$$

Enligt Bilaga 2 är släntens lutning 1:2

$$h_{\text{btg.uppe}} := h_{\text{krav}} + t + h_{\text{k}} = 1.34 \text{ m}$$

$$h_{\text{btg.nere}} := \frac{1}{2} \left(L_{\text{underhåll}} + 2 \cdot L_{\text{lager}} + \frac{b_{\text{lager}}}{2} \right) + h_{\text{krav}} = 1.125 \text{ m}$$

BILAGA 7 - PYLON- OCH SKRUVFÖRBANDSBERÄKNINGAR

1. Beräkningar av vinklar och höjder för infäsningarna av stag samt bakstag

Höjd- och breddmåttan avses att användas för vinkelberäkningar. Index noll (0) avser bakstaget och index ett till tio avser stagen räknat med stag nummer ett (1) längst bort från pylonen och tio (10) närmast pylonen.

$$\begin{array}{ll}
 h_{tot} := 35 \text{ m} & \\
 h_1 := h_{tot} - 1 \cdot 0.25 \text{ m} = 34.75 \text{ m} & b_1 := 60 \text{ m} - 3 \text{ m} = 57 \text{ m} \\
 h_2 := h_{tot} - 2 \cdot 0.25 \text{ m} = 34.5 \text{ m} & b_2 := b_1 - 1 \cdot 6 \text{ m} = 51 \text{ m} \\
 h_3 := h_{tot} - 3 \cdot 0.25 \text{ m} = 34.25 \text{ m} & b_3 := b_1 - 2 \cdot 6 \text{ m} = 45 \text{ m} \\
 h_4 := h_{tot} - 4 \cdot 0.25 \text{ m} = 34 \text{ m} & b_4 := b_1 - 3 \cdot 6 \text{ m} = 39 \text{ m} \\
 h_5 := h_{tot} - 5 \cdot 0.25 \text{ m} = 33.75 \text{ m} & b_5 := b_1 - 4 \cdot 6 \text{ m} = 33 \text{ m} \\
 h_6 := h_{tot} - 6 \cdot 0.25 \text{ m} = 33.5 \text{ m} & b_6 := b_1 - 5 \cdot 6 \text{ m} = 27 \text{ m} \\
 h_7 := h_{tot} - 7 \cdot 0.25 \text{ m} = 33.25 \text{ m} & b_7 := b_1 - 6 \cdot 6 \text{ m} = 21 \text{ m} \\
 h_8 := h_{tot} - 8 \cdot 0.25 \text{ m} = 33 \text{ m} & b_8 := b_1 - 7 \cdot 6 \text{ m} = 15 \text{ m} \\
 h_9 := h_{tot} - 9 \cdot 0.25 \text{ m} = 32.75 \text{ m} & b_9 := b_1 - 8 \cdot 6 \text{ m} = 9 \text{ m} \\
 h_{10} := h_{tot} - 10 \cdot 0.25 \text{ m} = 32.5 \text{ m} & b_{10} := b_1 - 9 \cdot 6 \text{ m} = 3 \text{ m} \\
 h_0 := h_{tot} + m - 0.25 \text{ m} = 35.75 \text{ m} & b_0 := 22 \text{ m}
 \end{array}$$

F_{stag} krafter hämtade från värsta fallet i längsled från beräkningar i Bilaga 5.

Observera att första siffran motsvarande bakstagskraften är noll (0) för att krafterna från stagen ska balanseras och korrekt värde beräknas på efterföljande sidor. Vektorn längst till höger nedan är kontroll för att se om vinkalarna verkar rimliga.

$$\begin{array}{l}
 h := \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \\ h_9 \\ h_{10} \end{bmatrix} \\
 b := \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \\ b_7 \\ b_8 \\ b_9 \\ b_{10} \end{bmatrix} \\
 \alpha := \operatorname{atan}\left(\frac{h}{b}\right) = \begin{bmatrix} 58.392 \\ 31.369 \\ 34.077 \\ 37.275 \\ 41.082 \\ 45.644 \\ 51.132 \\ 57.724 \\ 65.556 \\ 74.634 \\ 84.726 \end{bmatrix} \text{ deg} \\
 F_{stag} := \begin{bmatrix} 0 \\ 578 \\ 2450.9 \\ 1345 \\ 1818 \\ 2211 \\ 2100 \\ 1501 \\ 1193 \\ 1081 \\ 555 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{2}
 \end{array}$$

