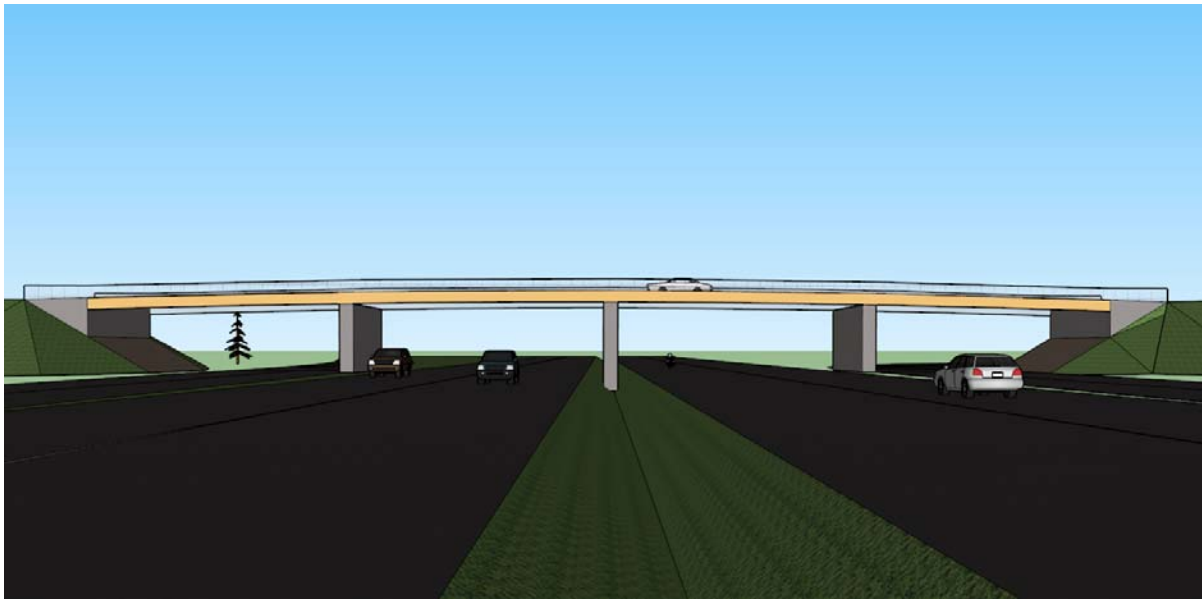




Ulricehamnsmotet

Framtagande och beräkningar av ett hållbart broförslag.

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet

Väg- och vattenbyggnad

ANTON BADMAN

ISAC EDIN

RIKARD JOHANSSON

HENRIK MAYOR

AXEL STEINERT

JOAKIM ÖRNEBLAD

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2014

Ulricehamnsmotet

Framtagande och beräkningar av ett hållbart broförslag.

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet

Väg- och vattenbyggnad

ANTON BADMAN, ISAC EDIN, RIKARD JOHANSSON, HENRIK MAYOR, AXEL
STEINERT, JOAKIM ÖRNEBLAD

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Rapporten syftar till att utifrån givna förutsättningar ta fram ett broförslag innefattande bland annat konceptuell utformning och beräkningar. Detta har gjorts med tyngdpunkt i hållbarhets- och miljöaspekter, vilket varit ett delsyfte som starkt färgat processen och resultatet. Den bäst lämpade bron är utifrån detta en tvärsپänd plattbro i trä. Plattbrons totala längd är 82,7 meter och utgörs av två innerspann på 19 m respektive två ytterspann på 18 m med flankerande landfästen på 4,35 m.

Projektets bakgrund är arbetet med att göra sträckan Stockholm – Göteborg via Jönköping till mötesfri motorväg. I och med detta uppstod ett behov av en planskild korsning norr om Ulricehamn som leder riksväg 46 över den nya dragningen av riksväg 40. Trafikverket har beslutat att denna överfart ska utgöras av en bro.

Den lämpligaste bron har tagits fram genom en urvalsprocess där ett flertal brokoncept jämförts i tre steg utifrån kriterier byggda på rapportens syfte. I varje steg har brokoncept eliminerats och på så vis har till sist ett slutgiltigt broförslag tagits fram. En röd tråd genom dessa urvalskriterier har varit ett fokus på hållbar utveckling, främst genom användandet av miljöcertifieringssystemet CEEQUAL.

Utifrån det slutliga förslaget av brokoncept har en preliminärberäkning av brons delar genomförts. Dessa beräkningar berör de viktigaste bärande elementen i brott- och bruksgränstillstånd. Trots förutsättningar som gav en relativt liten potentiell konstruktionshöjd uppfylls Trafikverkets uppställda krav.

Nyckelord: Tvärsپänd plattbro, träbro, träbyggnad, limträ, brobyggnad, miljöcertifiering, CEEQUAL, hållbar utveckling

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2014

The Ulricehamn junction

Design and calculations of a sustainable bridge

Bachelor Thesis

Building and Civil Engineering

ANTON BADMAN, ISAC EDIN, RIKARD JOHANSSON, HENRIK MAYOR, AXEL STEINERT, JOAKIM ÖRNEBLAD

Department of Civil and Environmental Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

This report aims, based on the given conditions, to develop a bridge concept including conceptual design and calculations. Emphasis on sustainability and environmental aspects has permeated the process and has also been a subsidiary aim of the project. This has had considerable impact on the result. The most suitable bridge proved to be a stress laminated timber bridge. The bridge's total length is 82,7 m and consists of two inner spans of 19 m and two outer spans of 18 m with flanking abutments of 4,35 m.

The background to the project is the process of redesigning the route Stockholm - Gothenburg via Jönköping into a divided highway. A result of this was a need of a flyover north of Ulricehamn. In order to lead Riksväg 46 across the new route of Riksväg 40 Trafikverket have decided to build a bridge.

The most suitable bridge was found through a selection process where multiple bridge concepts have been compared and assessed. In three steps bridge concepts have been eliminated based on different criteria with basis in the aim of this report. A common thread throughout these criteria has been the focus on sustainable development, primarily through the use of the environmental assessment method CEEQUAL. Finally a final bridge concept was established.

Preliminary calculations of the bridge's elements have been performed. The calculations involve ultimate and serviceability limit state design of the most important structural elements. Despite conditions resulting in a relatively narrow potential thickness of the bridge all of Trafikverket's requirements have been met.

Key words: Stress-laminated-timber bridge, timber bridge, timber engineering, glulam, bridge engineering, environmental assessment, CEEQUAL, sustainable development

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	III
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	V
FÖRORD	XI
1 Inledning.....	1
1.1 Förutsättningar	1
1.1.1 Geotekniska förutsättningar	1
1.1.2 Befintliga konstruktioner	2
1.1.3 Beräknad trafik.....	2
1.1.4 Konstruktionshöjd.....	2
1.1.5 Miljö.....	2
1.1.6 Beläggning	2
1.2 Syfte.....	2
1.3 Problem/Uppgift	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Metod/Genomförande.....	3
2 Brotyper.....	4
2.1 Balkbroar	4
2.1.1 Bärande system	5
2.1.2 Grundläggning	5
2.1.3 Produktion.....	6
2.2 Plattbroar	6
2.2.1 Bärande system	6
2.2.2 Grundläggning	6
2.2.3 Produktion.....	7
2.3 Bågbroar	7
2.3.1 Bärande system	7
2.3.2 Grundläggning	8
2.3.3 Produktion.....	8
2.4 Snedkabelbroar	9
2.4.1 Bärande system	9
2.4.2 Grundläggning	10
2.4.3 Produktion.....	10

2.5 Hängbroar	10
2.5.1 Bärande system	10
2.5.2 Grundläggning	11
2.5.3 Produktion.....	11
3 Material	12
3.1 Betong.....	12
3.1.1 Egenskaper och uppbyggnad	12
3.1.2 Underhåll.....	13
3.2 Stål	14
3.2.1 Egenskaper och uppbyggnad	14
3.2.2 Underhåll.....	15
3.3 Trä.....	16
3.3.1 Egenskaper och uppbyggnad	16
3.3.2 Underhåll.....	17
4 Första utvärderingen – från fjorton till sju brokoncept	18
4.1 Förklaring av kriterier.....	18
4.2 Resultat och kommentar av första utvärderingen	18
5 Andra utvärderingen – från sju till tre brokoncept.....	19
5.1 Förklaring av kriterier och poängsättning	19
5.2 Estetik	19
5.2.1 Estetik utifrån brotyp	20
5.2.2 Estetik utifrån material.....	20
5.3 Konstruktionskostnad	20
5.3.1 Konstruktionskostnad utifrån brotyp	20
5.3.2 Konstruktionskostnad utifrån material.....	21
5.4 Underhållsaspekter	22
5.4.1 Underhållsaspekter utifrån brotyp.....	22
5.4.2 Underhållsaspekter utifrån material	23
5.5 Byggnationstid.....	23
5.5.1 Byggnationstid utifrån brotyp	23
5.5.2 Byggnationstid utifrån material	23
5.6 Miljö	24
5.6.1 Miljö utifrån brotyp.....	24

5.6.2 Miljö utifrån material	24
5.7 Säkerhet	25
5.7.1 Säkerhet utifrån brotyp	25
5.7.2 Säkerhet utifrån material	26
5.8 Inbördes viktning mellan de olika bedömningskriterierna	26
5.9 Resultat och kommentar av andra utvärderingen	26
6 Fördjupning av kvarvarande brokoncept	28
6.1 Produktionsmetoder för kvarvarande brokoncept	28
6.1.1 Produktionsmetoder balkbro av samverkanskonstruktion	28
6.1.2 Produktionsmetoder för bågbro i trä	30
6.1.3 Produktionsmetoder för tvärsپاند plattbro i trä	31
6.2 Underhållsmetoder för kvarvarande brokoncept	32
6.2.1 Generella inspektioner	32
6.2.2 Underhållsmetoder för samverkansbro	34
6.2.3 Underhållsmetoder för båg- och plattbro i trä	35
7 Tredje utvärderingen – från tre till ett brokoncept	38
7.1 Vad är CEEQUAL och hur fungerar det?	38
7.2 Utvalda frågor från CEEQUAL och motivering till betyg	38
7.2.1 Project Management	39
7.2.2 Land Use	42
7.2.3 Landscape Issues	43
7.2.4 Water Resources and the Water Environment	43
7.2.5 Energy and Carbon	44
7.2.6 Material Use	46
7.2.7 Transport	48
7.3 Kommentar av tredje utvärderingens resultat	49
8 Beräkningsantaganden och förutsättningar	50
8.1 Preliminära dimensioner	50
8.2 Materialkvalitet	50
8.3 Permanenta laster	51
8.4 Variabla laster	51
8.5 Medverkande lastbredd	53
8.6 Nedböjning	54

8.7 Reaktionskrafter och val av lager	54
8.8 Erforderlig förspänning	54
8.9 Klimatklass och lastvaraktighet.....	54
9 Resultat.....	55
9.1 Moment- och tvärkraftsbelastning.....	55
9.2 Nedböjning, överhöjning samt kontroll om plattan lyfter över stöd	56
9.3 Stämpeltryckseffekt	57
9.4 Erforderlig förspänning	57
9.5 Längd landfäste och val av lager	57
10 Komplet broförslag	58
10.1 Grundläggning	58
10.2 Underbyggnad	59
10.3 Överbyggnad	59
10.4 Produktionsmetod	60
10.5 Risker vid produktion	60
10.6 Brodetaljer	61
10.6.1 Räcke.....	61
10.6.2 Ytavlopp.....	62
10.6.3 Grundavlopp	62
10.6.4 Dimensioner övergångskonstruktion och landfäste	62
10.6.5 Lager	63
10.6.6 Tvärspänningsenheter	63
10.6.7 Fuktskydd.....	63
10.6.8 Underhåll av brodetaljer	64
10.7 Lösning vid framtida ökning av trafiklast	64
10.8 Underhåll av slutgiltigt koncept	64
10.8.1 Kritiska punkter	64
10.8.2 Inspektioner.....	66
10.9 Risker rörande förvaltning, miljöaspekter och underhåll	66
10.10 Risker utifrån beställarens perspektiv.....	67
11 Diskussion	68
12 Källförteckning.....	72

FÖRORD

Denna rapport är produkten av ett kandidatarbete på 15 högskolepoäng vid Väg- och vattenbyggnadsprogrammet på Chalmers Tekniska Högskola. Institutionen för Bygg- och miljöteknik har gett i uppdrag till en grupp om sex studenter att under vårterminen 2014 ta fram ett broförslag för Ulricehamnsmotet. Tekniskt underlag och ritningar har erhållits från Trafikverket och COWI. Kunskap om hur konstruktioners verkningssätt analyseras och beräknas utifrån Eurokod har studenterna förskansat sig under den tidigare delen av civilingenjörsutbildningen. Fördjupad kunskap om broar har erhållits via föreläsningar kopplade till kandidatarbetet, genom självstudier samt genom konsultation från experter inom området. Till den som är intresserad av den verkliga lösningen för Ulricehamnsmotet rekommenderas att åka kollektivt under bron längs Riksväg 40 när trafikpåsläppning sker, preliminärt hösten 2015.

Stort tack till avdelningen Bygg- och miljöteknik på Chalmers Tekniska Högskola som engagerat svarat på många uppkomna frågor. Till sist riktas ett särskilt tack till Kristoffer Ekholm på WSP som tog sig tid att dela med sig av sin djupa kunskap om träbroar.

1 Inledning

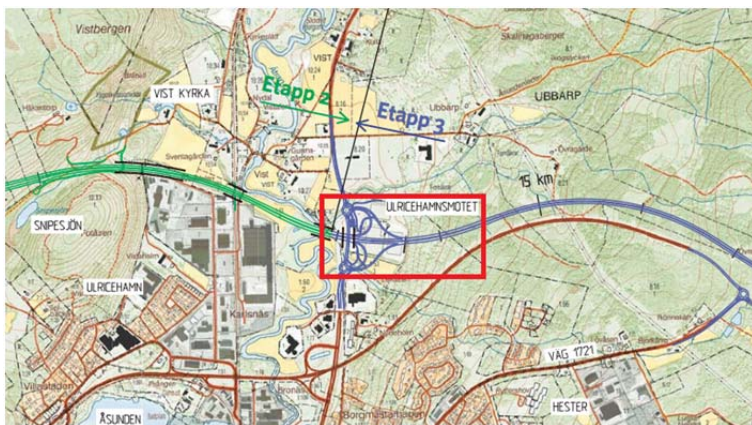
För att öka framkomligheten samt minska restiden mellan Göteborg och Stockholm har Trafikverket beslutat att investera i en ny sträckning av riksväg 40 (Projekt väg 40 Dällebo-Ulricehamn). Den årliga dygnstrafiken (hädanefter ÅDT) år 2015 beräknas till 12000 fordon/dygn och förväntas öka med 25 % till år 2035 (se bilaga 1). Ombyggnationen är ett sista led i att göra sträckan Stockholm-Göteborg via E4/riksväg 40 mötesfri. Den nya sträckan läggs norr om Ulricehamn och byggs ut till motorväg vilket ska öka säkerhet och flöde. I samband med den nya sträckningen av väg 40 ska 13 nya broar byggas varav en av dessa kommer att uppföras där väg 46 korsar väg 40, projektet benämns *Bro över allmän väg i Ulricehamn (Ulricehamnsmotet), KM14/050*. Projekt väg 40 Dällebo-Ulricehamn förväntas gynna både förbipasserande bilister samt boende i Ulricehamn. Således är projektet positivt ur både nationellt och regionalt intresse. Miljö- och hållbarhetsfrågor har på senare år fått större utrymme när utvärderingar av infrastrukturprojekt utförs, eftersom det finns idag ett krav på Trafikverket att sådana aspekter ska beaktas i utformandet av nya transportsystem (Aava-Olsson, 2012). Trafikverket genomför just nu (2014) Sveriges första miljöcertifiering av en vägbro, vilket är ett led i Trafikverkets miljöarbete. Med hjälp av CEEQUAL, ett brittiskt miljöcertifieringssystem anpassat för anläggningsprojekt, utvärderar Trafikverket projektets hållbarhet (Trafikverket, 2014).

1.1 Förutsättningar

Vid uppförandet av bron över väg 40 vid Ulricehamnsmotet framhåller Vägverket att all utformning ska utgå från ett trafiksäkerhetstänkande med en trafikmiljö som utformas förlåtande. Under brons tekniska livslängd på 80 år ska drift och underhåll kunna utföras effektivt med moderna metoder. Tekniska förutsättningar nedan är hämtade från projektets tekniska beskrivning (se bilaga 1).

1.1.1 Geotekniska förutsättningar

Bron som ska byggas över väg 40 uppförs 50 till 100 m öster om Ätran i syd-nordlig riktning där terrängen består av åker- och ängmark (se Figur 1). Vid denna plats varierar djupet till berg mellan 40 och 50 m. Bron över väg 40 kommer inte att grundläggas ner till berg, istället kommer spets- och mantelburna betongpålar att användas där huvuddelen av bärförmågan erhålls längs manteln i friktionsjord



Figur 1 - Karta över den nya vägsträckningen där Ulricehamnsmotet är inrutat i rött (Trafikverket, 2013).

1.1.2 Befintliga konstruktioner

Både befintliga elledningar och teleledningar i området kommer att läggas om öster om bron.

1.1.3 Beräknad trafik

År 2015 beräknas ÅDT för väg 40 till 12000. En trafikökning uppskattas, år 2035 kommer ÅDT ligga kring 15100. 22 % av trafiken förutsätts vara tung trafik. Under byggnationen av vägbron är väg 40 avstängd och således påverkas inte arbetet av allmän trafik.

1.1.4 Konstruktionshöjd

Avvikelse får ej göras från redan satta profilhöjder för väg 46 (se normalsektionsritning, bilaga 2). Om bron överbyggnad är i betong krävs en fri höjd på 4,70 m. Om en lätt överbyggnad uppförs måste den fria höjden däremot uppgå till 5,20 m då konsekvenserna blir allvarigare vid en eventuell påkörning. Utifrån givna profilhöjder och krav på fri höjd ges följande maximala konstruktionshöjder (för beräkning av konstruktionshöjd se bilaga 5):

- 1,455 m för överbyggnad i betong.
- 0,955 m för lätt överbyggnad.

1.1.5 Miljö

Material som används ska vara acceptabla ur miljö- och hälsosynpunkt samt ej ge upphov till problem vid återanvändning, deponering eller destruktion.

1.1.6 Beläggning

Väg 46 ska förses med ett permanent slitlager om 40 mm. Ett kombinerat skydds- och bindlager ska utföras med 50 mm PGJA (PGJA är en vattentät asfaltsmassa vanlig förekommande som skydds- och bindlager på broar).

1.2 Syfte

Rapporten syftar till att ta fram ett broförslag innefattande en konceptuell utformning och preliminärberäkningar med hänsyn till givna förutsättningar. Även planer för produktion och underhåll av bron ska tas fram. Utöver att skapa en väl anpassad teknisk lösning är ett delsyfte med projektet att tungt väga in hållbarhets- och miljöaspekter i framtagandet av konceptet. Detta görs delvis genom att sträva efter ett koncept med så hög poäng som möjligt i miljöcertifieringssystemet CEEQUAL.

1.3 Problem/Uppgift

Uppgiften är att utveckla ett broförslag som beaktar samhällets intressen nu och i framtiden. Konceptets produktions- och underhållsaspekter ska vara tydligt beskrivna där risker som kan uppkomma i dessa stadier analyseras. Vidare ska en plan för framtida inspektioner av bron utformas där de mest kritiska punkterna belyses. Det valda broförslagets bärande system, tillhörande randvillkor och laster ska vara tydligt beskrivna. Slutligen ska snittkrafts- och konstruktionsberäkningar utföras utifrån framtagna laster.

1.4 Avgränsningar

Ekonomi beaktas i konceptframtagningen men det inget budgetkrav finns. Miljöpåverkan kommer att analyseras utifrån miljöcertifieringssystemet CEEQUAL, vilket hittills är det enda miljöcertifieringssystem som vänder sig till infrastrukturprojekt. Enbart befintliga brotyper och vanligt förekommande byggnadsmaterial utvärderas. Vid dimensioneringsberäkningar av bron ska Vägverkets egna normer och standarder vara uppfyllda, dock beaktas enbart Eurokod-standarder i beräkningsdelen i denna rapport. Beräkningsdelen behandlar enbart brons överbyggnad utsatt för vertikala laster.

1.5 Metod/Genomförande

Arbetet delas in i två delar: en första del där ett brokoncept tas fram och en andra del där beräkningar av det framtagna konceptet utförs. För att skapa underlag till konceptframtagandet görs en litteraturstudie om brotyper och material. Genom en systematisk kombination av brotyper och materialval tas förslagen fram. Utifrån tekniska krav (se *Teknisk Beskrivning Byggnadsverk avseende 15-1761-1*) gallras brokoncepten. En ytterligare gallring görs där tre huvudalternativ väljs utifrån viktade kriterier definierade i kapitel fem. Dessa tre alternativ bedöms sedan i en sista omgång där utvärdering enbart sker utifrån miljöcertifieringssystemet CEEQUAL. Det främsta alternativets tekniska rimlighet kontrolleras slutligen noggrannare genom preliminärberäkningar. Arbetets andra del, beräkningsdelen, kommer att utföras i beräkningsprogrammen Mathcad och Matlab där beräkningsmetoder från Eurokod och andra givna standarder används.

2 Brotyper

Enligt Trafikverkets definition ska en bro ha en spännvidd på minst två meter i största spannet för att få kallas bro. Genom åren har broars konstruktion utvecklats och kan idag delas upp i olika brotyper. Ett sätt att kategorisera broar är utifrån konstruktionens verkningssätt. Grovt indelat kan vägbroar placeras in i huvudkategorier efter de bärande systemen balk-, båg- samt hängverksbroar. Plattbron kan anses vara en underkategori till balkbron då deras verkningssätt liknar varandra.

Varje brokonstruktion kan i sin tur delas upp i över- och underbyggnad. Överbyggnaden utgörs av ett huvudbärverk, till exempel balkar, samt ett sekundärbärverk, till exempel brobanaplatta mellan balkarna. Dessa bärverks syften är att ta upp trafiklast och sedan föra över den till underbyggnaden som i sin tur ska överföra lasten ner till grunden.

Underbyggnaden utgörs av pelare, pyloner eller bågar (Bannazadeh, et al., 2012).

Brotyp i kombination med materialval avgör längd på spann, konstruktionshöjd och grundläggning. En viss plats förutsättningar måste därför noggrant analyseras vid valet av brotyp så att bron blir möjlig att bygga samt både ekonomiskt och miljömässigt hållbar.

Nedan beskrivs brotyperna balkbro, plattbro, bågbro, hängbro och snedkabelbro utifrån följande punkter:

- Bärande system
- Grundläggning
- Produktion

2.1 Balkbroar

Idag är balkbron den vanligaste brotypen i Sverige och landets längsta balkbro är Ölandsbron som mäter över 6 km. Balkbron kännetecknas av sina underliggande balkar (se Figur 2).



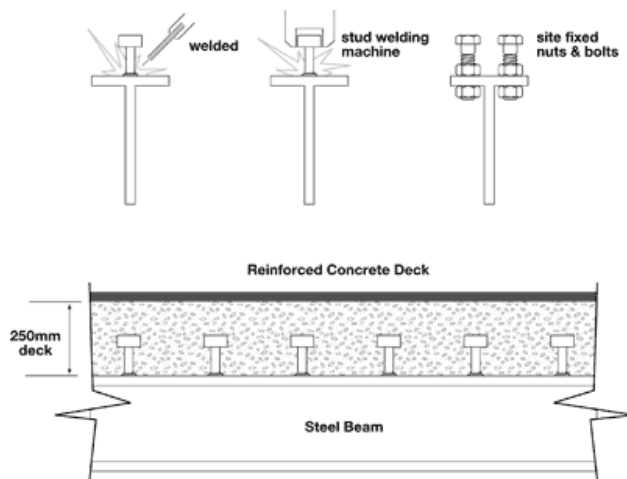
Figur 2. Balkbro med två parallella lådbalkar i stål.

2.1.1 Bärande system

Brospannet bärs upp av en eller flera balkar där lasterna förs ner vertikalt till marken via stödpelare. När balken belastas uppstår tryckspänning i dess överkant och dragspänning i dess underkant. Hur mycket last balken klarar att bära beror främst på hur stort spannet mellan stöden är, vilket material balken är gjord av samt balkens dimensioner. Genom att införa fler stöd skapas möjligheten att bygga en längre bro i flera spann (Outerbridge, 1989).

Balkbroar för biltrafik uppförs vanligen i slakarmerad betong, spännarmerad betong eller i en samverkanskonstruktion av stål och betong. De går även att bygga i trä. Slakarmerad betong används vanligtvis för spännvidder mellan 15 och 20 m medan spännarmerad betong är fördelaktigt i spann över 25 m. Konstruktionshöjd spelar också roll i valet mellan slak- eller spännarmerad betong då konstruktionen går att göra slankare med spännarmerad betong (Ronnebrant & Glans, 1996).

Balkbroar med bärande element av stål byggs vanligtvis som samverkansbroar vilket innebär att brobaneplattan är i betong och sammanlänkas med studs på stål balkarnas överflänsar (se Figur 3). Genom att låta betongen och stålet samverka stabiliseras bron i sidled och materialens hållfasthetsegenskaper i drag och tryck utnyttjas maximalt. Anledningen till att samverkansbroar är vanligt förekommande är att en brobaneplatta helt i stål är mycket dyr och används endast då låg egenvikt är av stor betydelse. För en balkbro i stål utgör stålkostnaderna en stor del av brokostnaden, ca 30 till 40 % för en samverkansbro. En balkbro i stål klassas som en lättare konstruktion och är känsligare mot påkörning än en bro i betong. Den fria höjden över vägbanan måste därför ökas från 4.7 till 5.20 m (Lindén, 2014). En balkbro i trä har samma krav på fri höjd som balkbron i stål eftersom även denna konstruktion kan skadas allvarligt vid påkörning (Svenskt Trä, 2014).



Figur 3 - Visar studs som sammanlänkar stål balk med betongplatta (REIDsteel, 2014).

2.1.2 Grundläggning

Om brolängden är maximalt 60 till 90 m (beroende på ortens temperaturspann) behöver inte en balkbro i betong landfästas då temperaturrörelser är försummande små. Om lutande mellanstöd valts för bron måste den grundläggas på berg eller mycket fast friktionsjord på grund av de stora horisontalkrafterna (Ronnebrant & Glans, 1996).

2.1.3 Produktion

Ur produktionssynpunkt kan stålbalkbron vara fördelaktig gentemot betongbalkbron då inga ställningar behövs vid montage. Balkarna kan här istället lyftas på plats eller lanseras ut från ena landfästet (lansering innebär att ståldelen av överbyggnaden byggs klar vid sidan av dess egentliga placering och skjuts sedan på plats, ovanpå stöden, med hjälp av motordrivna domkrafter). Detta är fördelaktigt om byggtiden är knapp. Vid ombyggnation av överbyggnaden kan också stålbalkar vara att föredra framför betong p.g.a. dess låga vikt (Ronnebrant & Glans, 1996). En mindre balkbro i trä kan byggas helt eller delvis klar i fabrik och sedan lyftas på plats, något som minskar tiden för trafikavstängning (Moelven, 2012).

2.2 Plattbroar

Plattbroar har liknande verkningssätt som balkbroar men till skillnad från dessa kombinerar de både huvudbärverk och farbana i samma konstruktion (se Figur 4). Denna typ av broar byggs vanligtvis i betong eller trä eftersom en platta i stål inte är kostnadseffektivt för detta syfte. Plattbron i trä byggs med tvärsända plattor, en teknik som utvecklades i Kanada men som blivit alltmer populära i Norden under senare år (Svenskt limträ, 2014).



Figur 4. Plattbro i betong (Rutgersson, 2008).

2.2.1 Bärande system

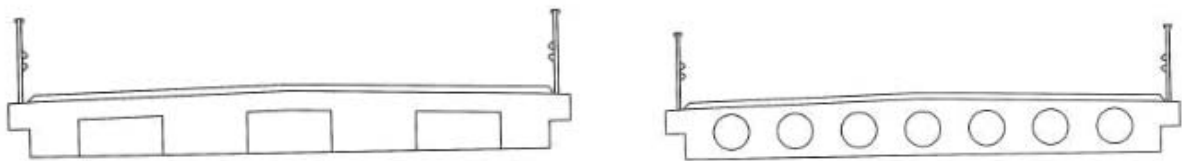
Konstruktionsmässigt är plattbroar väldigt lika balkbroar. Det som tydligast avgör om en bro är en plattbro istället för en balkbro är om huvudbärverket utgörs av ett element med en bredd på minst fem gånger dess höjd. Plattbron är fördelaktig på korta spännvidder eller om konstruktionshöjden är begränsad. Normalt utformas plattan med samma tjocklek längs hela spannet och för fritt upplagda broar i ett spann bör konstruktionshöjden vara minst 5,5 % eller 4,2 % av den teoretiska spännvidden för slakarmerad respektive spännarmerad betong. Om plattan är i slakarmerad betong går det att göra upp till 25 m lång i flera spann och upp till 18 m i ett spann (Ronnebrant & Glans, 1996). Spännarmerad betong klarar av spann upp till 35 m medan plattbroar i trä går att bygga upp till ca 25 m (Rutgersson, 2008).

2.2.2 Grundläggning

Om bronns totala längd underskrider 70 m går plattan att avsluta direkt mot vägbanken med en ändskärm. Plattbron går att bygga med förhöjd grundläggning vid ändstöden där grundläggningen är placerad en bit upp i vägbanken. Bottenplattan skyddas då av en ändskärm och den påverkas inte av horisontalkrafter (Rutgersson, 2008).

2.2.3 Produktion

Vid spännvidder runt 20 m påverkas plattans nedböjning till stort del av dess egentyngd. För att reducera egentyngden samt minska materialmängden går plattan att tillverka med hålursparningar eller som ribbalkar (se Figur 5). På grund av att en hålursparad platta blir mycket tätarmerad bör den inte förspännas (Ronnebrant & Glans, 1996). Hålursparningar eller ribbalkar leder till mer komplicerad armering samt formsättning, en merkostnad som får vägas mot de besparingar som görs med minskad betongåtgång (Ehlorsson & Palmqvist, 2010). För en plattbro i trä tillverkas bronbaneplattan av limträbalkar. Konstruktionen blir enkel att montera och den har även god lastfördelande förmåga och behöver inte något särskilt vindförband då den är styv i sidled (Rutgersson, 2008).



Figur 5 - Till vänster visas ett tvärsnitt av en platta med ribbalkar. Till höger visas en hålursparad platta (Rutgersson, 2008).

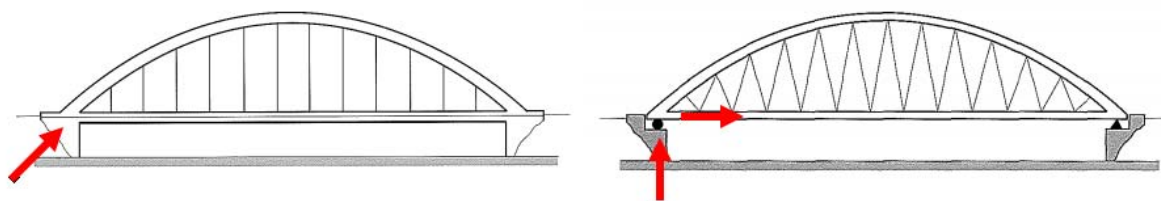
2.3 Bågbroar

Bågbron är en utveckling av valvbron som funnits i över 6000 år (Chen & Duan, 1999). De tidiga broarna byggdes i sten, och då murverket inte kunde ta upp dragspänningar uppfanns valvet. Principen bygger på att varje sten i valvet endast utsätts för centriskt tryck. Den moderna bågbron byggdes först i gjutjärn på slutet av 1700-talet, men har moderniserats och idag är det vanligast med konstruktioner i betong eller stål. De bygger dock fortfarande på principen att det är materialets tryckhållfasthet som utnyttjas (Brockenbrough & Merritt, 2011). Bågbroar förekommer i spännvidder från några meter till upp emot 600 m (Brockenbrough & Merritt, 2011). Förr var det en vanlig brotyp för broar över 60 m, men idag har den hård konkurrens av balkbroar i spännarmerad betong eller stål (Ronnebrant & Glans, 1996). Bågbron anses däremot vara väldigt vacker och väljs av sina estetiska skäl.

2.3.1 Bärande system

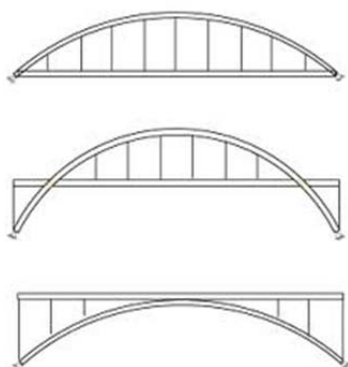
Bågbroar består av ett huvudbärverk och ett sekundärbärverk. Huvudbärverket består av en eller flera bågar. Bågarna kan vara utförda i armerad betong, stål eller trä. Bågens egentyngd ger upphov till tryckkrafterna och är den största bidragande faktorn till bärförmågan. Materialet på bågen kräver därför en hög tryckhållfasthet men inte en lika hög hållfasthet i drag (Rutgersson, 2008).

Bågen kan, om den är utformad i betong, vara fast inspänd i landfästena (i de så kallade båganfängen), alternativt utformad med betongleder. Bågar i stål eller trä kräver alltid leder utformade som fasta lager vid båganfängen. Bågarna kan även vara fritt upplagda på stöden med fasta och rörliga leder, så kallad Langerbalk (se Figur 6). Vid fritt upplagda bågar ingår även en huvudbalk med dragband i huvudbärverket. Huvudbalken kallas ofta för avstyvningsbalk och utgörs av brobanan (Rutgersson, 2008).



Figur 6. Båda dessa broar har överliggande båge men bågen till vänster är inspänd medan den till höger är fritt upplagd med dragband så kallad Langerbalk (Plos, 2014).

Sekundärbärverket fungerar som brobana och kan vara placerat över, mellan eller under huvudbärverket. Sekundärbärverket kan precis som huvudbärverket vara tillverkat av armerad betong, stål eller trä och kan vara uppbyggt av tvär- och längsgående balkar med en överliggande brobanaplatta eller en kontinuerlig platta. Beroende på hur bågbron är konstruerad med över- eller underliggande brobana (se Figur 7) förbinds huvud- och sekundärbärverket med hängstag eller pelare placerade på bågen (Rutgersson, 2008).



Figur 7. Olika utformningar av en bågbro. Underliggande, mellanliggande och överliggande brobana (Svenskt limträ, 2014).

2.3.2 Grundläggning

Bågbron kräver goda grundläggningsförhållanden. Då bågen ger upphov till både horisontella och vertikala krafter kräver bågbroar oftast grundläggning ner till fast berg. Om bron däremot är utformad som en fritt upplagd Langerbalk med dragband krävs inte lika omfattande grundläggning. Dragbanden tar då upp de horisontella krafterna och bågbron kan grundläggas som en balkbro (Rutgersson, 2008).

2.3.3 Produktion

Beroende på material har bågbroarna olika produktionsmetoder. Träbroar är till största delen tillverkade av limträ. Limträbalkarna är alltid prefabricerade i en eller flera delar och kan på grund av sin lätta vikt lyftas på plats med hjälp av kranar (Fröbel, et al., 2012).

Betongbroar konstrueras ofta med en temporärbyggd gjutform som håller upp bågen tills den nått tillräcklig hållfasthet för att bära sig själv. En annan metod som används är gjutning med hjälp av klätterformar som hängs i tidigare gjuten etapp och där bågen hålls upp av kablar till dess att den är färdiggjuten. Betongbroar kan också prefabriceras och monteras med hjälp av kranar. Varje element spänns då fast med temporära kablar tills det sista elementet är på plats.

I vissa fall kan det för fritt upplagda bågbroar vara ekonomiskt att prefabricera hela Langerbalken och lyfta den på plats. Detta kräver dock gynnsamma förhållanden när bron lyfts på plats (Chen & Duan, 1999).

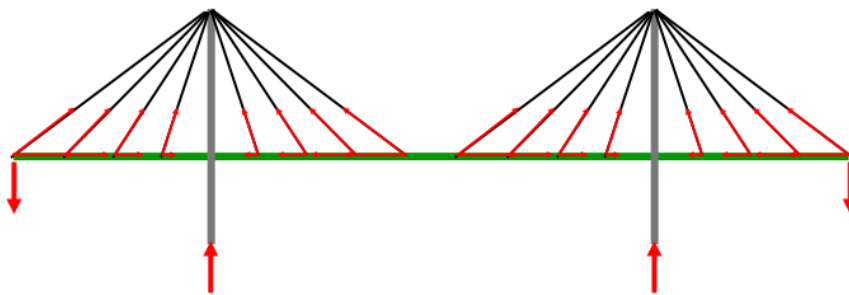
Stålkonstruktioner byggs vanligen med hjälp av temporärbryggor eller tillfälliga kablar som håller upp den ofullständiga bågen och där stålelementen lyfts på plats med kranar. Det finns också en metod där bågen delas i två delar och byggs i ett vertikalt läge på varsin sida om spannet. När den sedan är klar vinklas båda delarna ner och fästs samman. I gynnsamma fall är det även möjligt att bygga bågen som två konsolbalkar som möts på mitten. Detta kräver att bågen är fast inspänd i berg. Ofta behövs även bakåtspända kablar för stötta konsolerna (Brockenbrough & Merritt, 2011).

2.4 Snedkabelbroar

Snedkabelbron introducerades i Sverige 1955 då Strömsundsbron byggdes och har sedan dess blivit en förekommande brotyp (Ronnebrant & Glans, 1996). Brotypen är ett bra koncept då stora spännvidder ska övervinnas. Vanligast används dessa broar i spann mellan 100 och 500 m där denna brotyp presterar bättre än bågbron och hängbron. På senare år har spann runt 1000 m börjat byggas. Att snedkabelbroar har blivit allt mer populära beror bland annat på estetik, bättre styvhet än hängbroar och att produktionen av bron är effektiv (Bannazadeh, et al., 2012).

2.4.1 Bärande system

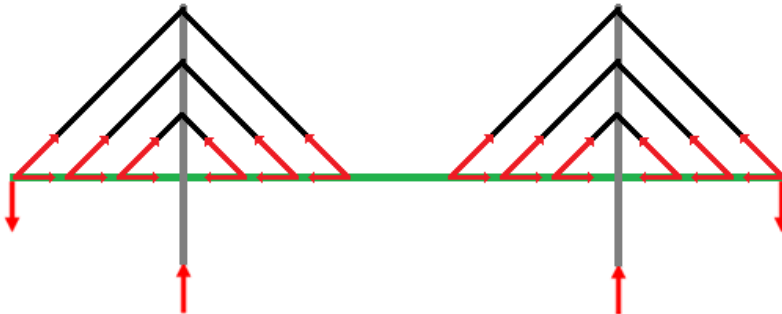
Snedkabelbroar består i princip av tre konstruktionsdelar: pyloner, kablar och förstärkningsbalk. Dessa tre konstruktionsdelar bildar en triangel där lasterna på bron tas upp av respektive konstruktionsdel (se Figur 8). Kablarna bär endast dragkrafter medan pylonen för ner trycklaster. Dessa typer av broar blir ofta stora i längs- och höjddled och behöver därför dimensioneras för egentygnd och vindlast (Rutgersson, 2008).



Figur 8. Kraftspelet som uppstår i en snedkabelbro. Kablarna är dragna och pylonerna tryckta (Plos, 2014).

Det finns tre olika sätt att arrangera kablarna längs pylonen. Dessa tre kallas solfjäderform, halv-solfjäderform respektive harpliknande arrangemang (Ronnebrant & Glans, 1996). I solfjäderform förankras alla kablar längst upp i pylonen vilket dock kan bli problematiskt då antalet kablar är många. För att komma runt detta kan halv-solfjäderform vara aktuellt då kablarna fördelas i grupper över pylonen som inte förankras på samma ställe. Harp-arrangemang betraktas som det mest estetiskt tilltalande (se Figur 9) (Bannazadeh, et al., 2012). I denna upphängning är kablarna parallella med varandra. Metoden kräver större

kabel- och pylondimensioner då momentet i pylonen samt tryckkraften i förstärkningsbalken blir större (se Figur 9). Normalt bärs brodäcket upp av två kabelplan längs kanterna men i kortare spännvidder kan en upphängning i ett kabelplan ofta förekomma då kabelplanet är i brodäckets centrumlinje (Ronnebrant & Glans, 1996).



Figur 9. Snedkabelbro med harp-arrangemang.

Materialvalet på bron varierar med storleken. Oftast är pylonerna i betong då bron har större spännvidder (Ronnebrant & Glans, 1996), men kan också förekomma i trä vid mindre snedkabelbroar som enbart agerar gång- och cykelbana (Rutgersson, 2008). Brodäcket kan också variera i materialval då däck helt i betong förekommer men också ett samverkansdäck mellan betong och stål är möjligt (Ronnebrant & Glans, 1996). Tvärsnittet på stål balkarna är oftast en ställåda men kan variera beroende på storleken av bron (Rutgersson, 2008).

2.4.2 Grundläggning

Grundläggningen av pylonerna kräver nästintill alltid pålning till berg eller väl packad friktionsjord (Rempling, 2014).

2.4.3 Produktion

Vid produktionen av bron behövs inga ställningar då ”Fritt fram”-metoden ofta tillämpas. Pylonen utgör starten för bygget och sedan monteras kablar och förstärkningsbalk i takt med varandra horisontellt ut från pylonen. Viss problematik kan uppstå vid uppförandet av bron på grund av svag sidstyvhet (Ronnebrant & Glans, 1996).

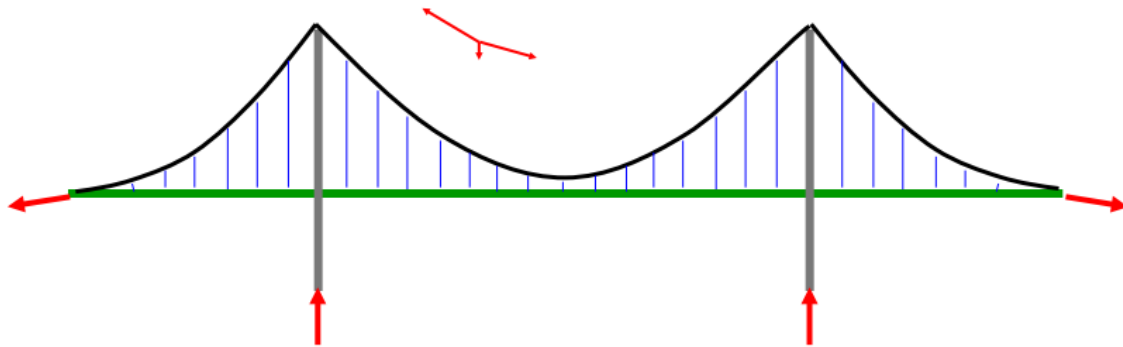
2.5 Hängbroar

Tekniken bakom hängbron är mycket gammal. Den började användas tidigt då rep spändes upp mellan två fasta punkter och plankor knöts fast för att möjliggöra en passage över ett stup eller ett vattendrag (Chen & Duan, 1999). Hängbroar används väldigt ofta, näst intill uteslutande då långa spann ska övervinnas (Zhao & Tonia, 2012). Världens längsta bro är av denna typ och mäter 1990 m (Plos, 2014).

2.5.1 Bärande system

Brotypen består precis som snedkabelbron av tre konstruktionsdelar: pyloner, kablar och förstärkningsbalk. Huvudkablarna är i detta fall uppspända över två pyloner och är sedan vanligtvis förankrade i berg. Kabelsystemet består av huvudkablar och kablar som hänger ner från huvudkablarna och förankrar förstärkningsbalken till huvudkablarna (se Figur 10). Då bron i sin helhet blir väldigt stor är egentyngd och vindlast dimensionerande laster i bruksstadiet.

Pylonerna byggs i betong och på grund av vindlast byggs ofta brobanan slank så att lasten reduceras, detta ofta med en sluten ställåda (Rutgersson, 2008).



Figur 10. Statiskt verkningsätt för en hängbro. Kablarna utsätts för drag medan pylonerna utsätts för tryck (Plos, 2014).

2.5.2 Grundläggning

Framförallt huvudkablarna utsätts för stora dragkrafter och dessa behöver därför förankras i berg. I något enstaka fall har istället ett massivt betongfundament använts vilket förankrat kraften i marken. Pylonerna utsätts för stora tryckkrafter, vilket leder till att dessa bör grundläggas ner till berg (Rutgersson, 2008).

2.5.3 Produktion

Vid produktionen av hängbron byggs först pylonerna och sedan spänns huvudkablarna upp över pylonerna in i berget. Efter detta tas del för del av förstärkningsbalken och fästs ihop med de hängande kablarna så att en brobana tar form. Det behövs inga tillfälliga ställningar vid byggnationen (Ronnebrant & Glans, 1996).

3 Material

Idag byggs broar främst i betong, stål och trä varav betong och stål är de mest förekommande materialen för längre broar med hög last. Samtliga tre material har kommit att revolutionera brobyggandet under de epoker då de införts och användningen av trä i bärande system ökar nu återigen efter att nästan ha försvunnit under 1900-talet. Ett material som i framtiden kan komma att förändra brobyggandet är fiberkompositmaterial, då det både är lättare och har högre hållfasthet än stål. Dock används det idag i mycket liten utsträckning och enbart i pilot- eller prestigeprojekt.

Vid utformandet av en bro krävs det att rätt material väljs för att den ska uppfylla ställda krav. Ibland är valet av material uppenbart, till exempel att kablarna på en hängbro lämpas bäst i stål, medan det i andra fall finns flera materialmöjligheter. Vid val av material bör aspekter som kostnad, tillgänglighet, produktionsmöjligheter och miljöpåverkan tas i beaktning. I syfte att ge en bakgrund till materialval för respektive brotyp presenteras här nedan betong, stål och trä utifrån följande punkter:

- Egenskaper och uppbyggnad
- Underhåll

3.1 Betong

Betongliknande material togs i bruk för över 2000 år. Betongen användes då på ett liknande sätt som idag och det byggdes till exempel bostadshus, broar och hamnar, där flertalet av dessa byggnadsverk finns bevarade än idag. Ett av dåtidens största och mest sensationella byggnadsverk som finns bevarade är Pantheon i Rom som är en fribärande betongkupa med hela 45 m i spännvidd. Efter att ha fallit i glömska under längre tid är det nu ett det mest använda byggnadsmaterialet (Burström, 2007).

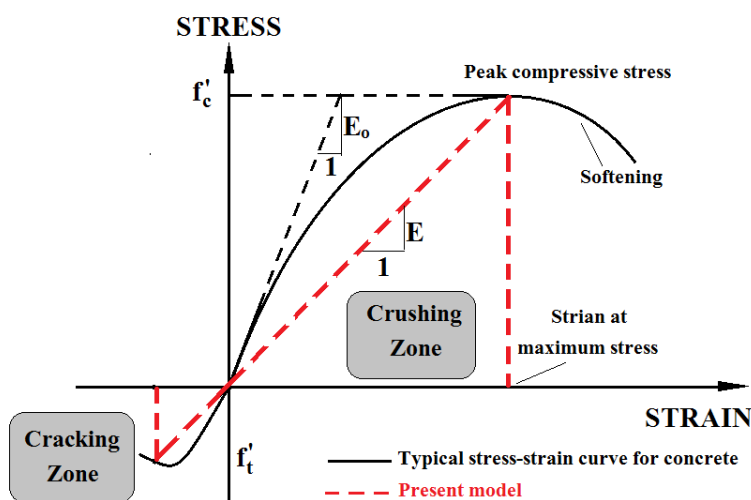
3.1.1 Egenskaper och uppbyggnad

Betongens viktigaste egenskaper är god beständighet, formbarhet och hållfasthet. Betongen används främst i bärande konstruktioner och stommaterial, men även i miljöer där materialet blir utsatt för stora påfrestningar i form av nötning och fukt. Några exempel på sådana miljöer är husgrunder, vägar och broar (Burström, 2007).

Huvudbeståndsdelarna i betong är cement, vatten och ballast. Idag är det även vanligt att använda olika tillsatsmedel och tillsatsmaterial i betongen för att påverka dess egenskaper, dels under gjutning och dels själva slutresultatet. Dessutom kan man genom att variera mängderna av betongens beståndsdelar framställa betong med olika egenskaper. Till exempel beror betongens slutgiltiga hållfasthet starkt av mängden vatten och cement som används vid blandningen. Kvoten av mängden blandningsvatten och mängden cement brukar kallas vattencementtalet, vct. Desto högre vct blandningen har (mindre mängd vatten per kubikmeter betong), desto högre hållfasthet uppnår betongen efter härdning. Det är även en av orsakerna till varför det idag ofta används tillsatsmedel i betongen. Till exempel möjliggör flyttillsatsmedel en minskning av andelen blandningsvatten och därmed ökad hållfasthet utan att konsistensen på betongen påverkas. Andra vanliga typer av tillsatsmedel är: vattenreducerande, luftporbildande, acceleratorer och retarder. Vattenreducerande

tillsatsmedel minskar friktionen mellan betongens fasta partiklar vilket leder till ökad arbetsbarhet, minskat vattenbehov och därmed även ökad hållfasthet vid oförändrad cementhalt. Luftporbildande medel leder till att det i cementpastan uppstår stora mängder mycket små och finfördelade luftporer. Detta är en viktig komponent för att göra betongen frostbeständig och därmed undvika sönderfrysning. Acceleratorer accelererar betongens hållfasthetstillväxt men påskyndar även tillstyvnadsförloppet. Retarder eller retarderande tillsatsmedel har istället motsatt effekt och skapar en fördröjning av betongens hållfasthetstillväxt och tillstyvnad. Detta är fördelaktigt under transporter och varma dagar (Burström, 2007).

Betong är i allmänhet starkt i tryck men betydligt svagare för dragkrafter. Vanligen är dess dragkapacitet endast ca 10 procent av tryckhållfastheten (se Figur 11). När betongkonstruktioner belastas kan delar av den utsätts för dragpåkänningar vilket leder till sprickbildning även vid relativt små belastningsnivåer. För att kunna uppnå kraftjämvikt i systemet används betongen nästan alltid tillsammans med någon sorts armering, vanligen stålstänger, som gjuts in i betongen. Armeringens främsta uppgift är att överföra dragkrafter i konstruktionen efter det att tidigare dragna zoner spruckit upp (Al-Emrani, et al., 2013).



Figur 11 - Arbetskurva för betong i drag- och tryckspänning. Tryckspänningar definieras positivt i figuren (Hariri-Ardebili & Mirzabozorg, 2011).

3.1.2 Underhåll

För att betongen skall hålla så länge som möjligt och inte skadas behöver den skyddas från kloridinträngning och karbonatisering. Vid kloridinträngning tränger klorider in i betongen och koncentrationen avtar sedan med djupet. Det är först när ett visst tröskelvärde nås vid betongens yta och kloriderna har nått in till armeringen som korrosionen startar. Korrosionen på armeringen sker ofta i form av gropfrätning, vilket kan leda till att armeringen rostar av helt (Burström, 2007). För att undvika kloridinträngning kan betongen ytbehandlas. Ytbehandlingen behöver förbättras minst vart tionde år (Örtendahl & Holmström, 1994).

Vanligtvis ligger armeringen i ett passivt tillstånd och kan inte korrodera på grund av betongens höga alkalitet ($\text{pH} > 12.5$). Detta passiva tillstånd kan dock brytas av antingen

kloridinträngning eller karbonatisering. Vid karbonatisering tränger koldioxid, CO_2 , från den omgivande luften in som en relativt väldefinierad front och reagerar med kalciumhydroxiden i betongen. Den karbonatiserade betongen får ett sänkt pH-värde (till ca pH 9,5) och därmed upphör armeringens passiva tillstånd och den börjar rosta (Burström, 2007). För att undvika rostskador på armeringen på grund av karbonatisering är det viktigt att använda sig av ett tillräckligt tjockt täckande betongskikt samt att byta ut det täckande betongskiktet vid behov (se Figur 12) (Örtendahl & Holmström, 1994).



Figur 12 - Den rosa indikatorn visar okarbonatiserad betong (Andersson, 2013).

3.2 Stål

Fynd i Israel och på Cypern tyder på att tekniken för att ta fram stål varit känd i över 3000 år. Det hade då upptäckts att järn som under en längre tid upphettades på en kolbädd tog upp kol. En sådan legering av kol och järn innebar alltså världens första stål (Norberg, 2001).

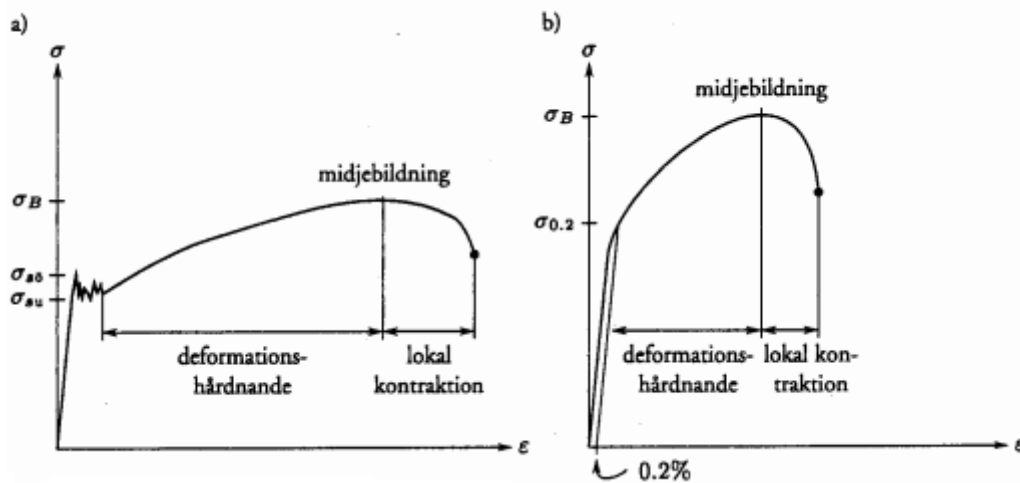
Västvärldens första stålbro är belägen i Industriella revolutionens födelseort Shopshire i England och har det pedagogiska namnet Ironbridge. Bron byggdes 1781 i form av en bågbro som spänner 30,5 m och konstruerades för transporten av kalk och kol över floden (UNESCO, 2014).

3.2.1 Egenskaper och uppbyggnad

Vanligtvis avses med stål en legering där kol är det viktigaste legeringsämnet på ca 0,5-2 % och större delen är järn. Dock kan det finnas en mängd andra ämnen inblandade, till exempel krom, vilka kan påverka stålets egenskaper. Stål har flera egenskaper som gör det intressant ur byggnadsteknisk synpunkt då stål är:

- i stort sett återanvändningsbart
- formbart plastiskt såväl i varmt som kallt tillstånd
- möjligt att påverka dess egenskaper genom olika legeringar
- flera legeringar är magnetiska
- det går att härda genom en mängd olika processer

Traditionellt konstruktionsstål S355 har en sträckgräns på 355 MPa medan höghållfast stål kan ha en sträckgräns uppåt 1300 MPa. Densiteten ligger på ca 7800kg/m³ (Ullman, 2003). Figur 13 visar arbetskurvorna för två olika typer av stål.



Figur 13 - Figuren till vänster visar arbetskurvan för mjukt stål medan figuren till höger visar arbetskurvan för legerat stål (Lunds Tekniska Högskola, 2014).

3.2.2 Underhåll

Det finns en del grundläggande åtgärder som kan vidtas för att begränsa korrosion av stål. Dessa utgörs till största delen av olika skyddande beläggningar. Nedan listas de vanligaste av dessa:

- *Inhibitive primers.* Dessa färger är i allmänhet förhållandevis giftiga och/eller miljöfarliga. Produkter har tagits fram i syfte att minska dessa bieffekter men har generellt resulterat i ett sämre skydd.
- *Sacrificial primers.* Denna typ av ytbeläggning skapar en elektrokemiskt negativ yta som utgör anod och gör stålet till katod. Zink är ett vanligt val av ämne som är förhållandevis ofgiftigt. Det största problemet med ytbeläggningen i samband med broar är de stora dimensioner konstruktionsdelarna får. För att applicera färgen sänks konstruktionsdelarna ner i bad av färgen och generellt överstiger dessa bad inte 20 m i diameter.
- *Barrier coatings.* Barriärsystemet är designat för att hindra vatten, syre och joniskt material från att komma i kontakt med den underliggande stålytan.
- *Weathering steel.* Mest känt under varumärket Cor-ten, är en samling legeringar framtagna för att eliminera behovet av målning. En stabil och skyddande rost-lik yta bildas vid utomhusbruk (se Figur 14) efter ett par år och ger ett signifikativt utseende. Materialet lämpar sig dåligt i allt för fuktiga miljöer, till exempel över vattendrag, men har använts i stor utsträckning inåt landet i framförallt USA (Brockenbrough & Merritt, 2006).



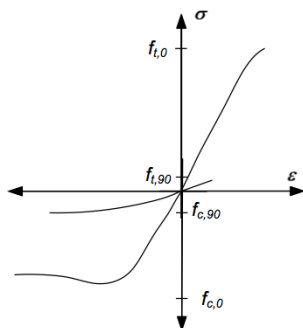
Figur 14. Bro i Cor-ten-stål (dezeen magazine, 2010).

3.3 Trä

Av dagens tre dominerande byggnadsmaterial är trä det som använts under längst tid (Burström, 2007). Användningsområdena har varit många. Under större delen av 1900-talet minskade det dock kraftigt som konstruktionsmaterial för broar. På senare år har användningen av trä i broars bärande system åter ökat. Detta beror på att kunskapen kring materialets hållfasthets- och deformationsegenskaper tillsammans med förmågan att analysera nedbrytningsprocesser ökat (Al-Emrani, et al., 2013). Trä har jämfört med stål och betong en miljömässig fördel då det är ett förnyelsebart material.