2. Vridande moment i tvärgående stål balkar

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

Dimensioneringsvillkor:
Tillåten spänning i stål balken

$$c := \frac{890}{2} \text{ mm} + 121 \text{ mm} = 0.566 \text{ m}$$

Excentricitet från TP i stål balken till fästet av stål kablarna ovanpå (se Bilaga 6) stål balkarna

$$L := 1 \text{ m}$$

Excentricitet i längsled för stål balken

$$W_w := 446 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 = (4.46 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^4$$

Elastiskt vridmotstånd

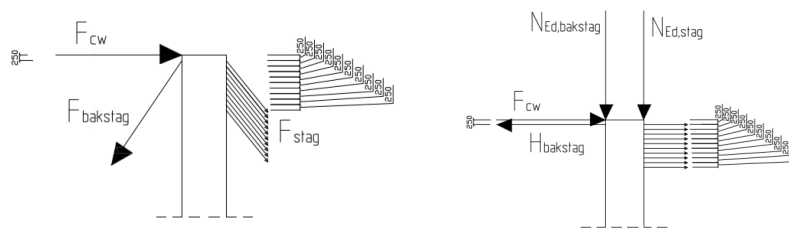
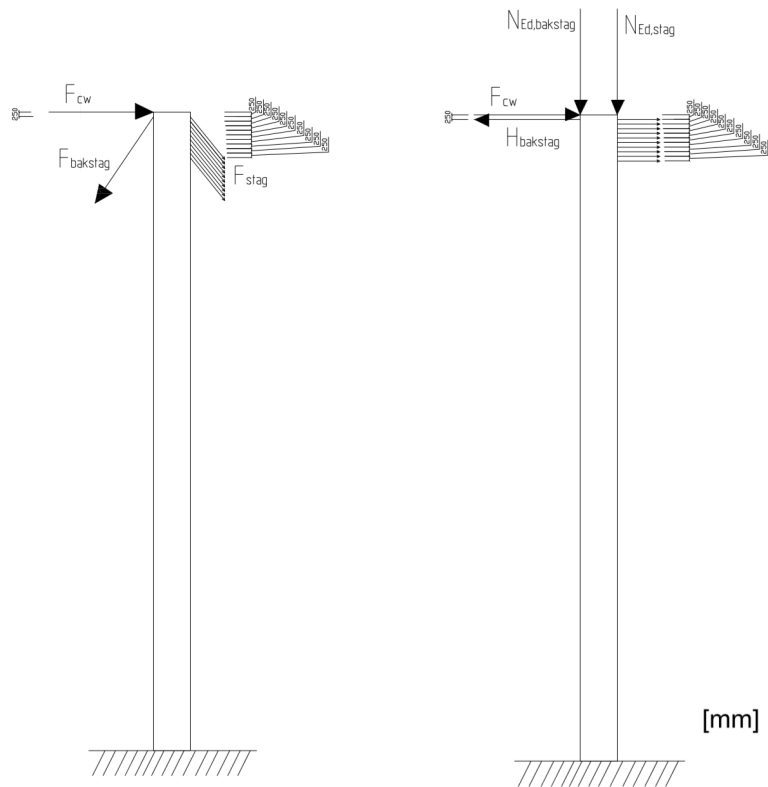
Kontroll av spänning i stål balkarna till följd av vridande moment

$$\sigma_w := c \cdot \frac{L}{W_w} \overrightarrow{\cos(\alpha) \cdot F_{stag}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 313.151 \\ 1.288 \cdot 10^3 \\ 679.114 \\ 869.533 \\ 980.823 \\ 836.184 \\ 508.59 \\ 313.246 \\ 181.76 \\ 32.37 \end{bmatrix} \text{ MPa} \quad \sigma_w < f_y = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ej OK map vridning!}$$

Kommentar: Kraven map vridning uppfylls ej. Hur hänsyn till det tas beskrivs i resultatdelen i rapporten, se Avsnitt 9.1.

3. Dimensionering av pyloner

Modellen för dimensioneringen av pylonen har gjorts dels utifrån pelarberäkningar för att ta hänsyn till knäckning, dels utifrån en modell som fast inspänd balk. Samtliga beräkningar har gjorts utifrån Eurocode 2. Till följd av symmetrin så dimensioneras en av pylonerna och båda pylonerna antas se likadana ut sedan.