3.3.1 Egenskaper och uppbyggnad

Trä har en hållfasthet som i förhållande till sin vikt är högre än densamma för betong och stål. Trä innehar dock egenskaper som vid felutnyttjande kan leda till skador som i sin tur kan leda till brott. Därför är det viktigt att förstå dessa egenskaper för att på ett effektivt och säkert sätt kunna utnyttja materialet. (Dorf, 2004) Trä är ett kompositmaterial uppbyggt av tre huvudämnen: cellulosa, hemicellulosa och lignin. Mängderna av de olika ämnena varierar med träslag. Cellulosan bildar en rörformig struktur som binds ihop av lignin. Trä har högst hållfasthet i drag längs med dessa rör (se Figur 15), längs med fibrerna (Al-Emrani, et al., 2013).



Figur 15. Arbetskurva trä i olika riktningar (Segerholm, 2013).

Kvistar och andra ojämnheter bidrar till att trä kan ha en varierande hållfasthet även i fiberriktningen. Minskad påverkan av detta fås vid användning av limträbalkar, här sprids träets imperfektioner ut längs med balken. Limträbalken är en lamellkonstruktion där trälameller med fiberriktning parallellt limmas ihop. Limträbalken utvecklades för att kunna skapa större virkesdimensioner och därmed högre hållfasthet (Al-Emrani, et al., 2013).

Trä är brännbart och det antänds vid temperaturer kring 250 grader Celsius. Fram till temperaturer på kring 175 grader Celsius har trä kvar nästan hela sin hållfasthet (Dinwoodie, 2000).

3.3.2 Underhåll

Trä är jämfört många andra material motståndskraftigt mot flertalet kemikalier, däribland svaga syror. (Dinwoodie, 2000) Fukt påverkar dock kraftigt träets egenskaper. Blir träet fuktigt och inte tillåts torka ut ordentligt finns stor risk för biologiska angrepp och således nedbrytningsprocesser (Burström, 2007). Vid utomhuskonstruktioner bör trä därför alltid hållas torrt med hjälp av någon form av täckskikt (Ekholm, 2014).

4 Första utvärderingen – från fjorton till sju brokoncept

Utifrån en systematisk kombination av olika material och brotyper togs först fjorton brokoncept fram. För att ta fram vilka av dessa broar som är tekniskt realistiska att bygga utvärderas de utifrån kraven på spannlängd, konstruktionshöjd samt grundläggning. Kraven grundas i den tekniska beskrivningen och de förutsättningar som presenterats. Om kriteriet uppfylls markeras rutan med ett grönt V och om kriteriet inte uppfylls markeras rutan med ett rött X (se bilaga 3).

4.1 Förklaring av kriterier

Brokoncepten behandlas utifrån de fyra ovanstående kraven. Kravet på spannlängd kan uppfyllas på två sätt då spannet varierar beroende på antal stöd.

- Spann 38 m: Dimensionerande spann om stöd placeras ut på respektive sida av vägbanan
- Spann 19 m: Dimensionerande spann om samma stöd som för spann 38 m används samt att ett ytterligare stöd placeras mellan körfälten.
- Konstruktionshöjd 0,955 m respektive 1,455 m: Konstruktionshöjden får för lätta konstruktioner max uppgå till 0,955 m, det vill säga om överbyggnaden är i stål eller trä. Om överbyggnaden är i betong får konstruktionshöjden max uppgå till 1,455 m.
- Grundläggning: Ska ske på betongpålar där varje enskild påle är spets- och mantelburen och där huvuddelen av bärförmågan erhålls längs manteln i friktionsjord.

4.2 Resultat och kommentar av första utvärderingen

Följande sju brokoncept valdes ut utifrån de ursprungliga fjorton förslagen:

- Balkbro i betong
- Balkbro i stål
- Bågbro i trä
- Bågbro i stål
- Bågbro i betong
- Plattbro i trä
- Plattbro i betong

För fullständig utvärdering se bilaga 3

Ingen av häng- och snedkabelbroarna kvalificerade sig då grundläggningen inte ansågs tillräcklig för dessa. Balkbron i trä ströks då balkarna uppskattningsvis skulle ha fått för stora dimensioner vilket medfört att maximal konstruktionshöjd överskrids. Bågbroarna anses klara grundläggningen om de är fritt upplagda. Plattbro i betong eller trä anses vara möjliga att bygga för längsta spann på 19 m. Dock går dessa inte att bygga med spann på 38 m. Efter första utvärderingen återstår sju brokoncept.

5 Andra utvärderingen – från sju till tre brokoncept

För att hitta de bättre lämpade alternativen av de sju brokoncepten som klarade kriterierna för grundläggning, konstruktionshöjd och spännvidd ställs sex nya kriterier upp. Dessa sex kriterier är estetik, konstruktionskostnad, underhåll, tid, miljö samt säkerhet.

5.1 Förklaring av kriterier och poängsättning

Kriterierna är tänkta att ge en överblick för att kunna uppskatta och särskilja de olika brokonceptens lämplighet. Konzepten kan i varje kriterium få mellan 1-3 poäng där tre är det bästa betyget. För att underlätta betygssättningen delas varje kriterium in i brotyp (1-3p) och material (1-3p) som sedan slås ihop till ett samlat betyg. I vissa fall anses antingen brotyp eller material utgöra en större del av kriteriet och kan därför multipliceras med en faktor 2. För att kriterierna ska kunna jämföras med varandra normeras de därefter så att slutpoängen blir mellan 1-3p. Se bilaga 4 för en fullständig resultatmatris.

Exempel – Estetik

Brotypen anses utgöra en större del av kriteriet och får en faktor 2. Brotyp betygsätts då mellan 2-6p.

Material betygsätts mellan 1-3p.

En bågbro i betong får maxpoäng i brotyp (6p) men lägsta poäng i material (1p). Detta ger sammanlagt 7 poäng. För att normera betyget delas poängen med 3. Slutpoängen blir då $7p/3=2,33p$

5.2 Estetik

Estetik är ett filosofiskt och psykologiskt begrepp och det är därför svårt att definiera vad en estetiskt tilltalande bro är (Chen & Duan, 1999). I Sverige har många broar byggts främst utifrån ekonomi och brons tekniska egenskaper. På senare år har det dock blivit viktigare med brons gestaltning. Vägverket har gjort undersökningar hos allmänheten där resultatet visat ett positivt intresse till de broar där Vägverket tagit särskild hänsyn till den estetiska utformningen (Gabrielsson, 2000).

Bron vid Ulricehamnsmotet ska ha en dimensionerad teknisk livslängd på 80 år vilket gör det viktigt att ta brons gestaltning i beaktande. I konceptets gestaltning kan det identifieras fyra viktiga kriterier (Gabrielsson, 2000): brons inpassning i landskapet, geometrisk formgivning, materialval och färggivning. I denna utvärdering ligger fokus på den geometriska formgivningen och materialval. I detta utvärderingsskede kan den geometriska formgivningen endast ta hänsyn till brotyp och inte eventuella måttskillnader och antal stöd. Materialkriteriet tar även hänsyn till färggivning, då materialvalet styr behovet och möjligheten av färgsättning.

Det första kriteriet, brotyp bedömdes med poäng från 1-3. Detta kriterium ansågs extra viktigt eftersom brotypen tydligt syns både från långt och nära håll. Poängen multiplicerades därför med en faktor 2. Det andra kriteriet, material, bedömdes även detta med poängen 1-3 men utan multiplikation med faktorn 2.

5.2.1 Estetik utifrån brotyp

Bågbron anses vara den mest estetiskt tilltalande brotypen av de tre och får därför 2x3 poäng (Chen & Duan, 1999; Ronnebrant & Glans, 1996). Balkbron och plattbron är utseendemässigt relativt lika. Då möjligheterna till bland annat längre spännvidd finns hos balkbron får denna 2x2 poäng och plattbron 2x1 poäng.

Brotyp:

Bågbro	6p
Balkbro	4p
Plattbro	2p

5.2.2 Estetik utifrån material

Materialet har stor betydelse för hur bron uppfattas på nära håll. Trä får 3 poäng då det är ett naturligt och vackert material med stora möjligheter till färggivning. Även stål får 3 poäng då det går att bygga slanka konstruktioner. Stålbroar har också stora möjligheter till färggivning. Betong får 1 poäng då det är svårare att bygga slanka konstruktioner. Färggivningen är också något begränsad (Gabrielsson, 2000).

Material:

Trä	3p
Stål	3p
Betong	1p

5.3 Konstruktionskostnad

För att göra en rimlig kostnadsbedömning studeras brokoncepten utifrån brotyp respektive material. Båda dessa kriterier värderas lika högt.

5.3.1 Konstruktionskostnad utifrån brotyp

Balkbroar och plattbroar är enkla konstruktioner som ofta är kostnadseffektiva. Dessa broar byggs vanligtvis i kortare spann än bågbroar. Vid längre broar kräver platt- och balkbroar flera stöd vilket ökar kostnaderna (Brockenbrough & Merritt, 2006). För balkbroar är det både ekonomiskt och tekniskt fördelaktigt att använda en hög balkhöjd om utrymmet tillåter detta. Plattbron är normalt mer kostnadseffektiv att bygga på spännvidder över 16 till 18 m än för kortare spann. Kostnadsmässigt kan det vara en nackdel för plattbron att den inte går att lansera ut. Plattbroar i betong måste lyftas på plats eller platsgjutas (Ronnebrant & Glans, 1996).

I förhållande till balk- och plattbroar är bågbroar kostnadsmässigt konkurrenskraftiga i spann mellan 60 till 250 m. Vid längre spann blir uppförandekostnaderna väldigt stora. Generellt byggs dock inte bågbroar för att de är det mest kostnadseffektiva förslaget, utan för att estetiska aspekter prioriteras (Wright, 2012).

Förhållandet mellan spann och höjd på båge är vanligtvis 1:5 till 1:6. Om förhållandet hålls i detta intervall påverkas kostnaden mycket lite. Bågen går att tillverka som en jämn cirkelbåge eller som flera sammanfogade segment. Ur estetisk synpunkt är den jämna och homogena

bågen bättre, dock blir både tillverknings- och materialkostnader högre i detta fall (Brockenbrough & Merritt, 2006).

I en förstudie (Väg 1610 – Bro över Viskan) gjord av WSP för en bro med liknande spännvidder som bron i detta projekt, studerades kostnader för balk-, platt- och bågbro. Denna påvisade att balk- och plattbron hade liknande byggnationskostnader medan bågbro var dyrare än de två andra brotyperna (WSP, 2009).

I utvärderingsverktyget ges bågbro ett lägre betyg än de två andra brotyperna då fakta ovan tyder på att den är dyrare att uppföra. Konstruktionskostnaden för balk- respektive plattbro bedöms svåra att särskilja i ett tidigt stadium, därav får de samma betyg.

Brotyp:

Balkbro 2p

Plattbro 2p

Bågbro 1p

5.3.2 Konstruktionskostnad utifrån material

Generellt har stålbroar både högre investerings- och underhållskostnad än förspända betongbroar, vilket ofta är ett starkt argument till att många broar byggs i betong (Gupta, 2004). I en fallstudie av New Highway Bridge i Taiwan har en livscykelanalys gjorts över kostnaderna för stål respektive förspänd betong (se Tabell 1). De olika ytbehandlingsalternativen för stål innebär också olika kostnader utifrån livscykelperspektivet där galvaniserat stål i allmänhet är något dyrare än målat. Skillnaden i kostnad mellan de olika ytbehandlingsalternativen kan såklart dock variera relativt kraftigt beroende på vilken miljö konstruktionen ska uppföras i. Överlag påvisar studien att en bro i betong skulle vara billigare både än en målad stålbro respektive en bro i galvaniserat stål, medräknat att en vinst skulle kunna göras om stålet återanvänds (Huang & Chen, 2009).

Tabell 1. Livscykelkostnadsanalys på New Highway Bridge i Taiwan. (Huang & Chen, 2009)

	PC bridge(NT\$)	Steel bridge (painted)	steel bridge (galvanized)
Life cycle cost	2,664,441,154	2,906,390,826	2,939,165,496
per meter	1,351,822	1,474,577	1,491,205
per m ²	54,290	59,220	59,888
Economic ranking	1	2	3

På grund av enkel utformning av landfästen och grundläggning är träbroar vid rätt förutsättningar ofta ett billigare alternativ än betong- och stålbroar (Lundström, 2005).

I utvärderingen anses trä vara det billigaste materialet, följt av betong och sedan stål då fokus främst ligger på investeringskostnaden. Träbroarna anses rimliga att bygga i normala dimensioner och med tanke på att en träbro har lägre materialkostnader ges trä det högsta betyget. Fakta ovan tyder på att betongbroar är något billigare ur material- och uppförandesynpunkt än stålbroar, vilket gör att betong får högre betyg än stål.

Material:

Trä	3p
Betong	2p
Stål	1p

5.4 Underhållsaspekter

Brons utformning påverkar inspektionsmöjligheterna. Olika design innebär variation i åtkomlighet och således varierande svårighet vid inspektion (se Figur 16). Materialvalet påverkar vilka underhållsåtgärder som måste vidtas eftersom materialen kräver olika omfattande och olika många åtgärder (Jernström, 2014).



Figur 16 - Inspektion av en balkbro med hjälp av en kranbil (Transportation Blog, 2012).

Första parametern, underhållsaspekter utifrån brotyp, bedömdes med poäng mellan 1-3. Ett poäng gavs till den brotyp som medför flest svårigheter och tre poäng gavs till den av typerna som innebär minst använda resurser för detta ändamål. Den andra parametern, material, bedömdes utifrån materialens underhållskostnader. Också denna parameter gav mellan 1-3 poäng.

5.4.1 Underhållsaspekter utifrån brotyp

Bågbroar innehåller flest och har störst variation av element som måste inspekteras. Åtkomligheten kan också på vissa ställen vara begränsad i och med bågens utbredning. Balkbron och plattbron är i konstruktionen ganska lika, däremot innehåller balkbron fler ytor som måste inspekteras och åtkomligheten för inspektion av dessa kan i många fall vara begränsad (Bärckström, 2014). Detta gav fördelningen:

Brotyp:

Plattbro	3p
Balkbro	2p
Bågbro	1p

5.4.2 Underhållsaspekter utifrån material

Underhållskostnaden av en bro i stål är lägre än underhållskostnaden för en i förspänd armerad betong, detta oavsett om stålet är galvaniserat eller målat (Huang & Chen, 2009). Då trä blir fuktigt och inte tillåts torka ut finns det en stor risk för biologiskt angrepp vilket i sin tur startar en nedbrytningsprocess (Burström, 2007). Fuktexponering kan därför få stora konsekvenser och kräva omfattande underhållsåtgärder. Fördelningen av poängen blev därför som följande:

Material:

Stål	3p
Betong	2p
Trä	1p

5.5 Byggnationstid

Tiden för byggnationen av projektet varierar med både material och brotyp och är ofta beroende på hur mycket av bron som kan prefabriceras. Prefabriceringen gör det möjligt att förkorta tiden som krävs för själva monteringen ute på plats. För en korrekt betygssättning bedöms byggnationstiden både utifrån material och utifrån brotyp. Byggtid är här definierat som den tid som behövs på själva byggplatsen och beaktar därför inte tidsåtgången vid förtillverkningen i fabrik. Materialval anses ha större påverkan på byggnationstiden än brotypen då detta i stor utsträckning styr prefabriceringsmöjligheter, därav multipliceras materialpoängen med en faktor 2.

5.5.1 Byggnationstid utifrån brotyp

Tidsaspekter utifrån brotyp skiljer sig relativt lite. I grunden är konstruktionerna lika. Jämfört balk- och träbron är bågbron aningen mer tidskrävande då särskilda metoder och verktyg krävs för uppförandet av bågarna. Balkbron har jämfört med plattbron större prefabriceringsmöjligheter (Bärckström, 2014). Poängfördelningen blev därför som följer:

Brotyp:

Balkbro	3p
Plattbro	2p
Bågbro	1p

5.5.2 Byggnationstid utifrån material

Träkonstruktioner tillverkas nästan alltid i form av prefabricerade element på en fabrik. Detta då de ofta består av till exempel limträbalkar som kräver en god tillverkningsmiljö för att uppnå önskade egenskaper, men även då trä och dess egenskaper i allmänhet påverkas starkt av fuktinnehållet. Träkonstruktioner är överlag lätta, vilket också bidrar till en snabb och enkel byggprocess (Ekholm, 2014).

Det är även vanligt att stålkonstruktioner tillverkas på fabrik och anländer till byggplatsen i form av färdiga element, dock så kräver ofta sammanfogningen av elementen svetsning vilket tar mycket tid på byggarbetsplatsen då svetsar måste läggas, kontrolleras och godkännas innan nästa del kan monteras (Svahn, 2014).

Vid användandet av betong finns det möjlighet att använda antingen platsgjuten betong, prefabricerade element eller en kombination av de två. Vanligast i Sverige är platsgjuten betong. Vid användning av platsgjuten betong kräver betongen en viss tid för att härda och uppnå tillräckligt hög hållfasthet för att formen skall kunna tas bort och byggnationen skall kunna fortskrida. Poängfördelningen blev därför som följer:

Material:

Trä	6p
Stål	4p
Betong	2p

5.6 Miljö

I miljöbedömningen anses materialval vara av större vikt än brotyp och således multipliceras materialpoängen med en faktor 2. Materialens påverkan på miljön bedöms här utifrån koldioxidutsläpp vid tillverkningsprocessen samt möjlighet till återvinning. Vid bedömningen av brotypernas inverkan på miljön ligger fokus på brons materialåtgång.

5.6.1 Miljö utifrån brotyp

Bågbron anses kräva störst mängd material då själva bågen i sig är ett stort element som inte finns i de andra konstruktionerna. Även om överbyggnaden får lägre konstruktionshöjd anses detta inte väga upp tillräckligt för den stora bågen. Även plattbron får lägre konstruktionshöjd än balkbron, dock är plattan i sig bred i förhållande till ett antal balkar. Plattbron är även beroende av ett stöd mellan körbanorna medan balkbron är möjlig att bygga utan detta stöd, vilket i sig bidrar till åtgången av material.

Brotyp:

Balkbro	2p
Plattbro	1p
Bågbro	1p

5.6.2 Miljö utifrån material

Trä är det material som främst förknippas med miljövänlighet. Trä bidrar inte med ökade koldioxidutsläpp (fortsättningsvis CO₂-utsläpp) utan binder tvärtom upp CO₂ ur atmosfären. Detta innebär att trä sänker mängden CO₂ i atmosfären tills den dag det förmultnar eller förbränns i form av trä eller fossila bränslen (Brunklaus & Baumann, 2002).

Till skillnad från trä medför stål stora CO₂-utsläpp vid produktion. SSAB-koncernen släpper i snitt ut 1,2 ton CO₂ per ton producerat stål, jämfört med det globala genomsnittet på 1,8 ton CO₂ per ton producerat stål (SSAB, 2014). Cement, som utgör den del av betong som åstadkommer mest koldioxid vid produktion, medför ca 719 kg CO₂ per ton cement vid produktion (Svensk betong, 2013).

Vid en första anblick framstår stål som ett sämre alternativ ur miljösynpunkt än till exempel betong. Detta är dock utan hänsyn taget till den jämförelsevis stora återvinningsmöjlighet stål ger. Vid en nationell undersökning i USA 1993 dokumenterades att stålkonstruktioner har en återanvändningsandel på 17 % och en återvinningsandel på upp till 100 %. Betong har

traditionellt endast återanvänds i form av utfyllnadsmaterial (Horvath & Hendrickson, 2012).
 Tabell 2 visar en sammanfattning med för- och nackdelar med respektive material.

Tabell 2 - Sammanfattning av för- och nackdelar med stål kontra betong som byggnadsmaterial för en bro (Horvath & Hendrickson, 2012).

TABLE 8. Summary of Environmental Effects of Steel versus Steel-Reinforced Concrete Girders for Typical Highway Bridge

Type of girder (1)	Manufacturing (2)	Use (3)	End-of-life option (4)
Steel	Likely higher resource input requirements and environmental outputs	Paint, other maintenance	Better reuse and recyclability
Concrete	Better	Other maintenance	Mostly landfilling

Material:

Trä	6p
Stål	2p
Betong	2p

5.7 Säkerhet

Säkerhetsaspekten för de olika brotyperna beror på om det behövs tillfälliga konstruktioner (se Figur 17) för att bygga brotypen och om det sker många tunga lyft som ökar risken för skador på arbetsplatsen. Även aspekten att jobba på höga höjder vägs in när de olika brotyperna viktas mot varandra.



Figur 17 - Tillfällig träform vid brobygge (Famgus vykort, 2010).

5.7.1 Säkerhet utifrån brotyp

Bågbroar är den brotyp där både höghöjdsarbete utförs vid byggnation, även tunga lyft kan förekomma då brobanan kan ses ungefär som en plattbro. Balkbron och plattbron kan ses som ungefär samma risk att bygga då tunga lyft och tillfälliga formar behövs (Svahn, 2014).

Brotyp:

Balkbro	2p
Plattbro	2p
Bågbro	1p

5.7.2 Säkerhet utifrån material

Trä- och stålkonstruktioner prefabriceras till största del. Prefabricering innebär lyft av stora konstruktionselement. Detta kan innebära fara på byggarbetsplatsen. Träelementen är i regel lättare och innebär därför mindre fara relativt stål. Betongelement är allra tyngst vilket också resulterar i att de ofta också gjuts på plats. Vid platsgjutning innebär formarna säkerhetsrisker (Svahn, 2014). Poängfördelningen blev därför som följer:

Material:

Trä	3p
Stål	2p
Betong	1p

5.8 Inbördes viktning mellan de olika bedömningskriterierna

Att utifrån projektets förutsättningar bestämma en inbördes rangordning av kriterierna ger utvärderingsverktyget ett mer riktat utslag. De på förhand definierade kriterierna fick därför genomgå en matris där de alla ställdes mot varandra. Ett poäng gavs till det kriterium som ansågs viktigast, rutan nollades då motstående kriterium ansågs viktigare (se Tabell 3).

Tabell 3 - Visar inbördes viktning av de olika kriterierna.

	1	2	3	4	5	6	Total poäng:	Viktningspoäng:
1 - Estetik	x	1	1	1	0	1	4	1,8
2 - Konstruktionskostnad	0	x	0	1	0	0	1	1,2
3 - Underhåll	0	1	x	1	0	0	2	1,4
4 - Tid	0	0	0	x	0	0	0	1
5 - Miljö	1	1	1	1	x	1	5	2
6 - Säkerhet	0	1	1	1	0	x	3	1,6

I projektet har ekonomi inte en avgörande roll. Underhållskostnaden har på senare år fått ökad betydelse jämfört produktionskostnaden då den, räknat för hela livscykeln, uppskattas ha ett högre nuvärde (Valbona, 2014).

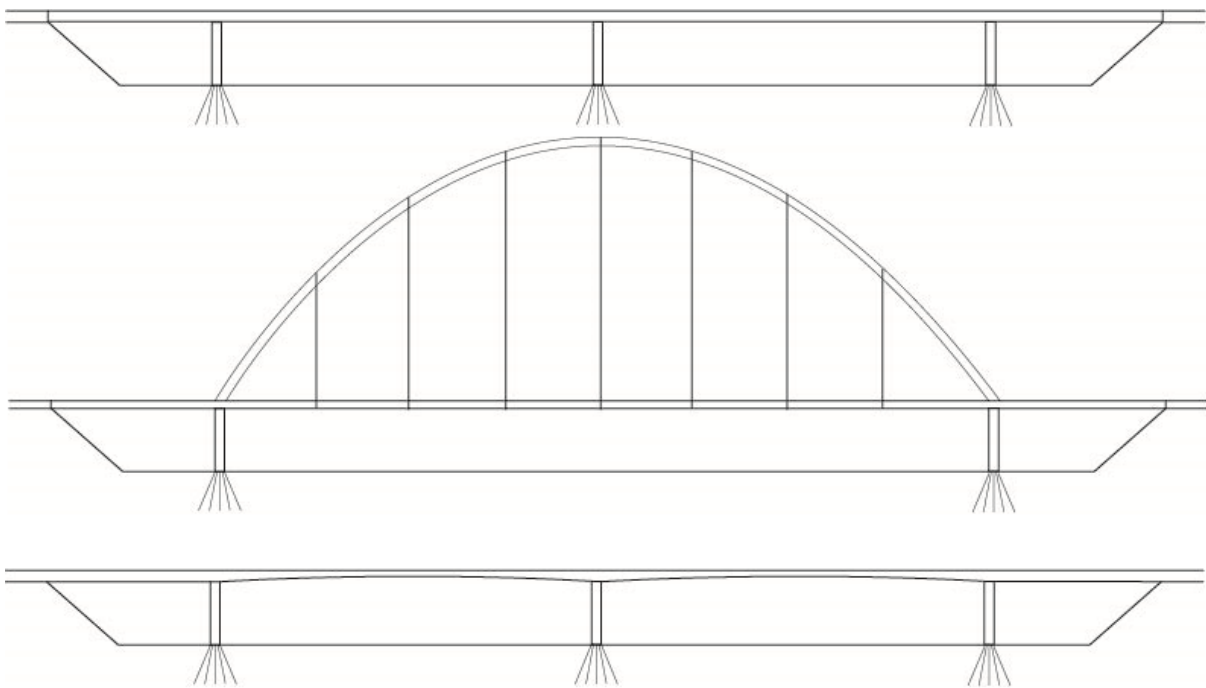
Säkerhet är en förutsättning för projektet. Alla de utvärderade konstruktionerna bygger dock på beprövade tekniker så risken för olycka anses tillräckligt liten för att miljöaspekter och estetiskutformning ska få en tyngre viktning. Extra tyngd ska i projektet läggas vid frågor rörande miljö och därför anses dessa aspekter som allra viktigast. En lång byggtid bidrar till ökad risk för försening och en stor kostnad, men då trafiken under projektets gång kan gå längs den befintliga sträckningen av väg 40 finns ingen hög press på snabbt färdigställande på grund av trafikstörning.

5.9 Resultat och kommentar av andra utvärderingen

Efter att ha viktat poängen inom respektive kategori med resultatet från de inbördes viktade bedömningskriterierna sammanställdes slutligen poängsumman (se bilaga 4). Slutresultatet blev följande:

1. Plattbro i trä	20,13
2. Bågbro i trä	19,40
3. Balkbro i stål	17,70
4. Bågbro i stål	15,47
5. Balkbro i betong	14,93
6. Plattbro i betong	13,43
7. Bågbro i betong	12,70

De tre brokoncepten med högst poäng går vidare till nästa urval (se Figur 18). Båda broarna på plats ett och två är träbroar. Detta beror på att trä som material fick höga poäng inom de kategorier som ansågs viktigast; miljö, estetik och säkerhet. Av samma orsak blev samtliga tre broar med lägst betyg betongbroar. Betong fick det lägsta betyget i samtliga av de tre tyngsta kriterierna. Brotyperna är utspridda i placeringsordningen och inga brotyper av samma sort hamnar efter varandra i resultatlistan. Detta antyder att materialval har varit av större betydelse i detta utvärderingsverktyg än brotyp.



Figur 18 – Skisser på de tre brokoncepten. Överst är plattbron i trä, mitten är bågbro i trä och nederst är balkbron i stål

6 Fördjupning av kvarvarande brokoncept

Efter de två första utvärderingsstegen återstår tre brokoncept kvar: en plattbro i trä, en bågbro i trä samt en balkbro av samverkanskonstruktion. I detta kapitel utvecklas och förtydligas dessa tre koncept utifrån två punkter; produktionsmetoder och underhållsmetoder.

6.1 Produktionsmetoder för kvarvarande brokoncept

Det finns flera olika metoder för att resa en bro. Valet av produktionsmetod beror främst på brotyp, längd på spann, platsförhållanden, hur material kan transporteras till byggplatsen samt vilka redskap som finns tillgängliga. Oavsett val av produktionsmetod måste alltid säkerhet på arbetsplats och säkerhet i konstruktionen vara de aspekter som föregår de andra.

6.1.1 Produktionsmetoder balkbro av samverkanskonstruktion

För kontinuerliga balkbroar i samverkanskonstruktion används vanligtvis ”lyft på plats” - metoden vilket innebär att prefabricerade delar och komponenter lyfts på plats med hjälp av en kran (se Figur 19). Metodens begränsningar beror på kapaciteten hos tillgängliga kranar. Tidigare har stödkonstruktioner varit nödvändiga, dock har detta behov minskat med utvecklingen av större och bättre kranar (BCSA, 2005).



Figur 19 - Kran lyfter broelement på plats (FormworkBlog, 2008).

En balkbro i stål går även att lansera (se Figur 20). Lansering innebär att ståldelen av överbyggnaden byggs klart vid sidan av dess egentliga placering och sedan skjuts på plats, ovanpå stöden, med hjälp av motordrivna domkrafter och en lanseringsnos som kompenserar för nedböjning. Metoden kräver mycket planering men lämpar sig för kontinuerliga balkbroar där flera av spannen är svåråtkomliga för kranar, som till exempel över vatten och järnvägar, eller då störningar ej får ske på undergående trafik (BCSA, 2005).



Figur 20 - Lansering av bro (Ralls, 2005).