3.1 Beräkning av påverkande krafter från spännstag, bakstag och vindlast

$$F_{cw} := 65.1 \text{ kN}$$

Vindlast per pylon (värde från beräkningar av vindlast. Se Bilaga 6 kapitel 3)

$$l := 35 \text{ m}$$

Pylonens höjd

$$N_{Edstag} := \overrightarrow{F_{stag} \cdot \sin(\alpha)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 150.436 \\ 686.631 \\ 407.295 \\ 597.336 \\ 790.44 \\ 817.526 \\ 634.539 \\ 543.034 \\ 521.178 \\ 276.325 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Vertikala komponenter av krafterna från stagen i ordningen bakstag först och därefter staget längst bort från pylonerna till staget närmast pylonen

$$H_{Edstag} := \overrightarrow{F_{stag} \cdot \cos(\alpha)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 246.759 \\ 1.015 \cdot 10^3 \\ 535.133 \\ 685.179 \\ 772.875 \\ 658.902 \\ 400.762 \\ 246.833 \\ 143.225 \\ 25.507 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Horisontella komponenter av krafterna från stagen i samma ordning som ovan vertikala komponenter

Summering av komponenterna i de respektive riktningarna

$$N := N \quad (1) + N \quad (2) + N \quad (3) + N \quad (4) + N \quad (5) + N \quad (6) + N \quad (7) + N \quad (8) + N \quad (9) + N \quad (10) = (5.425 \cdot 10) \text{ kN}$$

$$H := H \quad (1) + H \quad (2) + H \quad (3) + H \quad (4) + H \quad (5) + H \quad (6) + H \quad (7) + H \quad (8) + H \quad (9) + H \quad (10) = (4.73 \cdot 10) \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = (5.425 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Total normalkraft från stagen

$$H_{Ed} = (4.73 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Total horisontalkraft från stagen

$$F_{bakstag} := \frac{H_{Ed}}{\cos(\alpha(0))} = (9.025 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Kraften i bakstaget då de horisontella krafterna från stagen balanseras av bakstaget

$$N_{Edbakstag} := F_{bakstag} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha(0)\right) = (7.687 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Normalkraften från bakstaget

$$H_{Edbakstag} := H_{Ed}$$

Horisontalkraften från bakstaget motsvarar summan av alla horisontalkrafter från övriga stag.

$$N_{Edtot} := N_{Ed} + N_{Edbakstag} = (1.311 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

Total normalkraft från stag och bakstag

3.2 Beräkning av moment på grund av vindlastens horisontalkraft samt horisontalkrafterna från stagen och bakstaget.

$$M_{z1} := F_{cw} \cdot l = (2.279 \cdot 10^6) \text{ N} \cdot \text{m}$$

Moment pga transversallast (vindlasten)

$$M_{za} := F_{cw} \cdot l - H_{Edbakstag} \cdot (l - 1 \cdot 0.25 \text{ m}) + H_{Edstag}(1) \cdot (l - 1 \cdot 0.25 \text{ m}) + H_{Edstag}(2) \cdot (l - 0.25 \text{ m})$$

$$M_{zb} := H_{Edstag}(3) \cdot (l - 3 \cdot 0.25 \text{ m}) + H_{Edstag}(4) \cdot (l - 4 \cdot 0.25 \text{ m}) + H_{Edstag}(5) \cdot (l - 5 \cdot 0.25 \text{ m})$$

$$M_{zc} := H_{Edstag}(6) \cdot (l - 6 \cdot 0.25 \text{ m}) + H_{Edstag}(7) \cdot (l - 7 \cdot 0.25 \text{ m}) + H_{Edstag}(8) \cdot (l - 8 \cdot 0.25 \text{ m})$$

$$M_{zd} := H_{Edstag}(9) \cdot (l - 9 \cdot 0.25 \text{ m}) + H_{Edstag}(10) \cdot (l - 10 \cdot 0.25 \text{ m})$$

$$M_z := M_{za} + M_{zb} + M_{zc} + M_{zd}$$

$$M_z = -1.476 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Totalt yttre moment pga transversallaster (vindlast och transversalkomponenter av samtliga stagkrafter)

3.3 Materialparametrar och dimensioner för pylonen och betongen samt beräkning av totalt yttremoment map yttre laster (se föregående sida) samt initalimperfektioner och andra beräkningsförutsättningar