För bron vid Ulricehamnsmotet bedöms inget av spannen vara svåråtkomligt för en kran, likaså är trafiken på väg 40 avstängd under byggnationen av bron, således anses bron fördelaktigt resas med hjälp av en kran.

På en kontinuerlig balk är det nödvändigt med en eller flera skarvar. Antingen kan skruvförband eller svetsning användas då de prefabricerade stålelementen inte kan vara för långa ur transportsynpunkt. Om skruvförband används bör hålen förborras innan montering. Ur ekonomisk synvinkel bör skarvarna placeras på ställen med lågt böjmoment då förbanden eller svetsarna kan göras mindre (Brockenbrough & Merritt, 2006).

6.1.1.1 Lämplig produktionsordning

En produktionsordning för en samverkansbro med stålbalkar som lyfts på plats kan ske enligt följande:

1. Grundläggning för ändstöd och mittstöd.
2. Uppförande av stöd. Är stöden av betong ska de gjutas och sedan härda innan påläggning av last.
3. Huvudbalkar av stål lyfts på plats och sammanlänkas med svets- eller skruvförband.
4. Farbana i betong gjuts.

6.1.1.2 Tillfälliga konstruktioner

Ett antal detaljer som behövs vid uppresandet av bron går att integrera med den permanenta konstruktionen i syfte att minimera tillfälliga konstruktioner. Detaljer som kan integreras med stålbalkarna är bland annat:

- Stag som stabiliserar vid uppresandet och under gjutning av farbanan.
- Lyftanordningar, till exempel svetsade eller skruvade lyftöglor.
- Borrade hål eller svetsade fästen för säkerhetsanordningar

Genom att integrera detaljer som dessa i den permanenta konstruktionen minskar risken för skador som kan uppkomma på konstruktionen då tillfälliga konstruktioner tas bort.

6.1.1.3 Risker under produktion

Vippning (böjning vinkelrätt mot lastriktningen) av övre fläns är ett problem som kan uppkomma då kranen lyfter ett längre spann. För att undvika detta kan tillfälliga flänsstöd som tar tryck användas. Extra sidostöd kan också fås om två balkar, med tillhörande stagning, lyfts samtidigt och monteras som en enhet (Brockenbrough & Merritt, 2006).

När bron lyfts på plats ska farbanan i betong gutas. Tyngden från betongen kommer utsätta stålbalkarna för nedböjning och rotation. Således är det viktigt att gjutningsarbetet inte påbörjas innan huvudbalkförbanden är färdigmonterade, i sådana fall kan oönskad nedböjning i överbyggnaden uppstå (BCSA, 2005).

6.1.2 Produktionsmetoder för bågbro i trä

Det finns flera olika produktionsmetoder för bågbroar. Flera av dessa kräver temporärbyggnader (Chen & Duan, 1999). För träbroar är produktionsmetoderna begränsade. De flesta träbågbroar idag byggs i limträ vilket kräver prefabricering av limträbalkarna (Martinsons Träbroar AB, 2014).

Det finns många fördelar med träbroar ur produktionssynpunkt bland annat en hög prefabriceringsgrad vilket medför korta byggtider. Trä är ett lätt material vilket gör att större moduler kan prefabriceras utan att allt för tunga lyft krävs (Martinsons Träbroar AB, 2014). De olika elementens storlek dimensioneras främst efter transportmöjligheterna och inte efter vikt. Monteringstiden beror på hur stor del av bron som kan prefabriceras samt elementens storlek. Monteringstider kring sex veckor förekommer (Montagefilm, Gislavedsbron, 2013).

6.1.2.1 Lämplig produktionsordning

En typisk produktionsordning för en prefabricerad bågbro i trä är enligt följande (Montagefilm, Gislavedsbron, 2013):

1. Grundläggning av bågen och broplattans landfästen.
2. I nästa steg lyfts träbågen på plats. Vid längre spännvidder är träbågen ofta tvärdelad, en så kallad treledsbåge, för att underlätta transporten. En treledsbåge kräver att upplagen inte kan förskjutas i horisontalled. Detta kan åstadkommas genom att placera bågen på betongfundament alternativt förbinda bågändarna med dragstag (Moelven Töreboda AB, 2014).
3. När bågarna är monterade hängs tvärbalkarna upp på bågen. Hängstagen är huvudsakligen i stål.
4. När tvärbalkarna är på plats kan broplattans huvudbalkar monteras. Därefter monteras broplattan.

6.1.2.3 Tillfälliga konstruktioner

För att minimera antalet tillfälliga konstruktionerna bör de bärande elementen först placeras på plats. Den bärande bågen behöver stagas i sidled med hjälp kablar eller stänger innan de båda bågarna permanent ansluts till varandra. Bågbron i trä kräver få tillfälliga konstruktioner i jämförelse med andra material och brotyper (Merritt & Ricketts, 2000).

6.1.2.3 Risker under produktion

Bågbron i trä kräver att element lyfts på plats. Lyft medför alltid en risk under produktionen. Trä är ett relativt lätt material där tunga lyft i de flesta fall kan undvikas. Trä som material är fuktkänsligt vilket kräver att materialupplagen på plats måste skyddas mot fukt genom att inte ligga i direktkontakt med marken samt ha vattenavvisande emballage (Merritt & Ricketts, 2000).

6.1.3 Produktionsmetoder för tvärspänd plattbro i trä

Tvärspända plattbroar i trä är enkla att producera (Crocetti, et al., 2011). Det som sagt möjligt att prefabricera delar av en tvärspänd plattbro i fabrik, men med ökad spännvidd krävs mer arbete på plats. För kortare spännvidder är det möjligt att spänna plattan direkt i fabrik, men för längre kontinuerliga broar över flera spann spänns plattan på byggplatsen (se Figur 21) (Martinsons, 2014).

Bron vid Ulricehamnsmotet har en längd på 82,7 m. Det längsta spannet är 19 m. Plattbron kan konstrueras med förskjutna skarvar vilket gör att den kan utformas som en homogen, kontinuerlig broplatta som sträcker sig över de fyra spannen. Limträbalkarna tillverkas i fabrik med förborrade hål för ståltagen. Plattelementen lyfts på plats med hjälp av en kran och sedan spänns ståltagen hårt med hjälp av hydrauliska spännare vilket får plattan att bete sig som en stor solid träbalk (Crocetti, et al., 2011). Limträelement med rektangulära tvärsnitt är vridstyva vilket är fördelaktigt då de lyfts med kran (Merritt & Ricketts, 2000).



Figur 21. Hydrauliska spännare spänner samman broplattan till en solid träbalk (RTA, 2008).

6.1.3.1 Lämplig produktionsordning

En produktionsordning för en plattbro med tvärspända limträbalkar:

1. Grundläggning för ändstöd och mittstöd.
2. Uppförande av stöd. Är stöden av betong ska de gjutas och sedan härda innan påläggning av last.
3. Broplattan som består av flera limträbalkar är prefabricerad men uppdelad i flera element för att underlätta transport. De olika elementen lyfts på plats med en kran.
4. Ståltagen spänns åt med hydrauliska spännare.

6.1.3.2 Tillfälliga konstruktioner

När plattan lyfts kan den komma att behöva stagas för att ta krafter vertikalt eller för att bli mer vridstyv. Denna stagning kan ske med hjälp av kablar, stänger, ramar eller liknande komponenter (Merritt & Ricketts, 2000). För att komma åt att spänna plattan krävs en byggnadsställning vid sidan av bron.

6.1.3.3 Risker under produktion

Trä är fuktkänsligt och element som förvaras på plats måste skyddas mot fukt genom att inte ligga i direktkontakt med marken samt ha vattenavvisande emballage (Merritt & Ricketts, 2000).

6.2 Underhållsmetoder för kvarvarande brokoncept

Trafikverket utför huvudbesiktningar på broar vart sjätte år. De ca 15 500 broar som finns på allmän väg medför att Trafikverket köper underhållsåtgärder för omkring 700 miljoner kronor per år (Trafikverket, 2014). På grund av ökade underhållsåtgärder för den stora andelen broar byggda på 1960-talet förväntas underhållskostnaderna öka till ca 1,5 miljarder kronor år 2022 (Informa, 2014). Brounderhåll utgör ca 2 % av Trafikverkets årliga kostnader, således finns vinning för beställare att grundligt beakta underhållsaspekter redan i projekteringsfasen (Trafikverket, 2012). Underhållsåtgärder varierar mellan brotyp liksom material. Olika brotyper har olika kritiska punkter och materialtyper påverkas annorlunda av omgivande miljö. Således kan kombinationen av en brotyp i ett visst material ge specifika kritiska punkter som utsätts extra hårt av miljö och last. Här nedan presenteras underhållsåtgärder och underhållsmetoder för de kvarvarande brokoncepten.

6.2.1 Generella inspektioner

Inspektion av broar utgörs av en mängd olika typer av inspektioner med något skilda syften, omfattning och genomföranden. Dessa inspektioner består av: fortlöpande, översiktlig, allmän och särskild inspektion samt huvudinspektion.

6.2.1.1 Fortlöpande inspektion

Fortlöpande inspektion syftar till att identifiera akuta skador som på kort sikt har potential att påverka trafiksäkerheten och konstruktionens beständighet. Inspektionen omfattar översidan av bron samt vägbankar i anslutning till den och utförs kontinuerligt av underhållsentreprenör, ofta samtidigt som vägnätet inspekteras (Vägverket, 2014).

6.2.1.2 Översiktlig inspektion

Översiktlig inspektion har som syfte att verifiera uppfyllandet av de krav som ställs på underhållsentreprenaderna. Omfattningen är avgränsad till de element och konstruktionsdelar som har speciellt ställda krav på sig gällande egenskaper och åtgärder. Inspektion ska utföras årligen av underhållsentreprenör. Till skillnad från den fortlöpande inspektionen finns här även ett kompetenskrav: personalen som utför inspektionerna måste ha god kunskap om broars verkningssätt samt konstruktion och vara insatta i de aktuella mätmetoderna (Vägverket, 2014).

6.2.1.3 Huvudinspektion

Huvudinspektion syftar till att brister som har med potential att påverka säkerheten eller funktionen hos konstruktionen inom tio år ska upptäckas och bedömas. Även brister som ej åtgärdats under den aktuella tidsperioden och hade lett till kraftigt ökade underhållskostnader ska upptäckas. Slutligen syftar också inspektionen till att bedöma om kraven satta av underhållsentreprenaden är uppfyllda (Vägverket, 2014).

Samtliga konstruktionselement inklusive ledverk, vägbankar, maskinell och elektrisk utrustning i rörliga broar, erosionsskydd, slänter, fyllningar och koner omfattas av huvudinspektionen. Dessa inspektioner och mätningar utförs med maximalt sex års intervall. Av en ny bro görs den första huvudinspektionen innan dess garantibesiktning. Dock senast sex år efter dess färdigställande (Vägverket, 2014).

Det krävs specifik kompetens för att utföra huvudinspektion. Personalen ska ha:

- ingenjörsutbildning
- vägverkets inspektionsutbildning
- kunskap om de nedbrytningsprocesser brokonstruktioner utsätts för samt kunskap om dess beständighet
- kunskap och erfarenhet i att utföra en prognos för skadeutveckling
- kunskap och erfarenhet i att finna passande tekniska och samtidigt ekonomiska lösningar för åtgärdande av skador
- kännedom om Vägverkets tekniska beskrivningar samt Betong- och Stålbestämmelser, BBK och BSK

6.2.1.4 Allmän inspektion

Syftet med allmän inspektion är att följa upp de bedömningar som gjorts av ej åtgärdade skador vid föregående huvudinspektion. Vidare syftar den även till att upptäcka och bedöma skador som skulle kunna innebära en allvarlig risk eller betydande underhållskostnad om de inte upptäcks innan nästa huvudinspektion. Slutligen syftar också inspektionen likt huvudinspektionen till att bedöma om kraven satta av underhållsentreprenaden är uppfyllda. Inspektionen omfattar samtliga element i anslutning till konstruktionen bortsett från de placerade i vatten (Vägverket, 2014).

Ett antal mätningar skall dessutom utföras i samband med inspektionen. Dessa har som syfte att fastställa bottenprofiler, kloridhalt och karbonatiseringsdjup i betong, korrosion på armering samt sprickor i stålkonstruktioner (Vägverket, 2014).

För broar med längsta spann mindre än 5 m genomförs dessa inspektioner då de erfordras medan max tre års tidsintervall gäller för större broar. Kompetenskravet på personalen är detsamma som för huvudinspektion (Vägverket, 2014).

6.2.1.5 Särskild inspektion

Inspektion av förmodade eller redan uppmärksammade brister görs när det krävs.

Omfattningen av inspektionen gäller enskilda konstruktionselement och följande oavsett skick: elektrisk och maskinell utrustning i rörliga broar samt stålkonstruktioners stumsvetsar i bärande element (Vägverket, 2014).

Vid rörliga broar inspekteras maskinell och elektrisk utrustning med max tre års intervall. I samband med huvudinspektionen som utförs innan garantibesiktningen inspekteras stumsvetsar i bärande element (Vägverket, 2014).

Kompetenskravet för att utföra dessa inspektioner är detsamma som för huvudinspektion. I specialfall kan även kompetens inom ultraljud, radiografi och termografi krävas (Vägverket, 2014).

6.2.2 Underhållsmetoder för samverkansbro

För underhåll av materialen stål och betong se respektive avsnitt (se avsnitt 3.2.2 för stål samt 3.1.2 för betong).

Det finns idag materialalternativ som gör broar i princip underhållsfria. Ett exempel på detta är en samverkansbro i rostfritt stål och betong som NCC utvecklat och säljer med detta argument (NCC, 2013). Betongen kräver naturligtvis samma underhåll som vanligt men rostfritt stål utgör en stor skillnad underhållsmässigt mot alternativ behandlade tidigare i detta arbete. Den största skillnaden är att det inte krävs något skyddande färglager (Stålförbundet, 2011). New York-baserade Chryslerskrapans tospira är ett exempel på detta och har endast rengjorts två gånger sedan uppförandet 1930 (Hansson, 2009). Rostfritt stål definieras liksom vanligt stål av att järn legeras med andra ämnen, till exempel kol och krom, men med tillägget att kromhalten ska vara på minst 11 %.

Beroende på utformning av brons landfästen varierar också underhållsbehovet. Är landfästena integrerade undviks den typ av fogar som majoriteten av alla broar har vilket bland annat leder till lägre exponering för salt, jord och vatten. Denna exponering leder till slitage på balkar och lager i form av korrosion vilket kräver inspektioner samt fortlöpande underhåll.

Tabell 4. Kostnadsexempel. Tabell 4 och Tabell 5 nedan visar exempel på kostnader förknippade med underhåll. Detta specifika fall gäller en samverkansbro över Leduån.

Tabell 4. Kostnadsexempel (Olsson, 2010).

<i>Underhållsaktivitet</i>	<i>Enhets-kostnad</i>	<i>Inleds år</i>	<i>Avslutas år</i>	<i>Frekvens</i>
Broinspektion	3 075 kr	6	96	6
Ommålning av stålbalkar	360 000 kr	30	90	30
Kantbalksutbyte	488 000 kr	30	90	30

Tabell 5. Kostnadsexempel (Olsson, 2010).

<i>Underhållsaktivitet</i>	<i>Enhets-kostnad</i>	<i>Inleds år</i>	<i>Avslutas år</i>	<i>Frekvens</i>
Broinspektion	375 kr	6	96	6
Kantbalksutbyte	578 000 kr	30	90	30
Ommålning av lager	12 000 kr	30	90	30
<u>Övergångskonstruktioner:</u>				
Rengöring av gummiprofil	1 000 kr	1	99	1
Utbyte av gummiprofil	25 000 kr	10	90	10
Utbyte av stålprofil	105 000 kr	20	80	20

6.2.3 Underhållsmetoder för båg- och plattbro i trä

För träbroar med en teknisk livslängd på 80 år ska drift- och underhållsplaner upprättas. Exakt innehåll baseras på konstruktionens utformning, platsen och trafikförhållandena. Viktigast är konstruktionens skick och inspektioner baseras därför främst på resultatet från tidigare inspektioner. Minimum för drift- och underhållsplanen för träbroar är att denna ska omfatta tvärspanning- och förankringsanordningar, förband, fuktkvoter i huvudkonstruktionen, träskyddets funktion- och underhållsbehov samt anvisningar för inspektion och underhåll av ytbehandlingen. Det ingår också i underhållsplanen att vidta åtgärder om oacceptabla noteringar uppkommer under inspektion (Vägverket, 2009).

Skador kan på träbroar uppkomma som direkt följd av påkörning, rörelser i fundamentet eller korrosion på ståldetaljer. Detta gäller alla typer av broar men vissa skadetyper är specifika för träbroar. Trä är ett material som påverkas kraftigt av fukt. Fukt kan ge upphov till röta på grund av mikrobiologiska organismer, färgbeläggningen kan flagna och träet kan även på grund av fuktrörelser spricka. Därför är det viktigt att konstruktionen hålls torr. Vidare bör träet, beläggningen och fundamenten alla vara fria från löv eller annan växtlighet, skräp samt grus. Här binds annars fukt som riskerar konstruktionens hållfasthet. Är konstruktionen inte tät mot landfäste eller har hål i sin överbyggnad tränger fukt in dessa vägar (Pousette & Fjellström, 2004).

6.2.3.1 Röta

Fuktkvot definieras som vattenmängd i förhållande till torrsvikt. Överstiger fuktkvoten i trä 20 % finns risk för röta och fuktkvoter kring 30 % betraktas som skadliga. Orsaken till ökad fuktkvot bör omedelbart fastställas och åtgärdas. Höga fuktkvoter är också ett tecken på disfunktionalitet i konstruktionen eftersom mycket fukt kommer in. Speciellt känsliga områden är kring landfästen, underkant av balkar och pelare, förband, skarvar och upplag. För att röta ska uppstå (se Figur 22) krävs förutom fukt även svampsporer, syre och värme. Näring för tillväxten blir trämaterialet självt. Denna nedbrytning minskar hållfastheten hos träet markant (Pousette & Fjellström, 2004).

Genom att hålla konstruktionen torr motverkas röta effektivt. De andra faktorerna som krävs för att röta ska uppstå är svårare att isolera. Tryckimpregnerat virke har högre motståndskraft mot röta än vanligt virke men fuktexponering under lång tid skapar röta även här. Intäckning

av känsliga områden är därför ett nödvändigt led i att hålla konstruktionen torr. Fördelaktigt är också att ytbehandla hela konstruktionen med täckande färg (Pousette & Fjellström, 2004).



Figur 22 - Röta i trä (Trygghetsvakten, 2014).

6.2.3.2 Ytbeläggning

Avflagnad färg eller andra defekter i ytbeläggningen skapar möjlighet för fuktintrång och UV-ljus. UV-strålarna bryter ned träytan och kan orsaka sprickor (Pousette & Fjellström, 2004).

Sprickor i ytbeläggningen i fiberriktning är svåra att motverka. Dessa beror oftast på rörelser i träet. Är träet fuktigt minskar adhesionen (molekylär vidhäftning mellan två kroppar) mellan ytbeläggning och trä och det är därför åter viktigt med ett torrt material. Ändrä är extra viktigt att skydda mot fukt och ljus eftersom detta har högre uppsugningsförmåga. Detta skyddas genom antingen impregnering eller färg (Pousette & Fjellström, 2004).

6.2.3.3 Sprickor

Sprickor påverkar kraftigt fuktupptagningen hos trä (se Figur 23). Fukt tränger enkelt in i sprickorna oavsett ytbehandling vilket påverkar bärförmågan indirekt. Sprickors direkta påverkan av bärförmågan är relativt liten, även sprickor med djup på 60-80 % av tvärsnittet är acceptabla. Sprickor som inte åtgärdas under lång tid kan emellertid påverka bärförmågan och beständigheten. Limträkonstruktioner har störst risk för sprickor vid limfogarna då träet är förhindrat att krympa (Pousette & Fjellström, 2004).

Sprickor uppkommer oftast då fukt- och temperaturtinnhållet över tid varierar i träet. Detta skapar stora rörelser i materialet. Då trä torkar ut underskrids till slut fibermättnadspunkten vilket innebär att det kemiskt bundna vattnet i cellväggarna börjar torka ut. Detta leder till att materialet krymper. Trä har ortotropa egenskaper vad gäller krympning. I fiberriktningen krymper trä nästan inte alls medan det tvärs fibrerna sker en betydande krympning. Den inre spänning detta medför leder i sin tur till längsgående sprickor (Pousette & Fjellström, 2004).

Större sprickor bör mätas upp och dokumenteras. Har träet dessutom en hög fuktkvot är det olämpligt för målning då fukt enkelt tränger in genom sprickorna men långsamt torkar ut genom det täckande färglagret. Istället kan ett väderskydd vara en lämplig åtgärd. En möjlig lösning skulle kunna vara en målad panel med luftspalt. På detta sätt minskas fuktkvoten i träet. Hållbarheten för en rätt utförd täckmålad träpanel är ofta omkring 10 år och i takt med

att färgskiktet försämras bör regelbundna kontroller utföras. Indikatorer på en försämring är missfärgningar, sprick- och blåsbildningar. Underhållsmålning kan i regel utföras på befintligt färgskikt. Omålade ytor eller impregnerat virke bör oljas om kontinuerligt. Bron kan också behöva underhållas av estetiska skäl. En utav de vanligaste underhållsåtgärderna är klottersanering (Pousette & Fjellström, 2004).



Figur 23 - Sprickor i trä (Peakoak, 2014).

7 Tredje utvärderingen – från tre till ett brokoncept

Det slutliga brokonceptet fås genom att jämföra de tre kvarvarande koncepten med CEEQUAL. CEEQUAL är det enda, hittills använda, miljöcertifieringssystemet för broar i Sverige. För att försöka finna den mest miljövänliga lösningen används miljöcertifieringssystemet som utvärderingsverktyg av de tre kvarvarande brokoncepten. Att definiera och bestämma just vad som är miljövänligt är svårt och således kan miljöcertifieringen vara till stor hjälp då den belyser begreppet miljö ur flera aspekter.

7.1 Vad är CEEQUAL och hur fungerar det?

CEEQUAL är utvecklat av Institution of Civil Engineers i Storbritannien (NCC, 2013). Namnet kommer från en förkortning av *Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Awards Scheme*. CEEQUAL har med åren vidgats och har nu ett större fokus på hållbarhetsfrågor utifrån ett samhällsperspektiv. Den senaste beskrivningen av CEEQUAL är *Sustainability Assessment and Awards for Civil Engineering, Infrastructure Landscaping and Public Realm Works* (CEEQUAL, 2013).

Miljöcertifiering av hus och höghus har idag en bred spridning i Sverige. På senare år har beställare och entreprenörer även börjat se ett värde i att certifiera infrastrukturprojekt då fördelarna kan vara många (Ek, 2014). Utöver uppvisande av miljöengagemang och således god PR bidrar en miljöcertifiering oftast till en minskad kostnad då livscykelperspektivet tas i åtanke. Arbetsprocessen får en tydlig riktning vilket kan bidra till god laganda och en effektivare arbetsprocess (CEEQUAL, 2013). Ett delsyfte med broprojektet är att prioritera hållbarhets och miljöaspekter därför väljs det koncept som presterar bäst i CEEQUAL som slutgiltigt.

Likt flera certifieringssystem består CEEQUAL av en manual med frågor (Olsson, 2014). CEEQUAL innehåller omkring 200 frågor. Som ledning i arbetet med frågorna listas indikatorer för uppfyllande av frågan. CEEQUAL mäter med hjälp av dessa till vilken grad som projektet överträffar de standarder och lagar som finns för arbete med miljö- och hållbarhetsfrågor. Projektet får sedan ett betyg. 25 % och uppåt anses godkänt (Pass) mer än 75 % ger betyget utmärkt (Excellent) (CEEQUAL, 2013).

CEEQUAL kan användas i alla steg i en arbetsprocess av ett infrastrukturprojekt. Det första steget är således att rensa bort de frågor i manualen som inte är applicerbara för det berörda projektet (CEEQUAL, 2013). Här används CEEQUAL som skiljeverktyg mellan redan framtagna koncept och tidigt i arbetsprocessen, i planeringsstadiet. Frågor som behandlar andra delar av arbetsgången sorteras därför bort, även frågor där ingen skillnad mellan de tre brokoncepten går att finna sorteras bort. Vidare ges enbart frågans poäng till det koncept som i varje fråga starkast uppfyller frågans indikatorer, alla övriga uppfyllanden anses ofullständiga.

7.2 Utvalda frågor från CEEQUAL och motivering till betyg

CEEQUALs frågor är inte direkt riktade mot tekniska detaljer, istället är frågorna mer övergripande och långsiktiga. Då CEEQUAL används i ett tidigt skede av processen bör

möjligheten att frågans indikatorer kommer att uppfyllas i ett senare skede vägas in i bedömningen då detta ger en mer fullständig bedömning. Frågorna är indelade i olika kategorier och den första siffran i frågans nummer representerar kategori. Nedan ges en förklaring till siffrornas betydelse. Det är enbart siffrorna för frågekategorier som används i denna utvärdering som förklaras:

- 1- Project Management
- 2- Land Use
- 3- Landscape Issues (includes rural landscape and townscape)
- 6- Water Resources and the Water Environment
- 7- Energy and Carbon
- 8- Material Use
- 10- Transport

Som tidigare nämnts ges poäng endast till det brokoncept som anses uppfylla frågans kriterier starkast, övriga brokoncept tilldelas noll poäng. CEEQUAL har viktat frågorna efter hållbarhetsrelevans och därför varierar frågornas poängutdelning (här mellan två och tolv poäng). På grund av systemets egen viktning delas endast full poäng eller noll poäng ut. CEEQUAL kan dela ut poäng med avseende på tre aspekter: "Client", "Design" och "Construct".

7.2.1 Project Management

Nedan följer fem frågor inom området för projektledning.

Is there clear evidence that the contract team has adopted a whole- life approach to environmental aspects of the contract?

		Client	Design	Construct
1.4.1 (was 1.3.4)	Is there clear evidence that the client and the design team have adopted a whole-life approach to environmental aspects of the project?	4	10	
NSO	If No, score 0. If Yes, score as indicated			

Figur 24 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Trä är ett förnybart material och har tydliga miljöfördelar jämfört med betong och stål. Trä har bland annat lägre utsläpp av växthusgaser, luftföroreningar och vattenföroreningar. Stål och trä har även goda förutsättningar för att återvinnas genom återanvändning eller energiåtervinning. Plattbron anses ha enklare produktionsmetoder och en lägre materialanvändning än bågbron (Stojić, et al., 2009).

Poängfördelning: Plattbro i trä, 10 poäng. Balkbro i stål och bågbro i trä, 0 poäng.

Did the whole-life approach include consideration of the potential effects of predicted climate change scenarios, leading to appropriate adaptation strategies?

		Client	Design	Construct
1.4.2 (was 1.3.5) NSO	Did the whole-life approach include consideration of the potential effects of predicted climate change scenarios, leading to appropriate adaptation strategies? If No, score 0. If Yes, score 10		10	

Figur 25 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: De huvudsakliga förändringarna i Sveriges klimat är ökad nederbörd och en ökad medeltemperatur. Vad gäller vindhastigheten och antalet stormar finns inga tydliga svar (Klimatanpassningsportalen, 2013). Det kan däremot vara bra att ha stormar i åtanke då de förväntas öka globalt (EPA, 2013). Nederbörden förväntas också bli ojämnt fördelad över året, med blötare vintrar och torrare somrar. En ökad och ojämn nederbörd påverkar trä negativt. Nedböjning, till följd av krypning, i trä ökar om materialet utsätts för växelvis uttorkning och uppfuktning (Leppänen, 2014). Det är därför ur fukthänsyn inte lämpligt med en träbro ur klimatförändringssynpunkt då en träbros nedböjning är en kritisk faktor.

Ur stormsynpunkt är det viktigt att bygga konstruktioner som inte tar upp stora vindkrafter. En bågbro är därför olämplig då dess höga bågar tar upp vindlaster.

Poängfördelning: Balkbro i stål, 10 poäng. Bågbro i trä och plattbro i trä, 0 poäng.

Is there evidence that the design team has addressed the environmental and social implications of different construction methods and materials (including their whole life cycle) for the project (for example, through workshops, briefing papers or an environmental statement)?

1.4.3 (was 1.3.1) NSO	Is there evidence that the design team has addressed the environmental and social implications of different construction methods and materials (including their whole life cycle) for the project (for example, through workshops, briefing papers or an environmental statement)? If No score 0. If Yes score 8		8	
--	---	--	---	--

Figur 26 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Det finns flera miljömässiga och sociala konsekvenser som beror på produktionsmetoderna. För att särskilja broarna åt är det främst de sociala aspekterna som studeras då de skiljer sig mest. En viktig social aspekt är arbetsförhållandena. I arbetsförhållandena innefattas bland annat säkerhet på arbetsplatsen och i uppförandet av konstruktionen, då denna process kan leda till tunga och svåra lyft, tillfälliga konstruktioner samt arbete på höga höjder.