$E_s := 200 \text{ GPa}$	E-modul stål
$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$	Karaktäristisk flytspänning stål
$\gamma_1 := 1.25$	Säkerhetsfaktor stål
$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_1} = 400 \text{ MPa}$	Dimensionerande flytspänning stål
$E_{cm} := 39 \text{ GPa}$	E-modul betong
$\varepsilon_{cu} := 2.9 \cdot 10^{-3}$	Kantstukning betong
$f_{ck} := 60 \text{ MPa}$	Karaktäristisk hållfasthet betong C60/75
$\gamma_c := 1.5$	Säkerhetsfaktor för betong
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 40 \text{ MPa}$	Dimensionerande hållfasthet betong
$m_i := 12$	Antal komponenter som stabiliserar
$l_0 := 2 \cdot l = 70 \text{ m}$	Knäcklängd
$h_{pelare} := 2.5 \text{ m}$	Pelartvärsnittets höjd - Indata
$b_{pelare} := 2 \text{ m}$	Pelartvärsnittets bredd - Indata
$\theta_0 := 0.005$	Grundvärde - nationell parameter
$\alpha_h := \frac{2}{\sqrt[2]{l}} = 0.338 \frac{1}{\text{m}^{\frac{1}{2}}}$	Reduktionsfaktor för längd/höjd
$\alpha_h := \frac{2}{3} = 0.667$	För att ha alfa inom tillåtet intervall behöver den vara minst 2/3
$\alpha_m := \sqrt[2]{0.5 \cdot \left(\frac{1}{m_i}\right)} = 0.204$	Reduktionsfaktor för samverkande konstruktionsdelar

$$\theta_i := \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 6.804 \cdot 10^{-4}$$

Initialimperfektion

$$e_i := \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 0.024 \text{ m}$$

1a ordn. excentricitet

$$e_{min} := \frac{h_{pelare}}{30} = 0.083 \text{ m}$$

Minsta excentricitet hos normalkraft

$$e_0 := \frac{b_{pelare}}{2} = 1 \text{ m}$$

Total avsiktig excentricitet

$$M_{0Ed} := M_z + N_{Ed} \cdot (e_0 + e_i) - N_{Edbakstag} \cdot (e_0 + e_i) = -3.792 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{1a ordningens moment}$$

$$A_c := b_{pelare} \cdot h_{pelare} = 5 \text{ m}^2$$

Pylonens tvärsnittsarea

$$I_c := b_{pelare} \cdot \frac{h_{pelare}^3}{12} = 2.604 \text{ m}^4$$

Tvärsnittets yttröghetsmoment

$$i := \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = 0.722 \text{ m}$$

Tröghetsradie

$$\lambda := \frac{l_0}{i} = 96.995$$

Slankhets tal

$$A := 0.7 \quad B := 1.1 \quad C := 0.7 \quad n := \frac{(N_{Ed} + N_{Edbakstag})}{f_{cd} \cdot A_c} = 0.066 \quad \text{Beräkningskonstanter}$$

$$\lambda_{lim} := 20 \cdot A \cdot B \cdot \frac{C}{\sqrt[2]{n}} = 42.103 \quad \text{Gränsvärde för slankhet}$$

$$\lambda < \lambda_{lim} = 0$$

Slank pelare medför att knäcklast behöver kontrolleras!

$$\varphi_{ef} := 1$$

Beaktar inte krypning vilket ger större spänningar och ger därför beräkningar på säkra sidan

$$E_{cd} := 39 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$EI := \frac{0.3}{1 + 0.5 \cdot \varphi_{ef}} \cdot E_{cd} \cdot I_c = (2.031 \cdot 10^{10}) \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{s}^2}$$