Om en jämförelse utifrån arbetsförhållanden görs finns det skillnader i hur de olika brokoncepten kan produceras. Den vanligaste produktionsmetoden för en balkbro i stål är att huvudbalkarna lyfts på plats. Detta medför relativt tunga lyft jämfört med produktionen av en träbro. Vid produktion av träbroar krävs inte heller några tillfälliga konstruktioner i form av gjutformar (vanligtvis gjuts farbanan hos stålbroar) och således har träbron därför säkrare produktionsmetoder än stålbron.

Vid jämförelse mellan en plattbro och bågbro i trä kan plattbron anses ha en säkrare produktionsmetod då bågen kräver monteringsarbete på en högre höjd.

Poängfördelning: Plattbro i trä, 8 poäng. Bågbro i trä och Balkbro i stål, 0 poäng.

At design stage, was an assessment of risk undertaken and/or a pollution control plan prepared to minimise emissions of the completed works to air, land and water?

1.4.6 (was 1.4.1) NSO	At design stage, was an assessment of risk undertaken and/or a pollution control plan prepared to minimise emissions of the completed works to air, land and water? If No, score 0. If Yes, Score 8	8
---	---	--------------

Figur 27 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Underhållsmålning av trä kan i regel göras på det befintliga färgskiktet, förutsatt att det har god vidhäftning mot träunderlaget. Löst sittande färg skall dock avlägsnas med manuell borstning eller stålborstning, samt så bör smuts och andra föroreningar avlägsnas (Pousette & Fjellström, 2004).

Vid bättringsmålning av stålet måste däremot stålet både rengöras och blästras innan målning kan ske. Vid blästringen skall all löst sittande färg och rost avlägsnas, samt så skall fastsittande färg i närheten av renblästrad yta blästras och mattas ner (Vägverket, 1994).

Eftersom träkonstruktionen endast kräver två åtgärder vid underhåll och stålet kräver tre kan trä anses vara bättre ur materialsynpunkt. En bågbro i trä har dessutom fler ståldetaljer än en plattbro i trä i form av hängstag och tvärbalkar vilket gör att plattbron kan ses som bättre.

Poängfördelning: Plattbro i trä, 8 poäng. Bågbro i trä och balkbro i stål, 0 poäng.

Is there evidence that the construction team proposed changes to the specifications to improve the whole-life environmental performance of the project, that is, during the rest of the construction stage, during operation and/or in easing its re-use or ultimate disassembly?

		Client	Design	Construct
1.5.1 (was 1.3.6) NSO	Is there evidence that the construction team proposed changes to the specifications to improve the whole-life environmental performance of the project, that is, during the rest of the construction stage, during operation and/or in easing its re-use or ultimate disassembly? If No score 0. If Yes score 8			8

Figur 28 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Samverkansbron kräver att farbanan gjuts. En farbana i betong bidrar till större koldioxidutsläpp än trä (se avsnitt 5.6) och arbetsmomentet i sig är energikrävande. Ur ett underhållsperspektiv anses stål vara bättre än trä då fuktintrång kan leda till komplicerade och dyra underhållsåtgärder (se avsnitt 5.4). Både trä och stål går att återvinna, däremot har stål en högre återvinningsgrad och en relativt hög återanvändningsgrad (se fråga 8.8.2 nedan). Utifrån aspekterna uppförande, underhåll och återvinning får samverkansbron anses som det bästa valet, då stål är bättre än trä på två av tre punkter.

Poängfördelning: Balkbro i stål, 8 poäng. Bågbro i trä och plattbro i trä, 0 poäng.

7.2.2 Land Use

En fråga besvaras inom kategorin landutnyttjande.

Is there evidence that the construction team has made effective use of land resources made available to them, and minimised the long-term adverse impacts of the temporary greenfield land take during construction?

		Client	Design	Construct
2.1.5 NSO	Is there evidence that the construction team has made effective use of land resources made available to them, and minimised the long-term adverse impacts of the temporary greenfield land take during construction? If No, score 0. If Yes, score 5			5

Figur 29 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Hur marken på byggarbetsplatsen används beror bland annat på byggtiden, materialupplag och tillfälliga faciliteter. Vad gäller de tillfälliga faciliteterna är det inte någon större skillnad i antal. Däremot är det skillnader i hur lång tid marken används. Träbroarna har en kortare byggtid än stålbron och är av denna anledning ett bättre alternativ. Träbroar är också prefabricerade vilket gör att materialupplaget på byggarbetsplatsen kan minimeras.

Skillnaden i en bågbro och en plattbro ligger i att bågbron är större och en mer avancerad konstruktion vilket i sin tur medför en längre byggtid.

Poängfördelning: Plattbro i trä, 5 poäng. Bågbro i trä och balkbro i stål, 0 poäng.

7.2.3 Landscape Issues

Följande område behandlar hur väl konceptet tas fram utifrån omringliggande landskap.

Is there evidence that landscape and visual factors have been considered at each new works site, including the evaluation of options?

		Client	Design	Construct
3.1.1 NSO	Is there evidence that landscape and visual factors have been considered at each stage of the project, including the evaluation of scheme options? If No, score 0. If Yes, score as indicated	6	2	2

Figur 30 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Enligt tidigare estetikavsnitt (se avsnitt 5.2) erhöll bågbron i trä högst poäng i estetik och får således poäng i "Design". I "Construction" är de olika koncepten relativt lika då detta kriterium tar hänsyn till hur det ser ut på arbetsplatsen under byggtiden. Genom att prefabricera minskas behovet av ett rörigt materialupplag. I detta kriterium kan ingen enskild vinnare tas fram.

För att erhålla poäng i "Client" krävs det att de båda andra kriterierna är uppfyllda och att det aktivt strävas mot en tilltalande bro i alla skeden av brons livslängd (CEEQUAL, 2013). Bågbron i trä är det bättre konceptet och erhöll flest poäng i estetik samt har en kort och relativt ren arbetsplats till följd av prefabricering.

Poängfördelning: Bågbro i trä, 8 poäng. Plattbro i trä och balkbro i stål, 0 poäng.

7.2.4 Water Resources and the Water Environment

Frågan nedan ligger inom kategorin för vattenanvändande samt vattenmiljö.

Has a practical system been put in place to minimise consumption of mains or abstracted water during the construction process?

		Client	Design	Construct
6.3.2 NSO	Has a practical system been put in place to minimise consumption of mains or abstracted water during the construction process? If No, score 0. If Yes, score 8			8

Figur 31 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Stålbron i detta fall är en samverkansbro vilket innebär att broplattan är i betong. Betong kräver stora mängder vatten och är inte det bästa alternativet utifrån fråga 6.3.2. Skillnaden i plattbron och bågbron är mängden material. Då plattbron behöver tre stöd (betong) kan bågbron i trä anses vara det bästa alternativet då den totala betongåtgången är lägst.

Poängfördelning: Bågbro i trä, 8 poäng. Plattbro i trä och balkbro i stål, 0 poäng.

7.2.5 Energy and Carbon

Nedan följer tre frågor ligger inom området för energiförbrukning och koldioxidförbrukning.

Has a life-cycle energy assessment been undertaken for the key materials and components to be used in the project?

		Client	Design	Construct
7.1.1 NSO	Has a life-cycle energy assessment been undertaken for the key materials and components to be used in the project? If No, score 0. If Yes, score 10 (or 3 for Construction-Only Award)	10		3

Figur 32 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Stålproduktion är en energikrävande process både under malmbrytningen och under förädlingsprocessen. Arbetstemperaturen för att tillverka stål överstiger 1000°C. Att upprätthålla denna temperatur kräver tillgång till högvärdiga energibärare som kol- och oljeprodukter (Jernkontoret, 2014). Olja är ur ett livscykelperspektiv inte fördelaktigt då det inte är förnyelsebart.

Trä kräver betydligt mindre energi vid tillverkning, vilket gör att träbroarna är klart fördelaktiga. Bågbron kräver att hängstagen och underliggande tvärbalkar är i stål och är således ett sämre alternativ än plattbron i trä.

Energien som krävs i underhållsskedet ger inga större skillnader.

Poängsättning: Plattbro i trä 10 poäng. Bågbro i trä och balkbro i trä, 0 poäng. (3 poäng kan enbart tilldelas om inte 10 poäng erhållits (CEEQUAL, 2013).)

Is there evidence that the project has considered the energy consumption of the project during construction?

		Client	Design	Construct
7.3.1 NSO	Is there evidence that the project has considered the energy consumption of the project during construction ? If No, score 0. If Yes, score as indicated	4		6

Figur 33 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Både trä och stålelement prefabriceras i så stor grad som möjligt dock kommer stålbron i fler delar till byggplatsen till följd av transportmöjligheter. Stålelementen ska sedan svetsas ihop vilket är energikrävande. Träet har en högre prefabriceringsgrad vilket leder till att mindre energi kommer att förbrukas på plats. Bågbron är något svårare och tar längre tid att resa, således bör plattbron ha lägre energiförbrukning än bågbron under byggnationen.

Poängfördelning: Plattbro i trä, 10 poäng. Bågbro i trä och balkbro i stål, 0 poäng.

Is there evidence that the contractor has considered the carbon emissions of the project during construction?

7.3.2 (New to V4) NSO	Is there evidence that the contractor has considered the carbon emissions of the project during construction ? If No, score 0. If Yes, score 6 (Note that the Designer scores for this in Section 7.1)		6
---	---	--	---

Figur 34 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Det som kommer att skilja de olika brokoncepten i koldioxidutsläpp är omfattningen av de olika arbeten som sker på plats. Som det har nämnts tidigare kommer trä- och stålkonstruktioner i ett så prefabricerat skick som möjligt men på grund av transportskäl kommer stålet i fler delar. Detta kommer att resultera i att det blir fler lyft med kran när en stålkonstruktion byggs vilket leder till större koldioxidutsläpp. Dessutom kommer också stålelementen att svetsas på plats vilket också leder till en något förhöjd energiförbrukning som i sin tur leder till koldioxidutsläpp. Då stål原因bron har en farbana där stål och betong samverkar kommer gjutningen av betongen att släppa ut koldioxid medan farbanan i trä inte gör det.

Skillnaden i koldioxidutsläpp mellan en balkbro och en plattbro kan inte jämföras då de är två väldigt liknande brotyper. Däremot har bågbron i trä fler detaljer att lyfta på plats och dessutom används hängstag i stål vilket gör att koldioxidutsläppet blir större då stål används.

Poängfördelning: Plattbro i trä, 6 poäng. Bågbro i trä och balkbro i stål, 0 poäng.

7.2.6 Material Use

Fyra frågor behandlas inom området för materialval.

Is there evidence that the selection and use of prefabricated units has been considered on the merit of their environmental benefits?

		Client	Design	Construct
8.2.1 NSO	Is there evidence that the selection and use of prefabricated units* has been considered on the merit of their environmental benefits? If No, score 0. If Yes, score 6	6		

Figur 35 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Träet går att prefabricera i mycket hög grad medan stål kan prefabriceras men kräver gjutning av betongplattan. Denna gjutning är både tids- och energikrävande. En träbro kan transporteras i färre transporter än en samverkansbro eftersom storleken är dimensionerande istället för vikten (Montagefilm, Gislavedsbron, 2013). Plattbron kommer färre element än bågbron och är i princip helt klar för montage och är således även lättare att montera än bågbron.

Poängfördelning: Plattbro i trä, 6 poäng. Bågbron i trä och balkbro i stål, 0 poäng.

a) Have the designer and contractor researched all locally available material sources, including recycled materials?

b) Have the designer and contractor adapted the designs and specifications to allow for their use, where appropriate?

		Client	Design	Construct
8.3.3 (new Part b Question) NSO	a) Have the designer and contractor researched all locally available material sources, including recycled materials? b) Have the designer and contractor adapted the designs and specifications to allow for their use, where appropriate? If No, score 0. If Yes, score 4 for a) and 8 for b)		12	

Figur 36 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Marknaden för prefabricerade träbroar i de aktuella dimensionerna domineras i stort sett helt av producenterna Martinssons eller Moelven belägna i Skellefteå (Andersson, 2005) respektive Töreboda (Moelven, 2003). Stålelement liksom stålbroar har en mängd producenter runt om i Europa och även i Norden, till exempel Ruukki beläget i Halmstad. Avståndsskillnaden är i det närmaste försumbar. Sannolikheten att stålet skulle beställas från en aktör belägen utanför Sverige kan dock anses större då det finns ett större urval. I bågbron är tvärbalkarna samt hängstagen i stål, vilket gör plattbron i trä till det bästa alternativet.

Poängfördelning: Plattbro i trä 4 poäng. Bågbro i trä och balkbro i stål, 0 poäng. (För att erhålla resterande 8 poäng krävs poäng i fråga b. Det är inte möjligt att ta fram en vinnare i fråga b. (CEEQUAL, 2013))

Is there evidence that durability and low maintenance of structures and components have been actively considered in design and specification?

		Client	Design	Construct
8.7.1 (was 8.6.1)	Is there evidence that durability and low maintenance of structures and components have been actively considered in design and specification? If No, score 0. If Yes, score 6	6		

Figur 37 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Trä och stål är i stort jämförbara gällande underhåll eftersom båda är i behov av målning och annan ytbehandling. Ett undermåligt underhåll av de båda materialen har stora konsekvenser med följd av komplicerade åtgärder. Träet kräver dock mer komplicerade åtgärder än stålet (Stewall, 2000). Stål har en högre hållbarhet sett till både livslängd och oförutsedda påfrestningar. Materialet stål är homogent och dess hållfasthet är samma i alla riktningar. För trä ser hållfastheten olika ut för olika riktningar (se avsnitt 3.3). På träkonstruktioner sätts ofta en teknisk livslängd på 80 år (Moelven, 2012) medan stål har en betydligt längre teknisk livslängd (Widman, 2001). Plattbron och balkbron har liknande underhållsaspekter medan bågbro har fler delar att underhålla då det som skiljer sig är att hela bågen ska underhållas samt en hel brobana som kan ses som en platt- eller balkbro.

Poängfördelning: Balkbro i stål, 6 poäng. Bågbro i trä och plattbro i trä, 0 poäng.

What percentage by volume of components or pre-fabricated units used can be easily separated on disassembly/de- construction into material types suitable for recycling?

Under 15%, score 0

15% to <30%, score 2

30% to <45%, score 4

45% to <60%, score 6

60% to <75%, score 8,

75% to <90%, score 10

90% and above, score 12

8.8.2 (was 8.7.2)	What percentage by volume of components or pre-fabricated units used can be easily separated on disassembly/de- construction into material types suitable for recycling? Under 15%, score 0 15% to <30%, score 2 30% to <45%, score 4 45% to <60%, score 6 60% to <75%, score 8 75% to <90%, score 10 90% and above, score 12	12
-------------------------	--	----

Figur 38 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Idag återvinns eller återanvänds ca 50 % av det trä som används som byggnadsmaterial. I statistiken finns ingen uppdelning mellan det som till exempel bränns och det som i befintlig form återanvänds vilket försvårar analysen. Materialets livslängd begränsas av bland annat biologiska och kemiska angrepp samt utmattning. Stålet däremot har en mycket hög återanvändningsgrad (Baumann & Widman, 2001). Ungefär 21 % av stålet återanvänds i befintlig form då detta ofta kan hållas intakt under rivningsarbetet och närmare 100 % av allt stålskrot i världen återvinns (Horvath & Hendrickson, 2012).

Poängfördelning: Balkbro i stål, 12 poäng. Plattbro i trä och bågbro i trä, 0 poäng.

7.2.7 Transport

Inom området för transport berörs en fråga.

Is there evidence that transport impacts during the construction stage have been considered at the design stage? And that steps have been taken to minimise these?

10.2.2 NSO	Is there evidence that transport impacts during the construction stage have been considered at the design stage? If No, score 0. If Yes, score 5 And that steps have been taken to minimise these? If No, score 0. If Yes, score 5	10
---------------	---	----

Figur 39 - Urklipp från CEEQUAL-manualen (CEEQUAL, 2013).

Underlag: Som tidigare nämnts kan prefabricerade träkonstruktioner produceras i Sverige och har distributörer i närområdet, till exempel Töreboda (Moelven, 2003). Detta gäller även

stål med till exempel en producent i Halmstad (Ruukki, 2014). Sverige och de Nordiska länderna har dessutom konkurrenskraftiga stålpriser internationellt vilket ökar sannolikheten för att stålet produceras i Norden (MEPS, 2014). Trä transporteras och monteras i stora delar, till exempel transporteras vanligtvis en träbåge i två delar (Montagefilm, Gislavedsbron, 2013), medan stål transporteras i fler delar p.g.a. betydligt högre densitet och vikt (Brockenbrough & Merritt, 2011). Stål innebär därmed större påverkan utifrån transport. Fordonslängder upp till 24 m behöver inga särskilda åtgärder men däröver behövs varningsbil eller följevagn. I sådana fall kan transportfordonets längd uppgå till 30- 40 m innan till exempel kurvradii blir dimensionerande (TräGuiden, 2014). För både bågbron liksom plattbron bör prefabricerade element inte vara längre än att fordonslängden överskrider 24 m. Detta i syfte att underlätta transporten. Om brotyperna ska skiljas åt behöver även bågbron hängstag i stål som inte produceras av samma företag som tillverkar limträbalkarna. Bågbron har även fler och större komponenter vilka kan innebära ytterliggare transport. Således anses plattbron ha en miljömässig fördel ur transportsynpunkt i förhållande till bågbron.

Poängfördelning: Plattbro i trä, 10 poäng. Bågbro i trä och balkbro i stål, 0 poäng.

Bro:	Total poängsumma:
Plattbro i trä	77
Balkbro i stål	36
Bågbro i trä	16

7.3 Kommentar av tredje utvärderingens resultat

Plattbron i trä är det klart bästa konceptet utifrån de CEEQUAL-frågor som studerats. Resultatet beror på att det är en relativt simpel konstruktion i trä. Trä är ur ett stort perspektiv ett bättre miljöalternativ än stål. Balkbron i stål kommer på andra plats. Andraplatsen beror på att den är byggd i stål vilket ger den möjlighet att få poäng i frågorna där träbroar inte är fördelaktiga. Bågbron i trä kommer på sista plats. Förklaringen är att den inte är lika konkurrenskraftig ur miljösynpunkt som plattbron i trä och därför hamnar på andra plats i flera av frågorna och inte erhåller lika många poäng.

8 Beräkningsantaganden och förutsättningar

Att dimensionera och beräkna om bron håller för verkande laster är en iterativ process där preliminära dimensioner först får antas. Dessa preliminära dimensioner får sedan justeras utifrån resultat, antingen till det större om lasterna visar sig vara för stora i förhållande till brons kapacitet, eller till det mindre om brons kapacitet är klart större än lasterna, i syfte att minska materialåtgång.

8.1 Preliminära dimensioner

Bron ska ha en total längd på 82,7 m. Den anses behöva fem stöd inklusive landfästen för att spänna över denna längd. Landfästena är av betydande storlek vilket medför att brons ytterspann kan reduceras. Hur stora landfästena är beror på belastningen de utsätts för, således krävs en iterativ process för att bestämma brons spann. Preliminärt antas landfästena vara 3,85 m på vardera sidan om bron. Övriga stöd placeras ut med hänsyn till landfästena samt arbetsbredd på vägräcken (se nästa stycke), vilket medför att bron får fyra spann med dimensionerna 18,5 m i ytterspann och 19 m i innerspann.

Väg 40 beräknas ha en ÅDT på 12000 år 2015 och andelen tung trafik ska förutsättas vara 22 %. Andelen tung trafik anses vara hög och således bör vägräcken med högre kapacitetsklass väljas för väg 40. Kapacitetsklass H2 är bättre än N2 då räcken av klass H2 kan ta upp en högre rörelseenergi än N2-räcket samtidigt som det på ett säkert sätt även klarar av en krock med en lätt personbil. Således klarar räcket av en påkörning både för ett lätt respektive tungt fordon utan allvarigare personskada (Vägverket, 2002). Förslagsvis kan Birsta Bro W användas under bron längs väg 40 då detta räcke har en låg arbetsbredd, endast en meter, vilket medför att brons stöd kan placeras närmare vägen (Birsta, 2014).

Tillåten konstruktionshöjd är skillnaden på vägens profilhöjd samt tillåten fri höjd. För en träbro måste den fria höjden under bron minst uppgå till 5,2 m. I detta fall är bankhöjden redan bestämd, vilken leder till en maximalt tillåten konstruktionshöjd. Nedböjning måste här beaktas så att den slutgiltiga nedböjningen inte medför att bron underskrider den fria höjden. Då limträets lameller är 45 mm höga varierar konstruktionshöjden i intervaller av denna storlek. Plattans konstruktionshöjd sätts till 810 mm, då en beläggning på 90 mm ska ligga ovan. Med denna konstruktionshöjd finns ett utrymme om 55 mm för nedböjning, innan kravet om fri höjd underskrids.

8.2 Materialkvalitet

För att vara en plattbro i trä kommer bron att ha långa spann, således förutsätts att limträet måste ha hög hållfasthet. Limträ GL36c väljs, vilket är den högsta standarden enligt Eurokod. Detta material är hållfasthetskombinerat vilket innebär att limträskivor med något lägre hållfasthet finns i mitten av limträplattan. Till sin fördel har ett kombinerat limträ lägre densitet, något som minskar egentyngden.

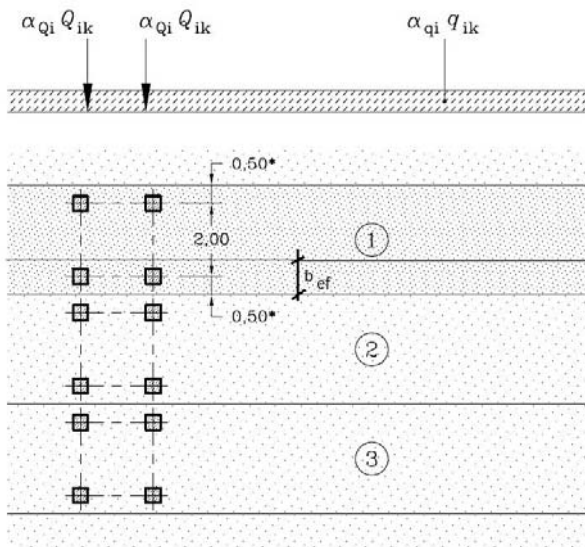
8.3 Permanenta laster

Bron i sig ger upphov till en egentyngd, som är jämnt utbredd i hela brons längsriktning. Faktorer som ger upphov till egentyngd och hur stora dessa tungheter är (se bilaga 5):

- Limträplatta $4,2 \text{ kN/m}^3$
- Tvärspänningsstag $0,3 \text{ kN/m}^3$
- Slitlager 23 kN/m^3
- Skydds- och bindlager (PGJA) 24 kN/m^3
- Räcke $0,5 \text{ kN/m}$

8.4 Variabla laster

I Eurokod SS-EN 1991-2 finns fyra olika lastmodeller. Lastmodell 1 (LM1) beaktar koncentrerade och jämnt utbredda laster, vilka täcker in de flesta effekter av trafik med last- och personbilar. Beräkningsmodellen används både vid globala och lokala beräkningar. För beräkning av laster för plattbron i trä beaktas enbart lastmodell 1. Enligt lastmodell 1 har vägbron i tvärled utbredd trafiklast samt punktlaster i form av boggiesystem. Den fria brobredden delas in i lastfält som vanligen är tre meter breda (se Figur 40). Dessa tre lastfält får olika värden på den utbredda trafiklasten (se Tabell 6).

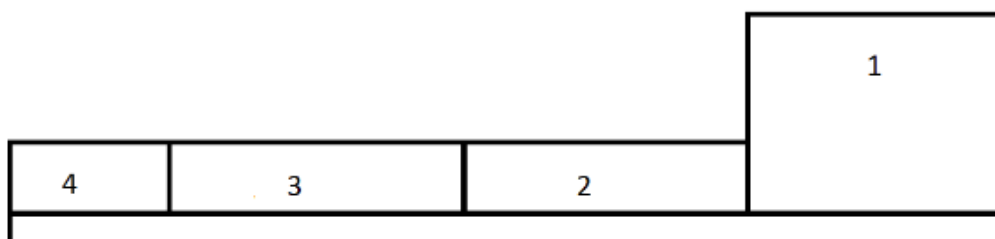


Figur 40 - Visar indelning av lastfält och punktlaster i form av boggiesystem (European Committee for Standardization, 2003).

Tabell 6 - Lastfälten tilldelas olika laster enligt nedan (European Committee for Standardization, 2003).

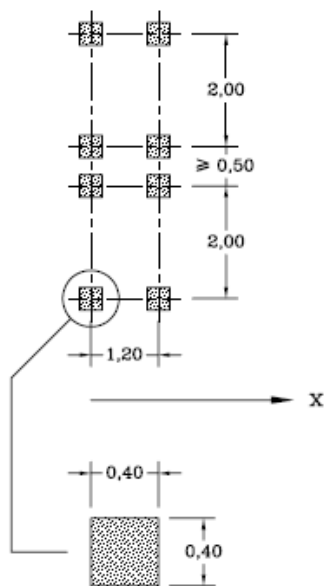
Läge	Boggisystem	Utbredd last
	Axellast Q_k (kN)	q_k (eller q_k) (kN/m ²)
Lastfält nummer 1	300	9
Lastfält nummer 2	200	2,5
Lastfält nummer 3	100	2,5
Övriga lastfält	0	2,5
Återstående yta (q_k)	0	2,5

Den resterande ytan, skillnaden mellan fri brobredd och bredd på de tre lastfälten, kallas återstående yta och även den tilldelas en utbredd last. De tre lastfälten har även olika värden på axellasten. Lastfält ett har alltid störst last och ska placeras så på bron att det ger ogynnsammast belastning. För plattbron ges ogynnsammast verkan om lastfält 1 placeras på en kant (se Figur 41).



Figur 41 - Visar de tre lastfälten i genomskärning, fält fyra är den återstående ytan.

Ett boggiesystem består av två axlar med två hjul på vardera axel. Däckets kontaktyta är kvadratisk med sidlängden 0,4 m. Avståndet mellan de två axlarna är 1,20 m medan axellängden är 2,0 m (se Figur 42). Om spännvidden överstiger 10 m kan båda axellasterna placeras i samma punkt. Samtliga fyra fack på plattbron har spann på över 10 m.

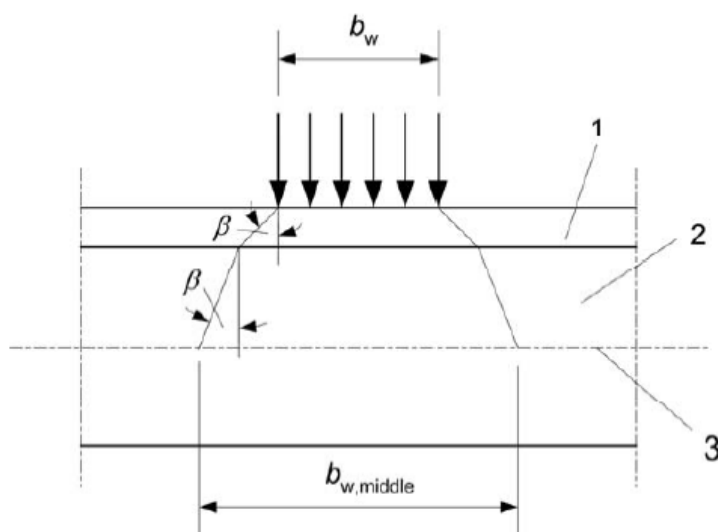


Figur 42 - Måtsättning av boggiesystem (European Committee for Standardization, 2003).

I längdled ska trafiklasten placeras så att ogynnsammaste fall uppstår. Placeringen av lasten varierar beroende på om maximalt moment eller maximal tvärkraft ska beräknas. Två olika lastfall studeras, i det första är punktlasten huvudlast medan i det andra är den utbredda lasten huvudlast.

8.5 Medverkande lastbredd

En effektiv bredd på plattan beräknas fram vilket möjliggör en analys av träplattan i längdled som liknar analysen av en träbalk. Den effektiva bredden tas fram genom en beräkningsmetod som bygger på hur lasten från ett däck fördelas ner genom beläggning och sedan lamellplatta. Genom beläggningen sprids lasten med en vinkel av 45° medan spridningen i lamellplattan är 15° (se Figur 43).



Figur 43 - Visar spridningen från en last med bredden b_w (European Committee for Standardization, 2004).

8.6 Nedböjning

Kravet på maximal nedböjning för en vägbro är $L/400$. Detta krav anses på förhand vara det svåraste att uppfylla. För att plattbron ska ha möjlighet att uppfylla kravet på nedböjning förutsätts den vara överhöjd. Detta innebär att bronns spann placeras något högre i vertikalled och egentygndens verkan medför sedan att bron slutligen når tilltänkt höjdnivå. Beräkning av nedböjning görs således enbart med trafiklast som last. För träkonstruktioner ska krypning beaktas vid beräkning av slutgiltig nedböjning enligt formel

$w_{fin, Qi} = w_{inst, Qi} * (1 + \psi_{2,i} * k_{def})$. För trafiklast på broar sätts dock ψ_2 till 0 (European Committee for Standardization, 2002) vilket gör att krypningen ej kommer att påverka nedböjningen i detta fall då trafiklast är enda verkande last. Beräkning görs även på hur mycket varje spann bör överhöjas. I denna beräkning beaktas krypning och ψ_2 sätts till 1,0 då egentygnden är den enda verkande lasten.

8.7 Reaktionskrafter och val av lager

För att bestämma vilka lager som ska väljas till stöden måste reaktionskrafter beräknas. Vid denna beräkning används inte effektiv lastbredd utan hela broplattans bredd. Först analyseras plattan i längdled för att bestämma reaktionskrafter i stöden. Sedan analyseras plattan i tvärlängd för att få ut fördelningen av reaktionskraft på respektive lager. Detta görs genom att placera ut lastfilerna i samtliga kombinationer och sedan bestämma både största respektive minsta kraftfördelning som kan uppkomma i ett lager.

Flera olika lagertillverkare finns, men utifrån respektive lagertillverkarens produktblad kommer ett elastolager från Mapeba att väljas. Då maximala- och minimala reaktionskrafter bestämts i ett lager kontrolleras dimensionerna i ett produktblad utifrån tre kriterier (Mapeba, 2014). En dimension per kriterium plockas ut där främst förskjutningarna i lagret ska kunna tas upp. Maximal reaktionskraft kontrolleras så att lagret håller och den minimala reaktionskraften för att lagret inte ska glida iväg. Detta innebär att tre olika lagerdimensioner tas fram och ur ekonomiskt perspektiv väljs det minsta lagret. Om inte det minimala reaktionskraftskravet uppfylls väljs ett lager som fästs i broplattan och endast förskjutning och maximal reaktionskraft behöver tas i beaktning. I beräkningarna antas att mittstödet förses med ett fast lager för att temperatur- och fuktrörelser ska fördelas jämnt vid båda landfästena.

8.8 Erforderlig förspänning

För att räkna ut den erforderliga förspänningen krävs det enligt Eurokod en tredimensionell plattanalis med hjälp av finita elementmetoder. Istället för Eurokodens metod används amerikanska Aashtos (American Association of State Highway and Transportation Officials) metod. Aashtos krav skiljer sig från Eurokodens och om Eurokodens minimikrav ej uppfylls korrigeras värdet efter Eurokod (Ekholm, 2013).

8.9 Klimatklass och lastvaraktighet

Gällande klimatklass förutsätts hela bron befinna sig i klimatklass 2 då plattan till stor del är skyddad från väta och ej är i direktkontakt med mark. Plattans egentygnd är en permanent last medan trafiklasten bedöms vara av lastvaraktighet kort.

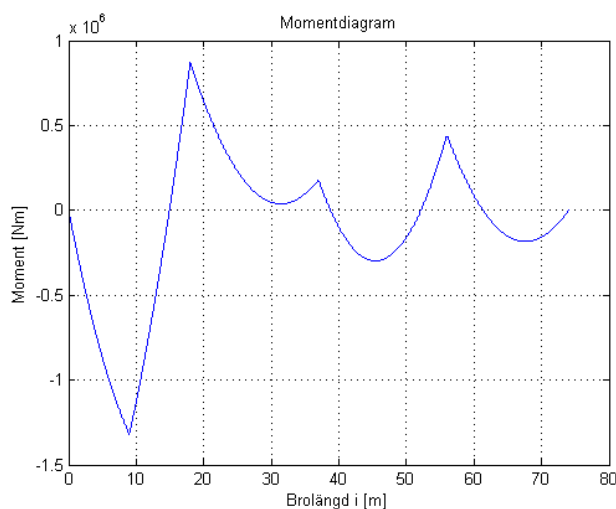
9 Resultat

Här redovisas beräkningsresultaten, dessa jämförs och en redogörelse ges utifall bron klarar eller icke klarar de belastningar den utsätts för.

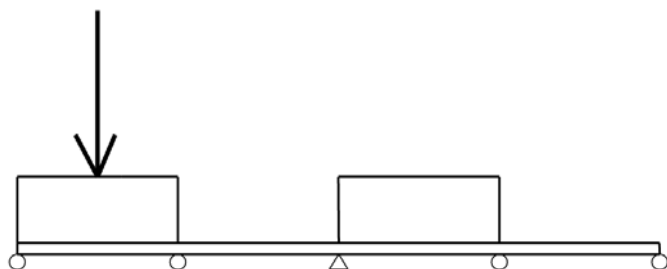
9.1 Moment- och tvärkraftsbelastning

Broplattan kommer att utsättas för ett maximalt moment som uppgår till 1319 kNm (se Figur 44). Detta sker i mitten av spann 1 och då lastfallet ser ut som i Figur 45 (se bilaga 6).

Broplattan har en momentkapacitet på 3609 kNm, vilket är klart större än vad den utsätts för och således ges en utnyttjandegrad på 0,37 (se bilaga 5).

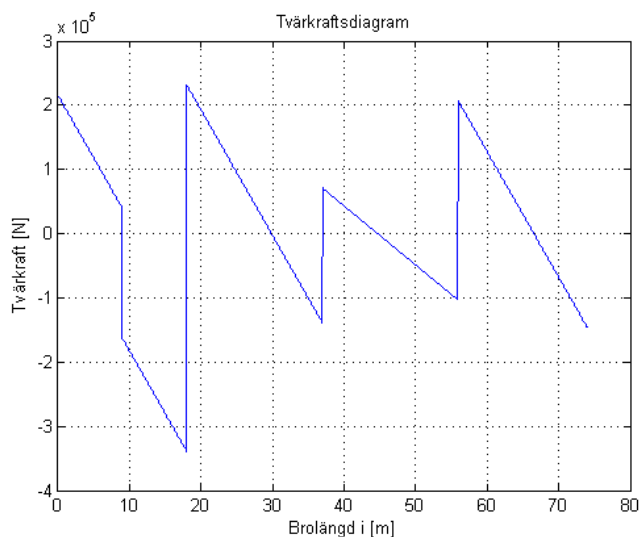


Figur 44 - Momentdiagram för det fall som ger maximalt moment.

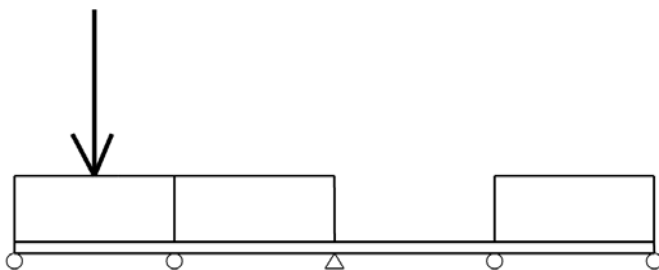


Figur 45 - Visar lastfallet för maximalt moment.

Den största tvärkraft som uppkommer i den kontinuerliga träplattan sker över stöd två och har storleken 339 kN (se Figur 46) (se bilaga 6). Denna maximala tvärkraft uppkommer vid ett lastfall enligt Figur 47. Tvärkraftskapaciteten uppgår till 1299 kN, vilket ger en utnyttjandegrad på 0,26 (se bilaga 5).



Figur 46 - Tvärkraftsdiagram för det fall som ger maximal tvärkraft.

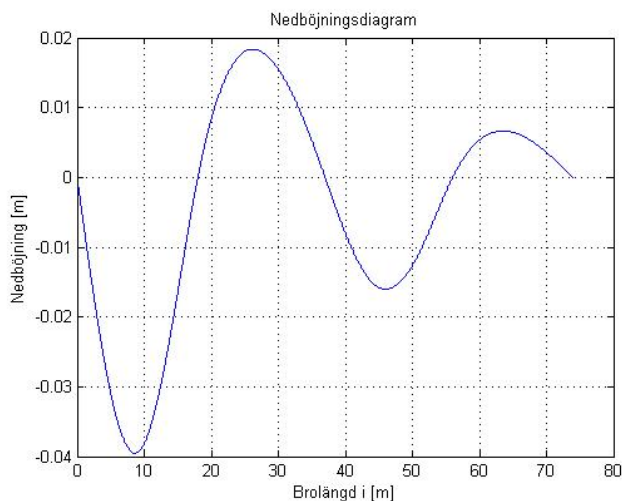


Figur 47 - Visar lastfallet för maximal tvärkraft.

9.2 Nedböjning, överhöjning samt kontroll om plattan lyfter över stöd

Plattan får en maximal nedböjning i fjärde spannet som uppgår till 39,5 mm (se Figur 48) (se bilaga 6). Detta medför att bron klarar kravet för nedböjning $L/400$, vilket motsvarar 45 mm för ytterspannet. En förutsättning för att bron ska klara kravet är att den är överhöjd.

Ytterspannen bör minst överhöjas 18 mm medan motsvarande höjning för innerspannen är 34 mm (se bilaga 9). Plattan kommer ej att lyfta vid något stöd då minsta reaktionskraft alltid är positiv, oavsett lastkombination. Lastfallet är detsamma som för maximalt moment (se Figur 45).



Figur 48 - Maximal nedböjning uppgår till 39,5 mm och uppkommer i mitten av ytterspannet.

9.3 Stämpeltryckseffekt

Stämpeltryck kan uppstå på plattan vid två olika ställen: vid lagren samt vid tvärspanningsstagen. För att undvika stämpeltryck från ankarplattan bör den vara rektangulär och ha en höjd på 0,2 m samt en bredd på 0,5 m. Vid lagren uppgår spänningen till 8,6 MPa medan träplattan har en hållfasthet på 2,4 MPa vinkelrätt fibrerna. Således behövs en fördelningsplatta för att undvika stämpeltryck. Den bör ha en area på minst 0,92 m² (se bilaga 5).

9.4 Erforderlig förspänning

Tvärspanningsstagen bör minst ha en förspänning på 1,0 MPa (se bilaga 5).

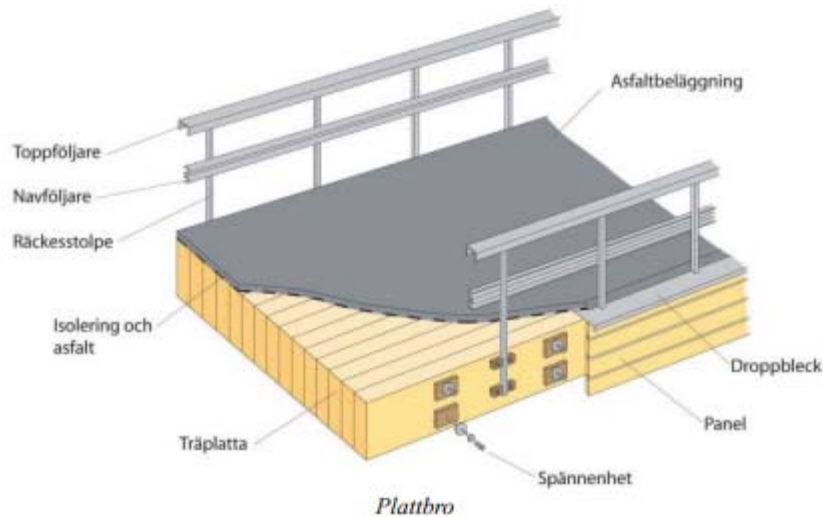
9.5 Längd landfäste och val av lager

Det finns ett landfäste i vardera ända av bron. Uträknad längd utgående från minimikrav är ungefär 4,26 m men slutgiltig längd sätts till 4,35 m då det ger mer fördelaktiga mått på ytterspannen (se bilaga 5).

Lagret som kommer att användas är ett elastolager från Mageba (Typ C) då kravet för minimal reaktionskraft ej är uppfyllt. Typ C har då möjlighet att fästas i broplattan och krav på minimal reaktionskraft behöver ej beaktas i val av dimensioner. Dimensioner: 250 mm * 400 mm * 104 mm (Se bilaga 5).

10 Komplet broförslag

Utifrån de tre urvalsstegen anses en plattbro i trä vara det bästa anpassade alternativet utifrån ställda kriterier för Ulricehamnsmotet. Det kompletta broförslaget kommer att utformas som en tvärsänd platta (se Figur 49).

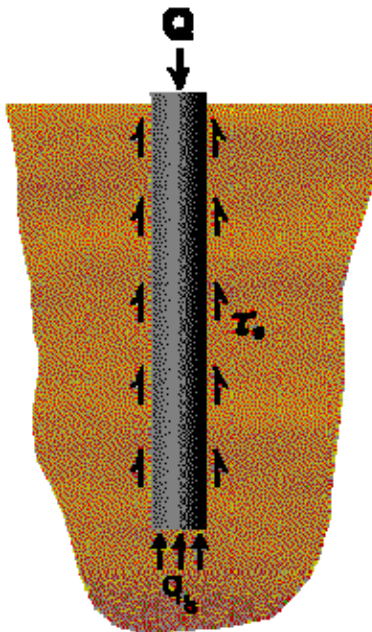


Figur 49 - Sammanfattande bild av en tvärsänd plattbros uppbyggnad (Crocetti, et al., 2011).

10.1 Grundläggning

Grundläggningen av bron sker genom att betongpålar slås ner (Aarsleff, 2014).

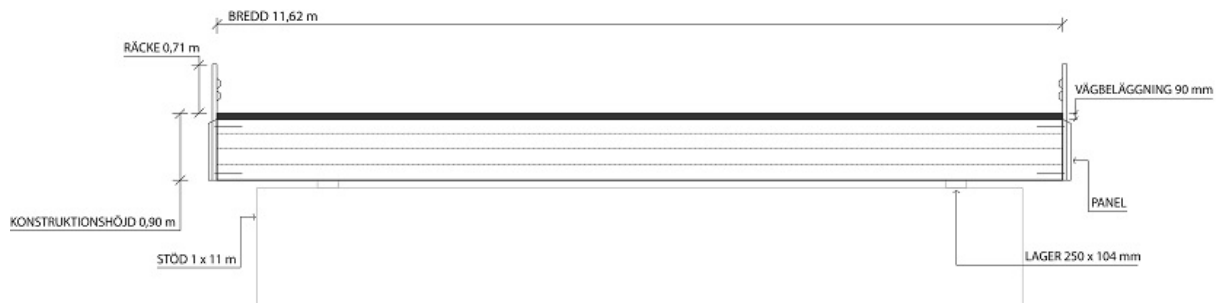
Medelpålstoppsdjupet är +127 (ca 45 m under markytan). Betongpålarna är spetsburna friktionspålar och huvuddelen av bärförmågan erhålls mellan mantel och friktionsjord (se Figur 50).



Figur 50 – Visar hur en friktionspåle bär lasten Q (Toll, 2001).

10.2 Underbyggnad

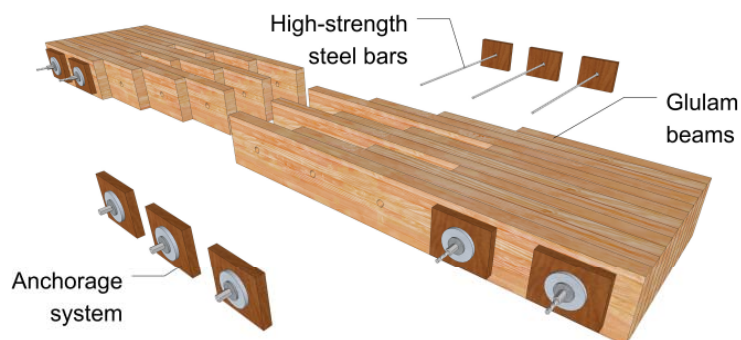
Underbyggnaden består av armerade betongpelare som för ner kraften till friktionspålarna. Det är tre stöd med två skivpelare i varje stöd och är ca 1 m tjocka och 11 m breda (se Figur 51).



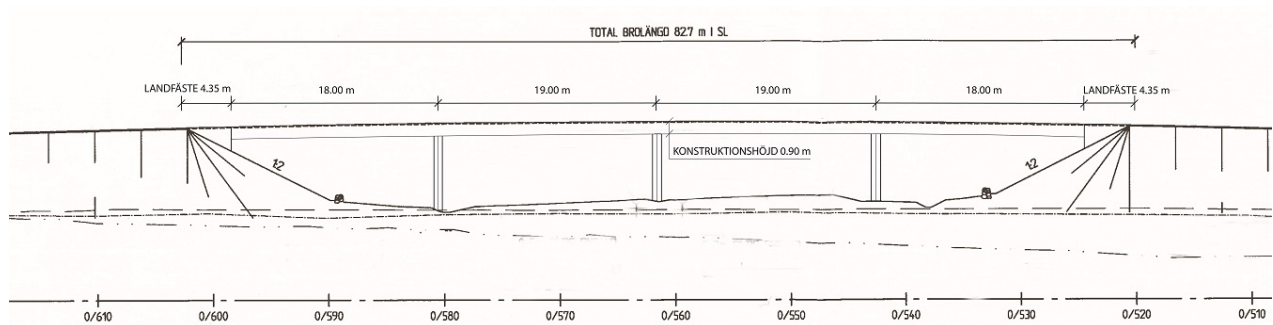
Figur 51 - Skiss över en sektion i bron.

10.3 Överbyggnad

Överbyggnaden är utformad som en tvärsپänd plattbro med limträelement (se Figur 52). Plattans bredd är 11,62 m och totala längden 75,5 m uppdelat på fyra spann (se Figur 53). Konstruktionshöjden blir 900 mm. Limträelementens dimensioner är 810 x 140 mm vilket medför att det är 83 limträbalkar i bredd. Balkarna är tillverkade i hållfasthetskombinerat limträ med hållfasthetsklass GL36c. Tvärspänningsenheterna består av genomgående ståltag av typen Dywidag GWS med brottgräns på 1098 MPa och diameter på 20 mm. Avstånd mellan tvärspänningsenheterna är 0,6 m och den minsta tillåtna spänningen är 1,0 MPa. Broplattans totala längd på 75,5 m kräver stumfogar i konstruktionen då limträelementen har en längd på max 12 m. Stumfogarna placeras på ett sådant sätt att det bara finns en skarv på 5 limträbalkar inom en längd på 1,2 m (dubbla längden mellan tvärspänningsenheterna) (se Figur 54).

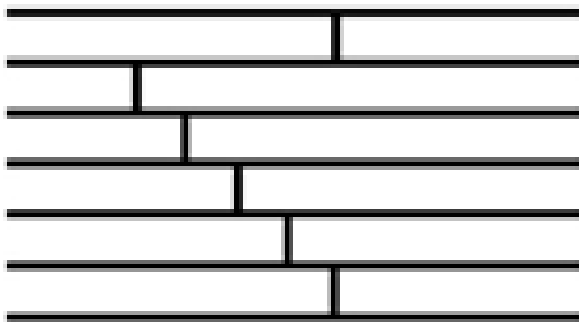


Figur 52 - Uppbyggnad av en tvärsپänd plattbro samt dess stumfogar. Bilden visar ett skarvmönster med en skarv på fyra lameller, den tänkta bron har en skarv på fem lameller (Ekholm, 2013).



Figur 53 - Skiss över bron i elevation.

Limträbalkarna skarvas enligt Figur 54, sett från ovan. Detta mönster upprepas i tvärled.



Figur 54 - Skarvmönster. En skarvs position återkommer var femte lamell i tvärled.

10.4 Produktionsmetod

Storleken på bron gör att prefabricering i ett stycke inte är möjlig. Bron kommer därför att prefabriceras i delar och monteras på plats. Det är geografiskt sett lämpligast att Moelven tillverkar de prefabricerade elementen.

Nedan följer en föreslagen produktionsordning för bron:

1. Friktionspålarna slås ner i marken.
2. Stöd och landfästen gjuts på plats med hjälp av tillfälligt uppsatta gjutformar. Betongen får sedan härda i 28 dygn för att uppnå full hållfasthet. Under dessa 28 dygn förbereds resterande arbete. Formarna plockas bort.
3. För att minimera riskerna för röta på limträbalkarna lyfts dessa på plats och monteras direkt från lastbilen. Detta för att slippa kontakt med den fuktiga marken.
4. Limträbalkarna monteras efter det förutbestämda mönstret för stumfogarna och de tvärgående ståltagen förs in i de förborrade hålen.
5. När tvärspänningsementerna är på plats spänns dessa så att en spänning på minst 1,0 MPa uppnås.
6. Bron asfalteras med en 90 mm tjock beläggning som utgörs av slitlager samt skydds- och bindlager.

10.5 Risker vid produktion

Träplattan måste lyftas på plats i delar. Lyft medför alltid en risk på arbetsplatsen. Brister i tidsplaneringen innebär en risk då eventuellt plattenheterna inte kan lyftas direkt från

lastbilen. Elementen måste då förvaras på byggplatsen vilket kräver att materialupplagen är skyddade mot fukt då materialet trä är mycket fuktkänsligt (se avsnitt 3.3).

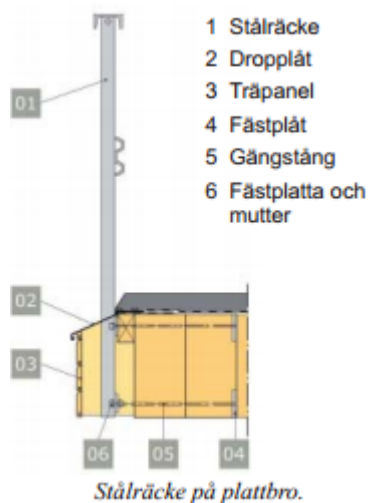
10.6 Brodetaljer

I följande kapitel presenteras brodetaljer. De brodetaljer som behandlas är följande:

- Räcke
- Ytavlopp
- Grundavlopp
- Övergångskonstruktion och landfäste
- Lager
- Tvärspänningsenheter
- Fuktskydd

10.6.1 Räcke

Räcket placeras vid sidan av plattan och förankras med gängstänger genom de två yttersta limträbalkarna (se Figur 55). Räcket utgörs av stål och är i nederkant täckt av panel. Stolparnas cc-avstånd är 1,8 m (Birsta, 2014).



Figur 55 - Visar en detalj över räckets infästning i en tvärspänd plattbro (Pousette, 2008).

För motorvägar och motorleder med hastigheter över 90 km/h bör sidoräcke och mitträcke minst vara av kapacitetsklass N2. Vid höga flöden eller stor andel tung trafik bör en högre kapacitetsklass övervägas (Vägverket, 2002).

10.6.2 Ytavlopp

Avlopp placeras så att dess centrum är 0,2 m från plattans ytterkant och överytan placeras 10 mm under beläggningens överyta. Röret dras ned 100 mm under överbyggnadens underyta och förses med 5 mm vattentät och icke sugande polyuretanskum. Ytavloppet ansluts till stuprör med yttre diameter 110 mm. Avloppets öppningsarea är 32000 mm² och är försedd med galler. Anslutningsledning mellan ytavlopp och stamledning har en innerdiameter av 100 mm med ett fall på 1 % och ansluts till stuprör längs stöden (Vägverket, 2004).

10.6.3 Grundavlopp

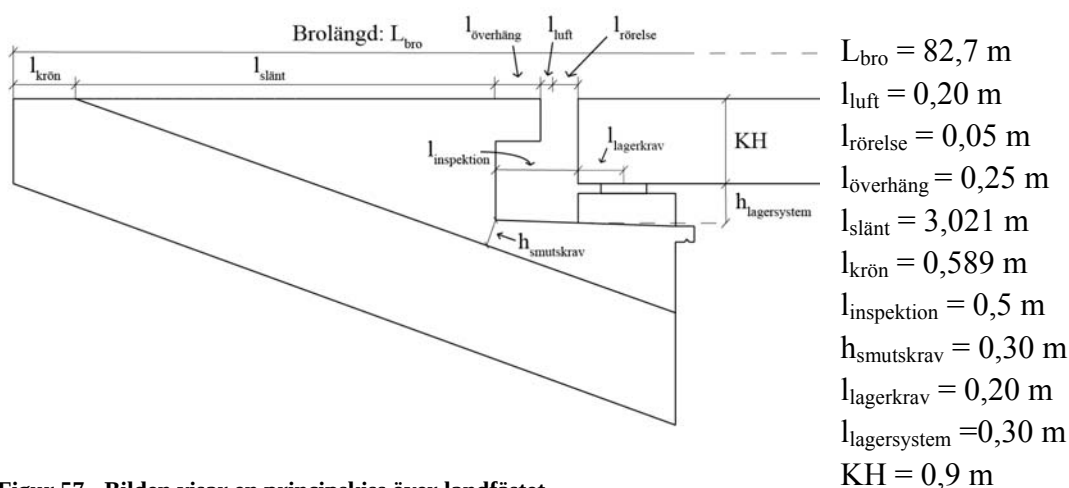
Översidan av brobaneplattans tätskikt avvattnas genom kombinerat skydds- och bindlager av PGJA. Avvattningen utförs med grundavlopp och dräneringskanaler. Grundavloppsrören dras ned 20 mm under underytan på de konstruktionsdelar som rören dras igenom. De placeras i tre rader längs bron där tätskiktet ligger lägst, med störst risk för vattenansamling samt tvärs bron intill övergångskonstruktionen (Vägverket, 2004).

10.6.4 Dimensioner övergångskonstruktion och landfäste

I övergången mellan bro och vägbanan är öppningen 200 mm och har en rörelse på 50 mm. Här används fogen FLL 100-1 av varumärket Spennteknikk med en bredd på 150 mm och med flexibiliteten 100 mm (se Figur 56) (Spennteknikk, 2014). Fogen kan även vidgas så att den passar i öppningen. Dimensioner för landfästet ses i Figur 57

Fugens utseende	Type	Bevegelse	A	B	C	F	H
	FLL 60-1	60	130	300	60	74	350
	FLL 80-1	80	140	300	80	84	350
	FLL 90-1	90	145	300	90	89	350
	FLL 100-1	100	150	300	100	94	350

Figur 56 - Bild på övergångskonstruktion. A är bredden, C är maximal vidgning och Bevegelse är flexibiliteten (Spennteknikk, 2014).



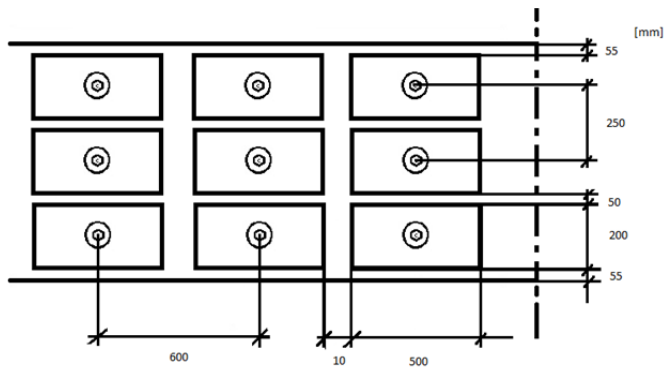
Figur 57 - Bilden visar en principskiss över landfästet.

10.6.5 Lager

Det lager som används mellan broplatta och landfäste är Mageba elastolager typ C med dimensionerna 250 x 400 x 104 mm (Mageba, 2014). Två lager placeras under träplattan mot varje stöd. Lagret fästs i broplattan för att förhindra glidning av lagret vid förskjutning.

10.6.6 Tvärspänningsenheter

Tvärspänningsenheterna placeras tre i höjddled med ett cc-avstånd på 250 mm och i bredd med ett cc-avstånd på 600 mm (se Figur 58).



Figur 58 - Skiss över tvärspänningsenheternas placering.

10.6.7 Fuktskydd

Träplattan och känsliga element som till exempel tvärspänningsenheterna skyddas mot nederbörd samt solexponering delvis med hjälp av en fasadpanel (se Figur 59).



Tvärspänd platta med panel längs kanten.

Figur 59 – Bilden visar tvärspänningsenheterna inklädda i en skyddande panel (Pousette, 2008).

Panelen börjar i överkant med en droppkant och utförs med en luftspalt för att skapa ventilation och förhindra kapillärsugning. Träplattan skyddas dessutom av ett tätskikt som dras ned över änden vid fundamenten (se Figur 60).



Figur 60 – Bilden visar en generell bild över hur träplattan skyddas mot fukt (Pousette, 2008).

10.6.8 Underhåll av brodetaljer

Brofundament, beläggning, avlopp och träkonstruktion bör hållas fri från grus, skräp, löv och annat som kan binda fukt. Detta uppfylls genom en årlig renspolning. Reparation av sliten vägbeläggning görs vid behov. Viktigt är att övergångskonstruktionen och brons lager hålls i gott skick för att förhindra fukt från att tränga in i konstruktionen och av samma anledning bör målade ytor behandlas fortlöpande. Räcken bör vid synlig skada bytas. Efterspänning av spännstagen utgör också en del av underhållet.

10.7 Lösning vid framtida ökning av trafiklast

Bron dimensioneras efter lastmodell 1 vilken utgörs av utbredda och variabla laster som kan sägas modellera en tät trafik. Att dimensionera efter detta fall innebär en viss buffert mot en ökad last då LM 1 överdimensionerar bron något i förhållande till en normal trafikmängd. Dock finns inte några egentliga praktiska åtgärder att vidta mot en markant ökad trafik då bron inte på ett enkelt sätt går att bredda.