Approximativ nominell styvhet

$$\beta := 1.0$$

Faktor för sinusformad belastning

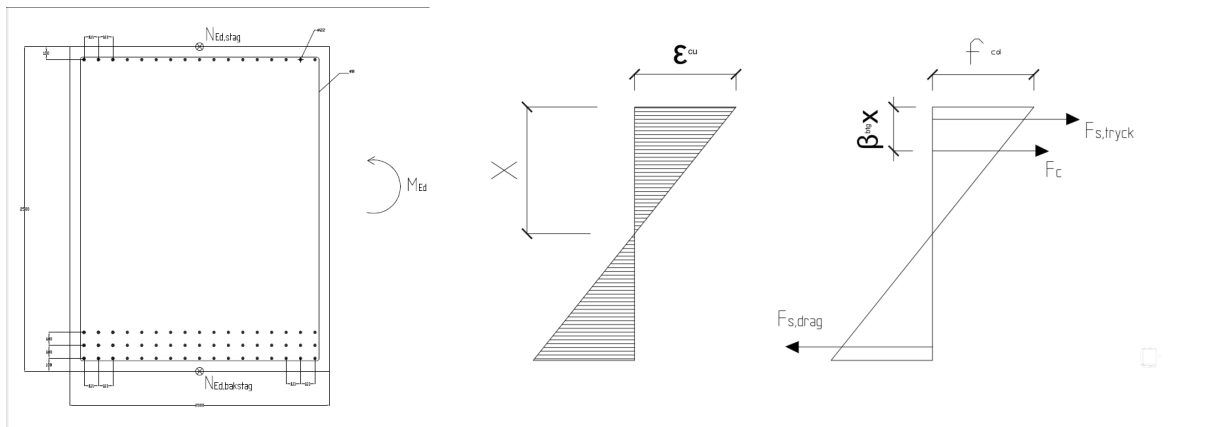
$$N_B := \pi^2 \cdot \frac{EI}{l_0^2} = (4.091 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

Knäcklast

$$M_{Ed} := \left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{(N_{Ed} + N_{Edbakstag})} - 1} \right) \cdot M_{0Ed} = -5.58 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2a ordningens moment

Beräkningsmodell för pylonentvärsnittet som används vid fortsatta beräkningar



3.4 Armeringsberäkningar

$d := 22 \text{ mm}$	Armeringsstångernas diameter
$d_{tryck} := 100 \text{ mm}$	Avstånd ovkant till tryckarmering
$d_{drag} := h_{pelare} - 200 \text{ mm} = 2.3 \text{ m}$	Avstånd ovkant till dragarmering
$A_{si} := \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = (3.801 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$	Area för en armeringsstång
$n_{tryck} := 17 \quad n_{drag} := 51$	Antal tryck- respektive dragarmeringsstänger
$A_{tryck} := A_{si} \cdot n_{tryck} = 0.006 \text{ m}^2$	Area tryckarmering
$A_{drag} := A_{si} \cdot n_{drag} = 0.019 \text{ m}^2$	Area dragarmering
$A_s := A_{tryck} + A_{drag} = 0.026 \text{ m}^2$	Total armeringsarea
$\alpha_{arm} := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.128$	Viktningfaktor stål/betong
$A_I := A_c + (\alpha_{arm} - 1) \cdot A_s = 5.107 \text{ m}^2$	Ekvivalet betongtvärsnittsarea osprucket tvärsnitt
$I_I := I_c = 2.604 \text{ m}^4$	Yttröghetsmoment

3.5 Beräkning av tyngdpunkt för tvärsnittet och antaganden om tryckzonshöjd

$$x_{TP} := \frac{A_I \cdot \frac{h_{pelare}}{2} + (\alpha_{arm} - 1) \cdot A_{tryck} \cdot d_{tryck} + (\alpha_{arm} - 1) \cdot A_{drag} \cdot d_{drag}}{A_I + A_s \cdot (\alpha_{arm} - 1)} = 1.26 \text{ m}$$

$x := 1.5648907 \text{ m}$	Tryckzonshöjd
$\varepsilon_{syd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.002$	Elastisk flytgränstöjning

Kontroll av ståltöjning för att avgöra vilken spänning som ska användas för vidare beräkningar

$\varepsilon_{stryck} := \varepsilon_{cu} \cdot \frac{(x - d_{tryck})}{x} = 0.003$	$\varepsilon_{stryck} < \varepsilon_{syd} = 0$	Använd flytspänning!
$\varepsilon_{sdrag} := \varepsilon_{cu} \cdot \frac{(d_{drag} - x)}{x} = 0.001$	$\varepsilon_{sdrag} < \varepsilon_{syd} = 1$	Använd Hookes lag!

$$\sigma_{sdrag} := \varepsilon_{sdrag} \cdot E_s = 272.456 \text{ MPa}$$

Spänning för dragarmering

$$\beta_{btg} := 0.377$$

Tryckblocksfaktorer
för aktuell betongklass
C60/75

$$\alpha_{btg} := 0.695$$

$$F_c := f_{cd} \cdot \alpha_{btg} \cdot b_{pelare} \cdot x = (8.701 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

Betongkraften

$$F_{tryckarm} := f_{yd} \cdot A_{tryck} = (2.585 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Kraft från tryckarmering

$$F_{dragarm} := \sigma_{sdrag} \cdot A_{drag} = (5.282 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Kraft från dragarmering

3.6 Kontroll av pylonens momentkapacitet

$$M_{Rd} := F_c \cdot (x_{TP} - \beta_{btg} \cdot x) + F_{tryckarm} \cdot (x_{TP} - d_{tryck}) + F_{dragarm} \cdot (d_{drag} - x_{TP}) = (6.681 \cdot 10^4) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Edslut} := M_{Ed} + N_{Edbakstag} \cdot (h_{pelare} - x_{TP}) - N_{Ed} \cdot x_{TP} = -2.887 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Edslut} < M_{Rd} = 1$$

Momentkapacitet OK!