10.8 Underhåll av slutgiltigt koncept

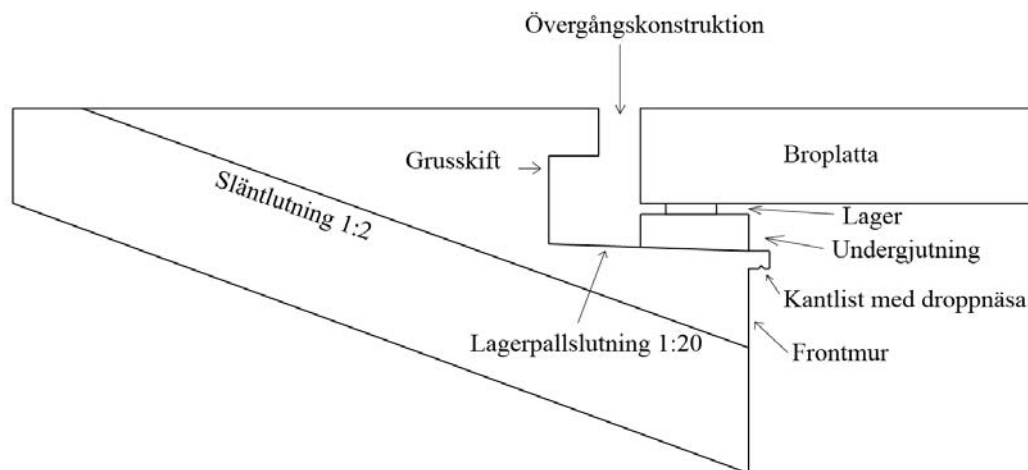
De nödvändiga underhållsåtgärderna av bron kommer vara rengöring från smuts, ommålning av behandlade ytor samt reparation av vägbeläggningen. I övrigt bör även alltid åtgärder vidtas som hindrar skadetyperna nämnda i avsnitt 6.2.3 för träbroar. Extra viktigt är detta vid brons kritiska punkter. Brons utformning och material gör det enkelt att byta ut mindre delar. Till exempel kan räcken eller delar av räcken enkelt skruvas loss. Det är endast vid felaktigt skött underhåll eller omfattande oförutsedd skada som större delar kan behöva bytas ut (Svenskt trä, 2014).

10.8.1 Kritiska punkter

Inspektion är av särskild vikt vid alla förband, övergångskonstruktioner och plattans spännstag samt ändträ. Här bör de vanligaste skadetyperna: röta, skador på ytbeläggning och sprickor kontrolleras noga. Sedan bör även landfästen, förband och andra förbindningar ses över så inte deras infästningar brister. Ibland kan bultar, förspända plattor eller förband behöva efterspännas (Pousette & Fjellström, 2004).

10.8.1.1 Övergångskonstruktion

I övergångskonstruktionerna skapas möjlighet för ansamlingar av löv, smuts och damm som alla binder vatten. Här är viktigt att fortlöpande göra rent (se Figur 61). Fuktkvot i träet och rost på bultar vid upplaget bör inspekteras (Pousette & Fjellström, 2004).



Figur 61 - Ritning av övergångskonstruktionens placering.

10.8.1.2 Konstruktivt skydd

Brons panel och droppbleck längs kanterna av bron håller borta fukt och smuts. Vid skada på något av dessa kan dock intäckningskonstruktionen ha motsatt effekt. Här kan det då, likt i övergångskonstruktionen, ansamlas fukt och smuts som skadar bron. Dessa delar bör därför kontrolleras fortlöpande.

10.8.1.3 Tvärspänningsstag

Spännkrafterna i plattan minskar med tiden på grund utav olika rörelser i materialet. Deformation, krypning och fuktrörelser kan alla bidra till minskad spänning i stagen. Spännkrafterna i spännstagen bör kontrolleras med domkraft så att de inte underskrider minsta föreskrivna kraft på 0,35 MPa (se Figur 62) (Pousette & Fjellström, 2004).



Figur 62 - Kontroll av spännkraften i tvärspänd träplatta (Svenskt trä, 2014).

10.8.2 Inspektioner

Allmän fuktmätning är en viktig del av inspektionen eftersom fukt anses ha kritiska konsekvenser på materialet trä. Denna görs antingen med resistiva eller med kapacitiva mätare. Dessa mäter resistansen respektive kapacitiviteten hos träet vilka båda varierar med fuktinnehållet (Vikberg, 2010). På så vis kan, genom upprepade mätningar på olika djup, fuktutbredning och fuktkvot kontrolleras. Fuktmätning bör göras på alla delar som riskerar eller misstänks riskera stor fuktexponering.

Inspektioner som är aktuella för broförslaget sammanfattas i följande text, för mer ingående beskrivningar se avsnitt 6.2.1. Huvudinspektion ska utföras minst var sjätte år. Där ska brister som inom en tioårsperiod kan påverka brons trafiksäkerhet eller funktion upptäckas. Även brister som inom en tioårsperiod skulle höja förvaltningskostnaden ska upptäckas här. Därför inspekteras hela bron under huvudinspektionen. Fortlöpande och översiktlig inspektion vars syften är att upptäcka akuta och oförutsedda skador samt kontrollera att arbetet med underhållsplanen sköts ska utföras minst en gång per år (Svenskt trä, 2014). Allmän inspektion, eller uppföljning av huvudinspektion ska utföras minst var tredje år. Detta då bron har en teoretisk spännvid över 5 m. Särskild inspektion eller uppföljning av resultatet från de regelbundna inspektionerna görs för bron då det krävs. Inspektionen följer upp brister hos enstaka broelement (Vägverket, 2014).

10.9 Risker rörande förvaltning, miljöaspekter och underhåll

Arbetet med brons beständighet innebär många typer av risker och osäkerheter. Dels i projekteringsstadiet men även i själva utförandet av bevarande åtgärder. För att bron ska nå och bevara den förväntade kvaliteten krävs dock att alla typer av risker utreds.

Träbroar av denna utformning och storlek är än så länge en relativt ny företeelse, jämförelseunderlaget är därför begränsat (Pousette & Fjellström, 2004). Uppskattning av faktisk livslängd innebär därför en ytterligare osäkerhet. Accelererade experiment och jämförelser från andra länder skapar en osäkerhet jämfört med verkliga referensprojekt i Sverige. Resultaten från inspektionerna blir därför extra viktiga för förvaltaren att följa upp då all ny information om brons beteende måste tas lärdom av. Stämmer resultatet från inspektionerna dåligt överens med det förväntade kan underhållsplanen behöva revideras.

En förutsättning för att inspektioner av bron vid Ulricehamnsmotet ska kunna utföras säkert är att hela eller delar av väg 40 stängs av. Störande och farlig trafik måste hållas borta från inspektionsplatsen. Farligheter kan också uppkomma vid svårare inspektioner på oåtkomliga ställen på hög höjd. Här kan särskilda och tillfälliga ställningar krävas. Brons konstruktiva skydd skapar åtkomlighetsproblem då detaljer delvis eller helt och hållet måste täckas in. Vid inspektion av dessa bör, utöver inspektörens personliga säkerhet, även noga kontrolleras att inte skyddet skadas vid inspektionen då ett hål i detta snabbt leder till fuktskador och minskad beständighet. Vinterväghållningsarbete kan också innebära risker och skador på bron. Det förekommer att till exempel räcken plogas sönder av plogbilen. Broar löper också en risk för vandalisism främst i form av graffiti eller åverkan på räcken. Denna typ av skador är svåra att förutse och bron behöver därför kontinuerligt kontrolleras under den fortlöpande inspektionen. Det föreligger viss risk att miljöfarliga ämnen släpps ut i naturen om brons

avrinningssystem på något sätt skulle skadas. Vandalism eller andra svårförutsägbara händelser skulle kunna innebära skador på detta.

10.10 Risker utifrån beställarens perspektiv

Då bron byggs och projekteras under en längre tid finns det risk för att omständigheterna kring projektet kan hinna förändras. Störst konsekvenser skulle troligen en ny ekonomisk kris skapa. Stryps tillflödet av pengar på grund av investeringsoro kan projektets färdigställande dra ut på tiden rejält alternativt att projektet helt avbryts. En risk finns också för att underleverantörer går i konkurs och att pengar på så vis går förlorade. En annan faktor som skulle kunna påverka färdigställandet är en strejk. Strejker kan över en längre tidsrymd vara svåra att förutse.

Osäkerheten kring träbroars livslängd har också en påverkan på arbetet med hållbarutveckling. Visar det sig att bron har en mycket kortare livslängd än förväntat blir projektet ohållbart, detta då mycket resurser slösats på något som inte är beständigt. Risken för detta får dock anses låg. En framtida tillväxt av Ulricehamn skulle kunna leda till att bron och vägsträckningen åter hamnar i tätbebyggt område vilket skulle påverka bullernivån för delar av kommunens invånare negativt.

Trafikanter längs Riksväg 40 får en minskad sikt i och med bron, vilket skulle kunna innebära en risk för olycka. Påverkan av detta har dock minimerats då bankerna är placerade långt ifrån vägen. En olycka, särskilt av fordon med giftigt eller explosivt gods, innebär en stor risk. Detta dels för omkringliggande natur och miljö och dels för konstruktionen i sig. En explosion skulle kunna skada stora delar av bron och vara både kostsam och tidkrävande att reparera. Troligen skulle arbetet med detta också orsaka stora trafikstörningar.

11 Diskussion

Rapportens huvudsyfte har uppfyllts genom kontinuerligt arbete med framtagandet av beräkningar, brokoncept samt planer för produktion och underhåll. Vidare har ett delsyfte i rapporten varit att tungt väga in hållbarhets- och miljöaspekter vid val av brokoncept. Trots ökat fokus på dessa frågor är det fortfarande ovanligt att vikta dessa aspekter så högt som i detta projekt då det är svårt att motivera den eventuellt högre kostnaden i den offentliga upphandlingen. Inriktningen på detta projekt kan därför tyckas sakna viss verklighetsförankring ifall beaktning inte tas av samhällets tvungna utveckling mot hållbarhet och den svåra processen detta innebär. Då kulturen i branschen förändras långsamt krävs att förändringar inte sker för snabbt och i för stor omfattning. Vidare kan arbete med hållbarhets- och miljöaspekter för många uppfattas otydligt och diffust. Till en början kommer det därför krävas tydliga arbetsmetoder med enkla mätbara indikatorer. Valet att arbeta med ett miljöcertifieringssystem känns utifrån detta som ett rimligt första steg. Miljöcertifieringssystem har under senare år växt kraftigt inom husbyggnad och således är det också troligt att detta är en gångbar linje även för infrastrukturprojekt.

Vad gäller viktningen av kriterier bör nämnas att tidsaspekter i ett riktigt projekt troligtvis hade viktats högre. Störningar i infrastrukturnätet vid byggnation leder till en samhällskostnad och påverkar även projektets budget. I detta simulerade fall saknar projektet specifik tidsfrist och ingen befintlig väg behöver stängas av under byggtiden vilket gör att tidsaspekterna ansetts mindre betydelsefulla. Värt att poängtera är att plattbron i trä fortfarande hade stått sig bra även om både tid och ekonomi hade prioriterats högre vid viktningen. Det finns dock en viss osäkerhet kring produktionskostnaden av bron som är svår att uppskatta då det finns få jämförbara plattbroar i trä att studera.

Vid viktningen var säkerheten på byggplatsen utifrån brotyp och material komplicerad att utvärdera. Att till exempel jämföra risken med höga och tunga lyft för prefabricerade element med risken hos temporära konstruktioner i samband med gjutning är problematiskt. Statistik på området är begränsad och bedömningar som dessa görs sannolikt inte utifrån litteratur. Bedömningarna är troligtvis ofta grundade i arbetslivserfarenhet, något som saknas inom gruppen.

Formgivningsvillkoren i förslagsritningen och i synnerhet brons lågt stakade profillinje ställde stora krav på konstruktionens utformning. Att räkna hem en träplatta inom den givna konstruktionshöjden ställde höga krav på både överbyggnadens material och antalet stöd. Användning av höghållfast limträ (GL36c) och grundläggning av stöd är två dyra åtgärder som dock motiveras utifrån syftet som presenteras i rapporten. Att utifrån detta dra slutsatsen att avfärda en plattbro i trä på ekonomiska grunder för liknande projekt får dock anses en aning förhastad. Med en profillinje som inte varit förutbestämd hade både hållfasthetsklassen på virke och eventuellt antalet stöd kunnat minskas. Vanligen bestäms inte profillinjen innan broar konstrueras utan detta sker parallellt under projekteringsfasen. Beslut om konstruktionsmaterial tas oftast i ett tidigt skede innan profillinjen är fastslagen. Bankernas utformning kan då enkelt ändras och skapa bättre möjligheter. Denna lösning är troligen både billigare och mer miljövänlig än att använda höghållfast virke och flera stöd i betong, förutsatt

att bankernas material inte behöver transporteras en längre sträcka eller utvinnas ur känsliga områden.

Trafikverket hade troligtvis en betongbro i tanke då formgivningsvillkoren fastslogs för Ulricehamnsmotet. Det är tydligt i den tekniska beskrivningen då lager som vanligen enbart används för betongbroar är föreskrivna. Här togs beslutet att frångå den tekniska beskrivningen för att bättre anpassa lagren efter vald konstruktion.

Valet av höghållfast virke kontra ännu fler stöd längs brobanan kan diskuteras. Ur ett ekonomiskt perspektiv är det en svår uppskattning att göra eftersom fler stöd eventuellt innebär synergieffekter vad gäller grundläggningen. Fler stöd hade inneburit en ytterligare utspridning av lasten vilket lett till att grundläggningskraven under respektive stöd minskat. Detta i kombination med att grundläggningen troligtvis dimensionerats för en överbyggnad i betong, kan möjligen helt eliminera behovet av pålning. Skivstödens fundament hade i så fall möjligen varit tillräckliga och fungerat som plattor på mark.

Oavsett tillåten konstruktionshöjd genererar de tekniska förutsättningarna, och då främst brons längd, en tjock träplatta. Konstruktionen blir tung och mer svårhanterlig vid produktionen och således krävs flera lyft. Detta leder i sin tur till en längre produktionstid. Alternativet är att lyfta färre men större element vilket innebär en förhöjd säkerhetsrisk.

Verkningsgraden för moment- och tvärkraftsbelastning blir som följd av den tjocka plattan relativt låg och det är inte möjligt att höja denna då nedböjningen var avgörande för dimensioneringen. De låga verkningsgraderna kan tolkas som att en plattbro i trä inte är lämplig för dessa spannlängder. Vanligtvis används en plattbro i trä på kortare spann eftersom plattbron har en stor egenvikt för att vara en träbro, något som påverkar nedböjningen negativt vid längre spann. En lådkonstruktion av trä skulle ta hand om dessa krafter mer materialeffektivt men hade också generat en högre konstruktionshöjd (Pousette, 2011). Det bör poängteras att bron är ineffektiv vad det gäller att ta upp tvärkraft och moment men fortfarande effektiv ur miljösynpunkt gentemot en stål- eller betongbro. Med andra ord bär den lasten med liten miljöeffekt. Återigen hade en mer generöst stakad profillinje skapat förutsättningar för att optimera konceptet ytterligare. Lösningar för att optimera verkningsgraden hade då kunnat föreligga.

För att klara kravet på nedböjning överhöjs bron och kravet klaras då med liten marginal. Detta ställer i sin tur mycket höga krav på utförandet så väl vid montering som hos träproducent. Överhöjningen och dess eventuella praktiska svårigheter beaktades dock inte när konceptet utvärderades utifrån byggnationstid eller konstruktionskostnad.

Bron vid Ulricehamnsmotet ska ha en teknisk livslängd på 80 år. Antalet limträbroar som befinner sig i en liknande klimatzon, av motsvarande storlek och konstruktion är begränsat. Överhuvudtaget är antalet äldre jämförbara broar försvinnande få. Värdefulla referenser saknas med andra ord och därför är alla typer av långtidseffekter svåra att förutse. Dessa effekter kan gälla allt från underhållsaspekter till krypning och utmattning i konstruktionen. De omgivande förhållandena kan dessutom även komma att förändras i framtiden. Rådande klimatförändringar tyder på en ökad nederbörd och vindar i den aktuella regionen. En

kombination av dessa två, slagregn, kan därför vara värd att ta i beaktning. Slagregn skulle kunna orsaka att vatten tar sig in i konstruktionen på ett sätt som i nuläget försummas. Trä är fuktkänsligt i högre grad än stål och betong vilket gör att det eventuellt är mindre lämpligt än stål och betong då klimatiförändringar beaktas. Paradoxalt nog leder dock en träbro troligtvis till mindre klimatiförändringar än alternativen stål och betong. Detta beror främst på att trä är en förnybar resurs.

Beräkningarna i denna rapport berör enbart överbyggnaden. Det är dessutom endast preliminära beräkningar som utförts av denna då alla element inte dimensioneras fullständigt. Vid beräkningarna av överbyggnaden beaktas endast vertikala laster men i realiteten utsätts träplattan naturligtvis även för horisontella laster. Ett exempel som bör beaktas är de som uppstår på grund av trafik. Krafterna uppstår bland annat då fordon bromsar eller accelererar samt vid påkörning av räcke. Då mittstödet har försetts med ett fast lager finns möjlighet att dimensionera det för horisontella laster. Ytterligare en horisontellast är vindlast som dock inte kommer att ha någon större påverkan på bron. Detta beror på att plattans utbredning i tvärled är stor i förhållande till längden samt att överbyggnaden inte har något betydande vindfång (Ekholm, 2014). En till beräkning rörande överbyggnaden som ej genomförts är hur vägräckets infästning i de två yttre lamellerna kan skada plattan vid en påkörning.

I Eurokod hamnar överbyggnader i trä under kategorin lätt överbyggnad som har ett förhöjt krav på fri höjd. Detta beror på att en påkörning bedöms kunna få allvarliga konsekvenser. Denna horisontella påkörningslast ska i realiteten beräknas exakt men likt vindlasten antas den här inte vara dimensionerande eftersom den massiva, breda och tjocka träplattan har ett stort motstånd i sidled.

Brons underbyggnad har enbart uppskattats och kvarstår helt att beräkna. Skivstöden bör beräknas och särskilt ska här olyckslast beaktas då det finns en betydande risk för påkörning så nära vägen. Risk för sättningar är av stor betydelse för bron då även små sådana snabbt orsakar problem för kravet på fri höjd. Noggranna beräkningar bör därför utföras men har här uteslutits då uppgiften är tydligt avgränsad till enbart överbyggnaden.

I det tredje urvalssteget används miljöcertifieringssystemet CEEQUAL som skiljeverktyg. På grund av systemets bredd beträffande miljöfrågor värderades det högt framför alternativet att utforma ett eget utvärderingsverktyg. Gällande miljöanalys är det annars vanligt att begränsas till koldioxidutsläpp, något som CEEQUAL inte begränsar sig till utan belyser även frågor som återvinningsmöjlighet och konsekvenser av framtida klimatiförändringar. Det finns också fördelar med att använda ett av en tredje part färdigutvecklat system. Frågorna i CEEQUAL är redan viktade poängmässigt, en värdefull aspekt då miljöfrågor är mycket komplicerade att värdera.

CEEQUAL går att använda i alla delar av ett projekt. Trots detta finns det givetvis för- och nackdelar med att använda ett certifieringssystem tidigt i projektet och som ett skiljeverktyg. Två av dessa nackdelar är att kunskap tidigt i projektet saknas kring flera delar i projektet och att många av frågorna inte är applicerbara i urskiljningssyfte. Många frågor måste således sorteras bort. Denna sortering utgör visserligen alltid en del i arbetet med CEEQUAL och det finns tydligt angivet vilka frågor som aldrig får sällas bort, men i takt med att fler frågor

utesluts minskar också systemets bredd och värde. För att tydligare skilja koncepten åt gavs enbart poäng till det koncept som bäst uppfyllde de olika frågornas indikatorer. Teoretiskt skulle därför flera koncept i verkligheten kunna vara nästan lika fördelaktiga utifrån miljö- och hållbarhetsaspekter men samtidigt få väldigt olika poäng i utvärderingen. Det är därför viktigt att poängtera att resultatet av utvärderingen inte kan ses som en ranking mellan koncepten utan enbart som en väg att hitta det mest fördelaktiga konceptet. Mest fördelaktig är emellertid alltid det med högst poäng.

Slutligen kan användandet av CEEQUAL sammanfattas som ett skiljeverktyg som har gett en bred, opartisk och tydlig bedömning av miljöaspekter. Genom att arbeta med certifieringssystemet redan under konceptvalet skapas goda förutsättningar för ett byggnadsverk som vid färdigställandet uppfyller certifieringssystemets alla krav.

12 Källförteckning

Aarsleff, 2014. *Pålning*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.aarsleff.nu/verksamhet/palning>

[Använd 12 05 2014].

Aava-Olsson, B., 2012. *Vad är hållbar produktion? Varför hållbar produktion?*. u.o.: Trafikverket.

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P., 2013. *Bärande konstruktioner del 1*, Göteborg: Avdelningen för konstruktionsteknik.

Andersson, D., 2005. *Prefabricerade väggelement med pelar-balkstomme*, Luleå: Luleå tekniska universitet.

Andersson, R., 2013. *Ny forskning: Svensk betong tar upp 300 000 ton koldioxid varje år!*. [Online]

Tillgänglig: <http://betong.se/2013/10/ny-forskning-svensk-betong-tar-upp-300-000-ton-koldioxid-varje-ar/>

[Använd 5 03 2014].

Bannazadeh, B., Zahra, S. Z. & Maghareh, R. M., 2012. *A Study on Cable-Stayed Bridges*, Fribourg: Trans Tech Publications.

Bärckström, M., 2014. *Handledning på COWI* [Intervju] (28 februari 2014).

Baumann, H. & Widman, J., 2001. *Återvinning av stål från byggnader*, Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.

BCSA, 2005. *BCSA Guide to the Erection of Steel Bridges*, London: British Constructional Steelwork Association Ltd. .

Birsta, 2014. *Vägräcken*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.birsta.eu/Produkter/Vagracken/>

[Använd 16 05 2014].

Brockenbrough, R. L. & Merritt, F. S., 2006. *Structural Steel Designer's Handbook*. 4:e red. New York: McGRAW-HILL.

Brockenbrough, R. L. & Merritt, F. S., 2011. *Structural Steel Designer's Handbook*. Fifth Edition red. New York: McGraw-Hill Education.

Brunklaus, B. & Baumann, H., 2002. *Vad innebär ett ökat träbyggande i Sverige?*, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Burström, P.-G., 2007. *Byggnadsmaterial - Uppgyggnad, tillverkning och egenskaper*. 2:a red. Lund: Studentlitteratur AB.

CEEQUAL, 2013. *CEEQUAL for UK & Ireland Projects*. [Online]

Tillgänglig: <http://ceequal.com/downloads.html>

[Använd 28 02 2014].

Chen, W.-F. & Duan, L., 1999. *Bridge Engineering Handbook*. First Edition red. Boca Raton: CRC Press.

Crocetti, R. o.a., 2011. *Swedish wood*. First edition red. Göteborg: Swedish forest industries federation.

dezeen magazine, 2010. *Can Gili Footbridge by Alfa Polaris*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.dezeen.com/2010/08/28/can-gili-footbridge-by-alfa-polaris/>

[Använd 06 05 2014].

Dinwoodie, J. M., 2000. *Timber- Its Nature and Behaviour*. 2:a red. London: E & FN Spon.

Dorf, R. C., 2004. *The Engineering Handbook*. 2:a red. Boca Raton: CRC Press.

Ehlorsson, V. & Palmqvist, V., 2010. *Prefabricerade betongbroar - är det möjligt?*, Halmstad: Högskolan i Halmstad.

Ekholm, K., 2013. *Performance of Stress-Laminated-Timber Bridge Decks*, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Ekholm, K., 2014. *Plattrbo i trä* [Intervju] (11 04 2014).

Ekholm, K., 2014. *Träbroar*. Göteborg: WSP.

Ek, K., 2014. *Telefon med Kristine på NCC* [Intervju] (5 mars 2014).

EPA, 2013. *Future Climate Change*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.epa.gov/climatechange/science/future.html>

[Använd 01 03 2014].

European Committee for Standardization, 2002. *Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*, Bryssel: European Committee for Standardization.

European Committee for Standardization, 2003. *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar*, Bryssel: European Committee for Standardization.

European Committee for Standardization, 2004. *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner – Del 2: Broar*, Bryssel: European Committee for Standardization.

Famgus vykort, 2010. *Sandöbron*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.famgus.se/Gudmund/SandoB-Bygget.htm>

[Använd 06 05 2014].

FormworkBlog, 2008. *Concrete Bridge Span Crane Lift at Turner River*. [Online]

Tillgänglig: <http://formworkblog.com/public/815>

[Använd 06 05 2014].

- Fröbel, J., Lagerström, J. & Waldén, G. . R., 2012. *TräGuiden*. [Online]
Tillgänglig: <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=6999>
[Använd 17 04 2014].
- Gabrielsson, H., 2000. *Broars gestaltning*, Borlänge: Enheten för statlig väghållning.
- Gupta, R., 2004. *Economics of steel bridges v/s concrete bridges*, Lucknow: RDSO.
- Hansson, E., 2009. *Rostfritt och hållfast stål kräver mindre underhåll*. [Online]
Tillgänglig: http://www.bygging.se/husbyggaren/artiklar/2009_2_02.pdf.
[Använd 13 02 2014].
- Hariri-Ardebili, M. A. & Mirzabozorg, H., 2011. *Reservoir Fluctuation Effects on Seismic Response of High Concrete Arch Dams Considering Material Nonlinearity*, Tehran : K. N. Toosi University of Technology.
- Horvath, A. & Hendrickson, C., 2012. *Steel versus Steel-reinforced Concrete Bridges: Environmental Assessment*, Pittsburgh: Carnegie Mellon University - Green Design Institute.
- Huang, R.-y. & Chen, P.-f., 2009. *Life Cycle Cost Analysis of Steel and Pre-stressed Concrete Bridges - A Case Study of a New Highway Bridge in Taiwan*, Jhongli City: National Central University .
- Informa, 2014. *Drift och underhåll av broar*. [Online]
Tillgänglig: <http://www.informasweden.se/produkter/konferens/broar>
[Använd 03 02 2014].
- Jernkontoret, 2014. *Energi*. [Online]
Tillgänglig: <http://www.jernkontoret.se/stalindustrin/staltillverkning/energi/index.php>
[Använd 06 03 2014].
- Jernström, G., 2014. *Föreläsning brokonstruktion*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Klimatanpassningsportalen, 2013. *Vind*. [Online]
Tillgänglig: <http://klimatanpassning.se/Hur-forandras-klimatet/vind-information-1.22492>
[Använd 01 03 2014].
- Leppänen, J., 2014. *Nedböjning*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Lindén, S., 2014. *Fri höjd för samverkanskonstruktion* [Intervju] (03 03 2014).
- Lunds Tekniska Högskola, 2014. *Laborationshandledning för kursen i Hållfasthetslära för I, K och F*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Lundström, E., 2005. *Projektering av Träbroar*, Luleå: Luleå tekniska universitet .
- Mageba, 2014. *Mageba Lasto block*. [Online]
Tillgänglig: http://www.mageba.ch/data/docs/en_CH/3131/DATASHEET-LASTO-BLOCK-

[ch-en.pdf](#)

[Använd 12 05 2014].

Martinsons Träbroar AB, 2014. *Bågbroar*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.martinsons.se/bagbroar>

[Använd 24 02 2014].

Martinsons Träbroar AB, 2014. *Montage*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.martinsons.se/broar/montage>

[Använd 24 02 2014].

Martinsons, 2014. *Martinsons*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.martinsons.se/plattbroar>

[Använd 28 02 2014].

MEPS, 2014. *MEPS - WORLD CARBON STEEL PRICE INDEX - WITH INDIVIDUAL PRODUCT FORECASTS*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.meps.co.uk/World%20Price%20Index.htm>

[Använd 12 02 2014].

Merritt, F. S. & Ricketts, J. T., 2000. *Building Design and Construction Handbook, Sixth Edition*. 6:e red. New York: McGRAW-HILL.

Moelven, 2012. *Balkbro i limträ*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.moelven.com/se/Produkter-och-tjanster/Limtra/Trabroar-Moelven/Balkbro/>

[Använd 27 02 2014].

Moelven Töreboda AB, 2014. *Treledsbågar*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.moelven.com/se/Produkter-och-tjanster/Limtra/Teknisk-Information/Konstruktionslosningar/Treledsbagar/>

[Använd 24 02 2014].

Moelven, 2003. *Finansiella rapporter*. [Online]

Tillgänglig: <http://mb.cision.com/Main/2762/9274400/23408.pdf>

[Använd 04 03 2014].

Montagefilm, Gislavedsbron. 2013. [Film] Regi av Moelven Industrier. Norge: Moelven Industrier.

NCC, 2013. *CEEQUAL*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.ncc.se/OM-NCC/Miljo-och-energi/miljoklassning-energiklassning/CEEQUAL/>

[Använd 28 02 2014].

NCC, 2013. *Rostfritt stål skapar nya möjligheter*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.ncc.se/sv/Infrastruktur/Broar-och-tunnlar/NCC-Underhallsfri-bro/>

[Använd 6 02 2014].