3.7 Kontroll tillåtna spänningar i betong och armeringsstänger

$$e_1 := -x_{TP} = -1.26 \text{ m}$$

Avståndet från normalkraften
till ekvivalent
betongtvärsnittets tyngdpunkt

$$e_2 := h_{pelare} - x_{TP} = 1.24 \text{ m}$$

$$\sigma_{cök} := \frac{(N_{Ed} + N_{Edbakstag})}{A_I} + \frac{(N_{Ed} \cdot e_1 - N_{Edbakstag} \cdot e_2 + M_{Ed})}{I_I} \cdot e_1 = 13.188 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cUK} := \frac{(N_{Ed} + N_{Edbakstag})}{A_I} + \frac{(N_{Ed} \cdot e_1 - N_{Edbakstag} \cdot e_2 + M_{Ed})}{I_I} \cdot e_2 = -7.881 \text{ MPa}$$

$$\text{abs}(\sigma_{cök}) < 0.6 \cdot f_{ck} = 1$$

Kontroll "Överkant betong" OK!

$$\text{abs}(\sigma_{cUK}) < 0.6 \cdot f_{ck} = 1$$

Kontroll "Underkant betong" OK!

$$\sigma_{stryck} := \alpha_{arm} \cdot \left(\frac{\langle N_{Ed} + N_{Edbakstag} \rangle}{A_I} + \frac{\langle N_{Ed} \cdot e_1 - N_{Edbakstag} \cdot e_2 + M_{Ed} \rangle}{I_I} \cdot (e_1 + d_{tryck}) \right) = 63.309 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sdrag} := \alpha_{arm} \cdot \left(\frac{\langle N_{Ed} + N_{Edbakstag} \rangle}{A_I} + \frac{\langle N_{Ed} \cdot e_1 - N_{Edbakstag} \cdot e_2 + M_{Ed} \rangle}{I_I} \cdot (e_2 - 50 \text{ mm}) \right) = -38.252 \text{ MPa}$$

$$\text{abs}(\sigma_{stryck}) < 0.8 \cdot f_{yk} = 1$$

Kontroll tryckarmering OK!

$$\text{abs}(\sigma_{sdrag}) < 0.8 \cdot f_{yk} = 1$$

Kontroll dragarmering OK!

3.8 Kontroll av knäcklast

$$N_{Edtot} < N_B = 1$$

Pylonen klarar kravet map knäckning. OK!

3.9 Kontroll av spänning i Neutrala lagret - stämmer tryckzonshöjden och övriga antaganden

$$\sigma_{cNL} := \frac{\langle N_{Ed} + N_{Edbakstag} \rangle}{A_I} + \frac{\langle N_{Ed} \cdot e_1 - N_{Edbakstag} \cdot e_2 + M_{Ed} \rangle}{I_I} \cdot (-x_{TP} + x) = 0.886 \text{ Pa}$$

$\sigma_{cNL} \sim 0$ OK! -> Det som antogs är korrekt

3.10 Skarvning av armeringen

$$\eta_1 := 1$$

$$\eta_2 := 2$$

$$f_{ctd} := 4.4 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 19.8 \text{ MPa}$$

$$S_{bd} := \pi \cdot d \cdot f_{bd} = (1.368 \cdot 10^6) \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

$$l_{bd.max} := f_{yd} \cdot \frac{A_{si}}{S_{bd}} = 0.111 \text{ m}$$

Faktor som beaktar
vidhäftningsförhållandena

Faktor som beaktar
stångdiameter

Dimensionerande
draghållfasthet i
brottgränstillstånd

Vidhäftningshållfasthet

Krafttillväxt

Minsta förankringslängd

4. Kontroll av kapacitet för skruvförband mellan tvärgående HEA-stålbalkar och träfarbana

Beräkningar enligt SSEN1993-1-8

4.1 Indata

$n := 60$	Antal skruvar per flänshalva
$t := 30 \text{ mm}$	Tjocklek stålplåt i HEA-balk
$t_1 := 400 \text{ mm}$	Skruvens inträngningsdjup i träet
$d := 20 \text{ mm}$	Skruvdiameter
$d_0 := d + 2 \text{ mm} = 0.022 \text{ m}$	Skruvhålsdiameter
$e_1 := \frac{(300 - 16)}{4} \text{ mm} = 0.071 \text{ m}$	Kantavstånd i kraftriktningen
$e_2 := 50 \text{ mm}$	Kantavstånd vinkelrätt kraftriktningen
$A := \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = (3.142 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$	Tvärsnittsytta skruv
$\rho_k := 430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Densitet för träet
$k_{mod} := 0.5$	Omräkningsfaktor som tar hänsyn till lastvaraktighet och fuktförhållanden
$\gamma_M := 1.3$	Partialkoefficient som tar hänsyn till osäkerheter i materialet
$\alpha_0 := 0.6$	Faktor som beaktar hållfasthetsklass på förbindare
$\gamma_{M2} := 1.25$	Partialkoefficient
$F_{vEd} := 9695 \text{ kN}$	Normalkraft i farbanan - ger upphov till vertikalkraft på skruvförbanden. Avser totala kraften som ska tas upp av 60x2 förbindare

4.2 Hållfastheter för materialen

$$f_{hk} := 0.082 \cdot \left(1 \text{ m} - 0.01 \cdot \frac{d}{1000} \right) \cdot \rho_k \cdot \frac{m}{s^2} \cdot 10^6 = 35.26 \text{ MPa}$$

Träets hålkantshållfasthet

$$f_{ub} := 1000 \frac{N}{mm^2} = (1 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

Skruvens hållfasthet
klass 10.9

$$f_u := 430 \text{ MPa}$$

Stålblåtens hållfasthet HEA-
balk stålqualität S355J0

$$M_{yRk} := 0.45 \cdot f_{ub} \cdot \left(\frac{d}{mm} \right)^{2.6} \cdot m^3 = (1.086 \cdot 10^9) \text{ kN} \cdot m$$

Karaktäristiskt flytmoment för
förbindaren

4.3 Avstånd mellan olika förbindare och kantavstånd

$$0.5 \cdot d < t = 1$$

Kontroll av plåttjocklek.
Tjockplåt ger att brottmod C,
D, E behöver kontrolleras.

$$a_1 := 2 \cdot \left(\frac{(300 \text{ mm} - 16 \text{ mm})}{4} \right) - d + 16 \text{ mm} = 0.138 \text{ m}$$

Avstånd mellan förbindare i
fiberriktningen

$$a_2 := \frac{(300 - 16)}{2} \text{ mm} - d = 0.122 \text{ m}$$

Avstånd mellan två förbindare i
fiberriktningen

$$p_1 := a_1 + d = 0.158 \text{ m}$$

Centrumavstånd mellan
förbindare i kraftriktningen

$$p_2 := \frac{10.5 \text{ m} - 2 \cdot e_2}{n - 1} = 0.176 \text{ m}$$

Centrumavstånd mellan
förbindare vinkelrätt
kraftriktningen

4.4 Kapacitetskontroll för skjuvbelastat stål-träförband

4.4.1 Beräkningar för träets kapacitet

$$F_{vRkC} := f_{hk} \cdot t_1 \cdot d = 282.08 \text{ kN}$$

Karaktäristisk kapacitet för brottmod C - tryckbrott i träet

$$F_{vRkD} := f_{hk} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(2 + 4 \cdot \frac{M_{yRk}}{f_{hk} \cdot d \cdot t_1^2} \right)^{\frac{(1)}{(2)}} = (1.75 \cdot 10^6) \text{ kN}$$

Karaktäristisk kapacitet för brottmod D - en flytled i förbindaren

$$F_{vRkE} := 2.3 \cdot (M_{yRk} \cdot f_{hk} \cdot d)^{\frac{(1)}{(2)}} = (2.013 \cdot 10^6) \text{ kN}$$

Karaktäristisk kapacitet för brottmod E - två flytleder i förbindaren

$$F_{vRk} := \min(F_{vRkC}, F_{vRkD}, F_{vRkE}) = 282.08 \text{ kN}$$

Minsta karaktäristiska kapacitet

$$F_{vRd} := \frac{F_{vRk}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} = 108.492 \text{ kN}$$

Dimensionerande kapacitet

$$F_{vRdtot} := F_{vRd} \cdot n \cdot 2 = (1.302 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

Total kapacitet för hela skruvförbandet

$$F_{vEd} < F_{vRdtot} = 1 \quad \text{OK!}$$

Kapacitet map på träets hållfasthet är tillräcklig

Kontroll av avstånd mellan förbindare längs fiberrikting

$$5 \cdot d < a_1 = 1 \quad \text{OK!}$$

Kontroll av avstånd mellan förbindare tvärs fiberriktningen

$$4 \cdot d < a_2 = 1 \quad \text{OK!}$$

4.4.2 Kontroll av skjuvbrott i skruv

$$n_{ef} := \min \left(n, (n)^{0.9} \cdot \left(\frac{a_1}{13 \cdot d} \right)^{\left(\frac{1}{4} \right)} \right) = 34.007$$

Effektivt antal förbindare

$$F_{vRd2} := \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} = 150.796 \text{ kN}$$

Kapacitet per förbindare

$$F_{vRd2tot} := F_{vRd2} \cdot n_{ef} = (5.128 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Kapacitet för det effektiva antalet förbindare då de mittersta förbindarna antas ta upp en mindre andel av lasten

$$\frac{F_{vEd}}{2} < F_{vRd2tot} = 1 \quad \text{OK!}$$

Förbindarnas kapacitet tillräcklig map på skjuvning. F_{vEd} (lastens storlekt) antas fördelas jämt på de två raderna förbindare på var sida om HEA-balkens liv.

4.4.3 Hålkantsbrott i plåten

Kontroll av hålkantsbrott mellan hål och kant

$$k_{11} := \min \left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) = 2.5$$

k_{1n} faktor som beaktar brottmod a

$$\alpha_{d1} := \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 1.076$$

α_{dn} faktor som beaktar brottmod b och c

$$\alpha_{b1} := \min \left(\alpha_{d1}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) = 1$$

$$F_{bRd1} := k_{11} \cdot \alpha_{b1} \cdot f_u \cdot d \cdot \frac{t}{\gamma_{M2}} = 516 \text{ kN}$$

Kapacitet för stålplåten

Kontroll av hålkantsbrott mellan två hål

$$k_{12} := \min \left(1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) = 2.5$$

k_{1n} faktor som beaktar brottmod a

$$\alpha_{d2} := \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 2.144$$

α_{dn} faktor som beaktar brottmod b och c

$$\alpha_{b2} := \min \left(\alpha_{d2}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) = 1$$

$$F_{bRd2} := k_{12} \cdot \alpha_{b2} \cdot f_u \cdot d \cdot \frac{t}{\gamma_{M2}} = 516 \text{ kN}$$

Kapacitet för plåten

$$F_{bRd} := \min (F_{bRd1}, F_{bRd2}) = 516 \text{ kN}$$

Minsta dimensionerande hållfasthet

$$\frac{F_{vEd}}{n \cdot 2} < F_{bRd} = 1 \quad \text{OK!}$$

Kontroll av plåten map hålkantbrott är tillräcklig. Lasten fördelas på de 60 (n) förbindarna på respektive sida om balklivet.

4.5 Kontroll av tillåtna avstånd mellan skruvar samt skruvar och kant.

Kontroll av minsta tillåtna avstånd

$$e_1 > 1.2 \cdot d_0 = 1 \quad \text{OK!}$$

Kantavstånd i kraftriktningen

$$e_2 > 1.2 \cdot d_0 = 1 \quad \text{OK!}$$

Kantavstånd vinkelrätt kraftriktningen

$$p_1 > 2.2 \cdot d_0 = 1 \quad \text{OK!}$$

Centrumavstånd kraftriktningen

$$p_2 > 2.4 \cdot d_0 = 1 \quad \text{OK!}$$

Centrumavstånd vinkelrätt kraftriktningen

Kontroll av största tillåtna avstånd

$$e_1 < 40 \text{ mm} + 4 \cdot t = 1 \quad \text{OK!}$$

Kantavstånd i kraftriktningen

$$e_2 < 40 \text{ mm} + 4 \cdot t = 1 \quad \text{OK!}$$

Kantavstånd vinkelrätt kraftriktningen

$$p_1 < \min (14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 1 \quad \text{OK!}$$

Centrumavstånd kraftriktningen

$$p_2 < \min (14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 1 \quad \text{OK!}$$

Centrumavstånd vinkelrätt kraftriktningen