- Norberg, L.-A., 2001. *Bra böckers världshistoria*. Band 1 red. Malmö: BraBöcker.
- Olsson, D., 2014. *Miljöcertifieringssystem* [Intervju] (20 03 2014).
- Olsson, P., 2010. *3D FE Analys av korttidsmätningar hos samverkansbro med integrerade brofästen över Leduån*, Luleå: Luleå Universitet.
- Örtendahl, P. A. & Holmström, A., 1994. *BRO 94 - 7. Underhåll*, Borlänge: Vägverket.
- Outerbridge, D., 1989. *Bridges*. 1:a ed. New York: Harry N Abrams.
- Peakoak, 2014. *Air Dried Oak Beams*. [Online]
Tillgänglig: <http://www.peakoak.co.uk/air-dried-oak-beams.html>
[Använd 12 05 2014].
- Plos, M., 2014. *Allmän brokunskap*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Pousette, A., 2008. *Träbroar - Konstruktion och dimensionering*. 1:a red. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut .
- Pousette, A. & Fjellström, P.-A., 2004. *Broinspektion - träbroar*, Borås: SP Sveriges provnings- och forskningsinstitut.
- Ralls, M. L., 2005. *Successes in Bridge Construction*. Georgetown: Federal Highway Administration.
- REIDsteel, 2014. *Composite Bridges*. [Online]
Tillgänglig: <http://www.steel-bridges.com/composite-beam-bridge.htm>
[Använd 06 05 2014].
- Rempling, R., 2014. *Möte med handledare* [Intervju] (14 02 2014).
- Ronnebrant, R. & Glans, L.-Å., 1996. *Broprojektering - En handbok*. Första upplagan red. Borlänge: Enheten för statlig väghållning.
- Ronnebrant, R. & Glans, L.-Å., 1996. *Broprojektering - En handbok*, Borlänge: Vägverket.
- RTA, 2008. *Timber bridge manual*. [Online]
Tillgänglig:
http://www.rms.nsw.gov.au/roadprojects/projects/maintenance/documents/tbm_5.pdf
[Använd 28 02 2014].
- Rutgersson, B., 2008. *BaTMan – Kodförteckning och beskrivning av Brotyper*, Borlänge: Vägverket.
- Ruukki, 2014. *Om Ruukki*. [Online]
Tillgänglig: <http://www.ruukki.se/Om-Ruukki>
[Använd 06 03 2014].
- Segerholm, I., 2013. *Föreläsning byggnadsmaterial*. Göteborg: Chalmers.

Spenneteknikk, 2014. *Spenneteknikk*. [Online]

Tillgänglig: <http://spenneteknikk.no/brosjyrer/TENSA-LASTIC-24022011.pdf>

[Använd 12 05 2014].

SSAB, 2014. *www.ssab.com*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.ssab.com/sv/Investerare--Media/Hallbarhet/Strategi-och-styrning/Drivkrafter-och-utmaningar/>

[Använd 13 02 2014].

Stålförbundet, 2011. *Höghållfast stål i Väg- och vattenapplikationer*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.stalforbund.com/Staldag2011/Outokumpu.pdf>

[Använd 17 02 2014].

Stewall, B., 2000. *Rostskydd av stålkonstruktioner*, Angered: International Färg AB.

Stojić, D., Marković, N. & Stojković, N., 2009. *Wood and Sustainable Development*, Nis: University of Nis.

Svahn, P.-O., 2014. *Föreläsning produktionsmetoder*. Göteborg: Skanska.

Svensk betong, 2013. *Bygga med Prefab - Koldioxidutsläpp*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.svenskbetong.se/miljoe-och-hallbarhet/koldioxidutslaep.html>

[Använd 24 02 2014].

Svenskt limträ, 2014. *Svenskt limträ*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.svensktlimtra.se/sv/limHTML/2U1721.html>

[Använd 12 03 2014].

Svenskt trä, 2014. *Inspektion och underhåll*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.traguiden.se/tgtemplates/popup1spalt.aspx?id=7004>

[Använd 12 05 2014].

Svenskt Trä, 2014. *Träguiden - Balkbroar*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=6995>

[Använd 27 02 2014].

Swedish wood, 2011. Structural systems - infrastructure. i: P. Bergkvist, red. *Design of Timber Structures*. Stockholm: Swedish Wood, pp. 9.1-9.17.

Toll, D., 2001. *Piled foundations*. [Online]

Tillgänglig: <http://environment.uwe.ac.uk/geocal/foundations/piles.htm>

[Använd 12 05 2014].

Trafikverket, 2012. *Trafikverkets verksamhetsplan 2013–2015*, Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket, 2013. *Utbyggnade av väg 40 Ulricehamn till motorväg*, Göteborg: Trafikverket.

Trafikverket, 2014. *Ceequal - hållbarhetsmärkningssystem*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Stockholm/rotebro/Ceequal-->

hallbarhetsklassningssystem/

[Använd 28 02 2014].

Trafikverket, 2014. *Underhåll av broar*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Vag/Drift-och-underhall/Om-drift-och-underhall/Underhall-av-broar/>

[Använd 15 02 2014].

TräGuiden, 2014. *Tillverkning, transport och montering*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7003>

[Använd 06 03 2014].

Transportation Blog, 2012. *FRIDAY PHOTO: SNOOPING UNDER BRIDGES*. [Online]

Tillgänglig: <http://blog.udot.utah.gov/2012/11/friday-photo-snooping-under-bridges/>

[Använd 06 05 2014].

Trygghetsvakten, 2014. *Röta*. [Online]

Tillgänglig: <http://www.trygghetsvakten.se/fuktordboken/pqr/rota>

[Använd 12 05 2014].

Ullman, E., 2003. *Materiallära*. 14:e red. Solna: Liber AB.

UNESCO, 2014. *Ironbridge Gorge*. [Online]

Tillgänglig: <http://whc.unesco.org/en/list/371/>

[Använd 25 02 2014].

Vägverket, 1994. *BRO 94 - 7.Brounderhåll*, Borlänge: Vägverket.

Vägverket, 2002. *VÄGUTFORMNING 94*, Borlänge: Vägverket.

Vägverket, 2004. *Bro 2004 - Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för nybyggande och förbättring av broar*. Borlänge: Vägverket.

Vägverket, 2009. *TK Bro*. 1 red. Borlänge: Vägverket.

Vägverket, 2014. *Verksamhetens krav - Inspektion*. [Online]

Tillgänglig: https://batman.vv.se/batInfo/handbok31/00VK_Inspektion.htm

[Använd 12 05 2014].

Valbona, M., 2014. *Föreläsning Nya material nya brotyper*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Vikberg, T., 2010. *Fuktkvotsmätare för träindustrin - En kartläggning av metoder för mätning av fuktkvoter i intervallet 7-18 fuktkvotsprocent*, Luleå: Luleå tekniska universitet.

Widman, J., 2001. *Stålet och miljön*. 1:a red. Stockholm: Jernkontoret.

Wright, K., 2012. *Steel Bridge Handbook - Selecting the Right Bridge Type*, Springfield: U.S Departement of Transportation Federal Highway Administration .

WSP, 2009. *Väg 1610 Bro över Viskan*, Göteborg: Vägverket.

Zhao, J. J. & Tonias, D. E., 2012. *Bridge Engineering: Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges*. 3:e red. New York: McGraw-Hill Education.

Bilageförteckning

Bilaga 1: Teknisk beskrivning

Bilaga 2: Ritning över Ulricehamnsmotet

Bilaga 3: Kriterier utvärdering 1

Bilaga 4: Utvärderingsverktyg utvärdering 2

Bilaga 5: Beräkningar av höjd, längd, kapacitet och laster

Bilaga 6: Beräkning av maximalt moment, tvärkraft och nedböjning

Bilaga 7: Beräkning maximala och minimala stödkrafter

Bilaga 8: Beräkning upplagskrafter

Bilaga 9: Beräkning av erforderlig upphöjning

Bilaga 1: Teknisk Beskrivning



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

TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVERK

avseende

15-1761-1

BRO ÖVER ALLMÄN VÄG I ULRICEHAMN (ULRICEHAMNSMOTET), KM 14/050

OBJEKTNR 85 43 60 30

CHAOSNR 3K110002

Handlingen upprättad 2012-03-01

Handlingen reviderad:

Innehåll

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA	Objektdata	4
Dokumentdata		4
REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING		5
Dokumentutformning		5
Avsnitt		5
Rubriker enligt Dispositionen		5
Typer av konstruktioner		5
Kravhierarkier		6
Förteckning över okodade underrubriker		6
B. TRAFIK		7
B1. Vägtrafik		7
C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER		8
C1. Befintlig mark och miljö		8
C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden		8
C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden		8
C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden		9
C2. Befintliga konstruktioner		9
C2. Befintliga konstruktioner/ Elledning		9
C2. Befintliga konstruktioner/ Teleledning		9
D. VÄGANLÄGGNING		10
DB. Vägkonstruktion		12
DB2. Underbyggnad/ Vägbro		12
DC. Vägbro		13
DC1. Bärverk i vägbro		13
DC12. Balk		13
DC12. Balk/ Kantbalk		13
DC13c. Upplagsanordningar		14
DC13cb. Lager		14
DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning		14
DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning		14
DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta		14
DC3. Komplettering i vägbro		15
DC31. Beläggning		15
DC31. Beläggning/ Slitlager		15
DC31. Beläggning/ Bindlager		15
DC31. Beläggning/ Kantstöd		15
DC33. Tätskikt, skyddslager		15
DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt		15
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa		15
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb		16
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubbar		16
DC4. Slänt eller kon		16
DC41. Slänt		16
DC42. Kon		16

DE. Avvattningssystem	16
DE2. Dränvattensystem	16
DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro	17
DF. Trafikskyddsanordning	17
DF2. Räcke	17
DF21. Sidoräcke	17
DF21. Sidoräcke/ Broräcke	17
DF25. Räckeskomplettering/ Skyddsnät	18
DK. Elsystem och telesystem	18
DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsrör i betongkonstruktion	18
X. DOKUMENTATION	19
X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering	19
XB. Projekteringshandling	19
XB. Projekteringshandling/ Design basis	19
XC. Arbetshandling	19
XC. Arbetshandling/ Vägbro	19
XD. Relationshandling	20
XD. Relationshandling/ Vägbro	21

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA

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
15-1761-1 Bro över allmän väg

Dokumentslag: 3K110002, Bygghandling

Utgivningsdatum: 2012-03-01

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. Brobaneplatta/ Platsgjuten brobaneplatta" där brobaneplatta är konstruktion och platsgjuten brobaneplatta är typ av sådan konstruktion.

Kravhierarkier

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

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

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

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

Förteckning över okodade underrubriker

Under okodade underrubriker anges krav indelade enligt följande.

De okodade underrubrikerna är:

- Omfattning
- Funktion
- Teknisk lösning
- Kontroll

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

Under "Funktion" hanteras följande:

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

Under "Teknisk lösning" hanteras följande:

- Material
- Vara
- Konstruktion
- Utförande
- Märkning

Under "Kontroll" hanteras följande:

- Provning (inklusive mätning)
- Beräkning
- Besiktning

B. TRAFIK

B1. Vägtrafik

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

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

C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER

Omfattning

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

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

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

Funktion

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

Kontroll

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

C1. Befintlig mark och miljö

Se plan, längd- och tvärsektioner på ritning nummer 3 46 G 1101, 3 46 G 1201 och 3 46 G 1301 – 3 34 G 1307.

C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden

Omfattning

Bron kommer att uppföras ca 50-100 m öster om Ätran i syd-nordlig riktning där terrängen består av åker- och ängsmark. I läget för planerad bro ligger marken ungefär på nivån +172. Strax söder om bron och ca 80 m norr om bron sluttar marknivåer till nivån ca +166 för att stiga upp igen till nivån ca +170 ca 300 m söder och norr om bron.

C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden

Omfattning

Djupet till berg varierar mellan ca 45 m (+127) och 50 m (+122).

Under ett ca 0,3 m tjockt mulljordslager består jordlagren av postglaciala svämsediment med medelhög till hög relativ fasthet till ca 3-5 m djup (+167-169). Svämsediment består mestadels av siltig finsand med ställvisa inslag av torv.

Svämsediment vilar på glaciala finkorniga sediment bestående av växelvisa skikt av siltig lera, silt och finsand ned till ca 15 m djup (+157). Relativa fastheten hos glaciala finkorniga sediment är hög till nivån +169, medelhög till hög till nivån +162, låg till nivån +160 och

medelhög till hög till nivån +157. Därunder förekommer glaciala grovkorniga isälvssediment av sand och grus med mycket hög relativ fasthet till troligen mellan 45 och 50 m djup. Närmast berg finns ett lager med bottenmorän.

Den naturliga vattenkvoten är uppmätt till ca 10-25 % i svämsedimenten (siltig finsand) och ca 20-35% i glaciala finkorniga sediment.

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

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

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

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

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

Teknisk lösning

Schakt för väg kommer att utföras enligt TB/väg.

C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden

Omfattning

En fri vattenyta avlästes i några öppna skruvprovtagningshål i utfyllda jordlager respektive svämsediment (övre grundvattenmagasinet) på mellan ca 1,4–3,5 m under markytan.

Grundvattenrör med filterspets installerades i de fastare friktionsjordslagren (undre grundvattenmagasinet) och visade en grundvattennivå på nivå mellan ca +162,9 och +165,4. Utifrån porttrycksmätare som installerades i de löst lagrade jordlagren avlästes grundvattennivå vid nivå mellan ca +165,3 och +167,9.

C2. Befintliga konstruktioner

C2. Befintliga konstruktioner/ Elledning

Omfattning

Befintliga elledningar i anslutning till område för bro över allmän väg i km 14/050 läggs om öster om bro, se ritning 300W6301. Omläggning utförs enligt handling 10.1, MF väg40.

C2. Befintliga konstruktioner/ Teleledning

Omfattning

Befintliga teleledningar i anslutning till område för bro över allmän väg i km 14/050 om-läggs öster om bro, se ritning 300W6301. Omläggning utförs enligt handling 10.1, MF väg40.

D. VÄGANLÄGGNING

Omfattning

Denna tekniska beskrivning byggnadsverk omfattar 15-1761-1 Bro över allmän väg i Ulricehamn (Ulricehamnsmotet).

Kontroll

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

Funktion

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

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

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

Vid utformning och dimensionering av de delar i väganläggning som omfattas av 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 kravspecifikation som är upprättad och godtagen enligt VV publikation 2009:27 TK Bro, A.1.4 och A.1.9.

Teknisk lösning

Avvikelse från förfrågningsunderlagets profilhöjder får inte ske.

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

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

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

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

Material ska vara:

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

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske i byggskedet enligt av entreprenören upprättat kontrollprogram

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

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

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

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

Teknisk lösning. Märkning

Märkning ska överensstämma med upprättad teknisk dokumentation och däri åberopade produktstandarder.

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

Märkning ska placeras synlig.

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

Märkkulörer ska vara enligt SS 03 14 11.

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

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

Kontroll. Teknisk lösning. Märkning

Kontroll ska ske genom besiktning.

DB. Vägkonstruktion

DB2. Underbyggnad/ Vägbro

Teknisk lösning

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

Fyllning skall ske med försiktighet så att betongkonstruktioner inte skadas.

Aktuell vägöverbyggnad framgår av normalsektionsritning.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske genom besiktning och provning.

DC. Vägbro

Funktion

Funktionskrav utöver VV publikation 2009:27 TK Bro framgår av geometriska krav för fria utrymmen enligt förslagsritning 3 46 K 2001.

Formgivningsvillkor framgår av förslagsritning.

Bron ska ha en dimensionerad teknisk livslängd på 80 år.

Broarbetet påverkas inte av allmän trafik.

Kontroll. Funktion

Grundläggningsarbetena skall kontrolleras i Geoteknisk kategori GK2.

Teknisk lösning

Gjutfog får inte placeras i synliga ytor på vingmurar, sidoskärmar eller ändstöd.

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

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

DC1. Bärverk i vägbro

Teknisk lösning

För kantbalk skall basmåttet vara minst 50 mm. Måttet ska innehållas även vid droppnäsor. För övriga byggnadsverksdelar skall basmåttet vara minst 40 mm.

Minsta differens mellan basmått skall vara 10 mm.

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

DC12. Balk

DC12. Balk/ Kantbalk

Teknisk lösning

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

Kantbalken utformas som förhöjd och med rundning i underkant enligt förslagsritning 3 46 K 2002.

DC13c. Upplagsanordningar

DC13cb. Lager

Teknisk lösning

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

DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning

Funktion

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

Teknisk lösning

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

Schaktnings- och fyllningsarbeten för bottenplattor skall ske i torrhet.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska utföras genom besiktning.

DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning

Omfattning

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

Kalkylförutsättningar för medelpålstoppsnivå +127

Funktion

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

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

Teknisk lösning

Pålning skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CCB.121.

Kontroll. Teknisk lösning

Produktionspålning inleds med provpålning av minst 1 påle/stöd.

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

DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta

Teknisk lösning

Gjutningsarbete för bottenplattor skall förutsättas ske i torrhet.

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

Gjutning godtas utförd mot vattenavvisande papp eller plastfolie.

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

DC3. Komplettering i vägbro

Teknisk lösning

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

Klotterskydd av typ ”offerskydd” ska anbringas på synliga betongytor på ändstöd, mellanstöd och vingar.

Klotterskyddet ska vara utprovat tillsammans med valt ytbehandlingspreparat.

DC31. Beläggning

DC31. Beläggning/ Slitlager

Teknisk lösning

Bron ska försees med beläggning för väg 46 med 25 mm tillfälligt slitlager TSK, permanent slitlager om 40 mm utförs i sidoentreprenad enligt normalsektion 3 34 T 0401.

Bron ska försees med beläggning för GC-väg med 120 mm AGF och 40 mm slitlager enligt normalsektion 3 34 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/ Avvägningsdubb

Teknisk lösning

Bron ska försees med avvägningsdubbar enligt TK Bro.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubbar

Teknisk lösning

Ev mellanstöd ska försees med loddubbar enligt TK Bro.

DC4. Slänt eller kon

Omfattning

Ytskikt ingår ej i broarbetet

DC41. Slänt

Teknisk lösning

Slänter runt bron (dock ej under bron) kläs med släntkappor bestående av 300 mm mineraljord som besås, GR4- och GR5-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 och DDB.112 i Handling 11.1, TB Väg.

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

DC42. Kon

Teknisk lösning

Koner runt bron kläs med släntkappor bestående av 300 mm mineraljord som besås, GR5-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.112 i Handling 11.1, TB väg.

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

DE. Avvattningssystem

DE2. Dränvattensystem

Omfattning

Dränvattensystem avleder dräneringsvatten och omfattar dräneringsledningar och dräneringsbrunnar.

Funktion

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

Kontroll. Funktion

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

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

DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro

Teknisk lösning

Grundavlopp enligt VV ritning 584:6 S-g, rev A och 584:6 S-m 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 försees med kapacitetsutjämnande övergång enligt TK Bro G.9.1.8. Ingår i vägarbetet.

DF21. Sidoräcke/ Broräcke

Teknisk lösning

Broräcken ska utföras enligt TK Bro.

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

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

På broar med kantbalk ska räckesståndare skruvas fast.

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

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

Fotplåtar ska inte undergjas.

Skruvarna försees med grafitfett eller vax.

Räckesskruvar får inte komma i kontakt med kantbalkens armering.

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

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

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

DF25. Räckeskomplettering/ Skyddsnät

Teknisk lösning

Broräcke ska förses med skyddsnät enligt TK Bro och med utbredning enligt förslagsritning 3 46 K 2001.

DK. Elsystem och telesystem

DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsrör i betongkonstruktion

Teknisk lösning

Överbyggnaden förses med ett längsgående SRN PVC $\phi 50$ med placering enligt förslagsritning 3 46 K 2001 och 3 46 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

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
- betongggjutningsjournaler
- eventuella avvikelserapporter
- förteckning över aktuella handlingar
- ifyllda kontrollplaner för tilläggskontroll
- mätprotokoll avseende lagerinställningar, lod- och avvägningsdubbar
- provningsintyg
- pålningsprotokoll och pålplan
- arbetsbeskrivningar upprättade av entreprenören
- verifikat och certifikat enligt SS-EN standard alternativt YE i handling 11.1, TB Väg.

På originalexemplaret 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 $v_{ct_{ekv}}$
- typ av och beteckning på lager inklusive antal per stöd
- uppmätta värden vid inmätning av lod- och avvägningsdubbar
- vid grundläggning på berg, höjder för bottenplattas underkant.

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

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

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

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

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

Mätprotokollen avseende inmätning av lod- och avvägningsdubbar 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 tunnlar, BatMan.

Bilaga 2: Ritning över Ulricehamnsmotet

Bilaga 3: Kriterier utvärdering 1

	Spann 38m	Spann 19m	Konstruktionshöjd 0,955;1,455	Geoteknisk grundläggning	Totalt:
Balkbro i trä	v	v	x	v	x
Balkbro i betong	v	v	v	v	v
Balkbro i stål	v	v	v	v	v
Bågbro i trä	v	v	v	v	v
Bågbro i betong	v	v	v	v	v
Bågbro i stål	v	v	v	v	v
Snedkabelbro i trä	v	v	v	x	x
Snedkabelbro i betong	v	v	v	x	x
Snedkabelbro i stål	v	v	v	x	x
Hängbro i trä	v	v	v	x	x
Hängbro i betong	v	v	v	x	x
Hängbro i stål	v	v	v	x	x
Plattbro i betong	x	v	v	v	v (19m)
Plattbro i trä	x	v	v	v	v (19m)

Bilaga 4: Utvärderingsverktyg utvärdering 2

Utvärderingsverktyg viktningsskriterier

Förklaring av begrepp:

Enkelviktning: De olika brotyperna viktas med samma värde på alla huvudrubriker, som t.ex. Estetik och Konstruktionskostnad.

Dubbelviktning: De olika brotyperna viktas tillsammans med värdet som alla huvudrubriker blivit tilldelade genom en inbördes viktning.

Estetik

Poäng: [1-3]

Trä	3
Stål	3
Betong	1

Brotyp ger poäng x2: Poäng: [2-6]

Bågbro	6
Balkbro	4
Plattbro	2

Summa broförslag:

Summa:

Enkelviktning:

Dubbelviktning:

Balkbro i betong	5	1,67	3
Balkbro i stål	7	2,33	4,2
Bågbro i trä	9	3,00	5,4
Bågbro i betong	7	2,33	4,2
Bågbro i stål	9	3,00	5,4
Plattbro i betong	3	1,00	1,8
Plattbro i trä	5	1,67	3

Konstruktionskostnad

Poäng: [1-3]

Trä	3
Stål	1
Betong	2

Poäng: [1-3]

Bågbro	1
Balkbro	2
Plattbro	2

Summa broförslag:	Summa:	Enkelviktning:	Dubbelviktning:
Balkbro i betong	4	2	2,4
Balkbro i stål	3	1,5	1,8
Bågbro i trä	4	2	2,4
Bågbro i betong	3	1,5	1,8
Bågbro i stål	2	1	1,2
Plattbro i betong	4	2	2,4
Plattbro i trä	5	2,5	3

Underhåll

	Poäng: [1-3]
Trä	1
Stål	3
Betong	2

	Poäng: [1-3]
Bågbro	1
Balkbro	2
Plattbro	3

Summa broförslag:	Summa:	Enkelviktning:	Dubbelviktning:
Balkbro i betong	4	2	2,8
Balkbro i stål	5	2,5	3,5
Bågbro i trä	2	1	1,4
Bågbro i betong	3	1,5	2,1
Bågbro i stål	4	2	2,8
Plattbro i betong	5	2,5	3,5
Plattbro i trä	4	2	2,8

Tid

Materialtyp ger poäng x2:	Poäng: [2-6]
Trä	6
Stål	4
Betong	2

	Poäng: [1-3]
Bågbro	1
Balkbro	3
Plattbro	2

Summa broförslag:	Summa:	Enkelviktning:	Dubbelviktning:
Balkbro i betong		5	1,67
Balkbro i stål		7	2,33
Bågbro i trä		7	2,33
Bågbro i betong		3	1,00
Bågbro i stål		5	1,67
Plattbro i betong		4	1,33
Plattbro i trä		8	2,67

Miljö

Materialtyp ger poäng x2:

	Poäng: [2-6]
Trä	6
Stål	2
Betong	2

	Poäng: [1-3]
Bågbro	1
Balkbro	2
Plattbro	1

Summa broförslag:	Summa:	Enkelviktning:	Dubbelviktning:
Balkbro i betong		4	1,33
Balkbro i stål		4	1,33
Bågbro i trä		7	2,33
Bågbro i betong		3	1,00
Bågbro i stål		3	1,00
Plattbro i betong		3	1,00
Plattbro i trä		7	2,33

Säkerhet

	Poäng: [1-3]
Trä	3
Stål	2
Betong	1

	Poäng: [1-3]
Bågbro	1
Balkbro	2
Plattbro	2

Summa broförslag:	Summa:	Enkelviktning:	Dubbelviktning:
Balkbro i betong	3	1,5	2,4
Balkbro i stål	4	2	3,2
Bågbro i trä	4	2	3,2
Bågbro i betong	2	1	1,6
Bågbro i stål	3	1,5	2,4
Plattbro i betong	3	1,5	2,4
Plattbro i trä	5	2,5	4

Total summa:

	Enkelviktning:	Dubbelviktning:
Balkbro i betong	10,17	14,93
Balkbro i stål	12,00	17,70
Bågbro i trä	12,67	19,40
Bågbro i betong	8,33	12,70
Bågbro i stål	10,17	15,47
Plattbro i betong	9,33	13,43
Plattbro i trä	13,67	20,13

Viktningsmatris

	1	2	3	4	5	6	Total poäng: Viktningspoäng:	
1 - Estetik	x	1	1	1	0	1	4	1,8
2 - Konstruktionskostnad	0	x	0	1	0	0	1	1,2
3 - Underhåll	0	1	x	1	0	0	2	1,4
4 - Tid	0	0	0	x	0	0	0	1
5 - Miljö	1	1	1	1	x	1	5	2
6 - Säkerhet	0	1	1	1	0	x	3	1,6

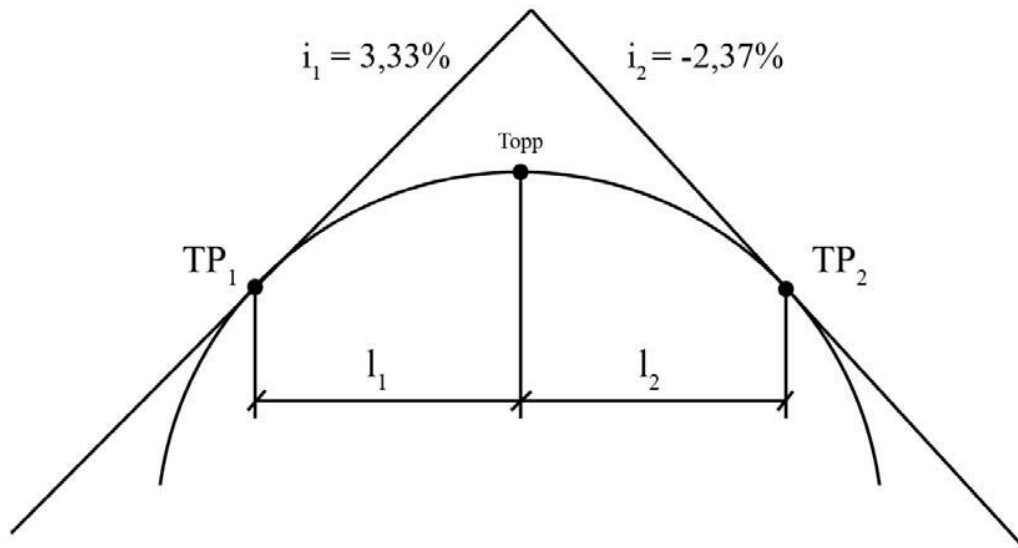
Bilaga 5: Beräkningar av höjd, längd, kapacitet och laster

Innehållsförteckning Bilaga 5

1. Konstruktionshöjd.....	1
2. Brolängd.....	6
3. Indata för kapacitetsberäkningar.....	16
4. Materialparametrar.....	18
5. Hållfasthetsvärden för limträ och ståltag.....	19
6. Effektiv belastningsyta.....	21
7. Hållfasthet platta.....	23
8. Moment och tvärkraftskapacitet.....	24
9. Gränsvärden nedböjning.....	26
10. Erforderlig förspänning.....	27
11. Laster.....	33
12. Stämpeltryckseffekt.....	39

1. Konstruktionshöjd

Profil väg 46



Figur 1 - Vertikalkurva väg 46

Följande värden kommer från bilaga 2

Vertikalradien på väg 46: $R := 1800\text{m}$

x-värdet för första tangentpunkten: $x_{TP1} := 499.015\text{m}$ x-

värdet för andra tangentpunkten: $x_{TP2} := 601.547\text{m}$ z-

värdet för första tangentpunkten: $z_{TP1} := 179.410\text{m}$ z-

värdet för andra tangentpunkten: $z_{TP2} := 179.899\text{m}$

Lutning på väg innan radie: $i_1 := 3.33\%$

Lutning på väg efter radie: $i_2 := -2.37\%$

Beräkning av plushöjd på toppen av radien

Längden l_1 : $l_1 := R \cdot |i_1| = 59.94 \text{ m}$

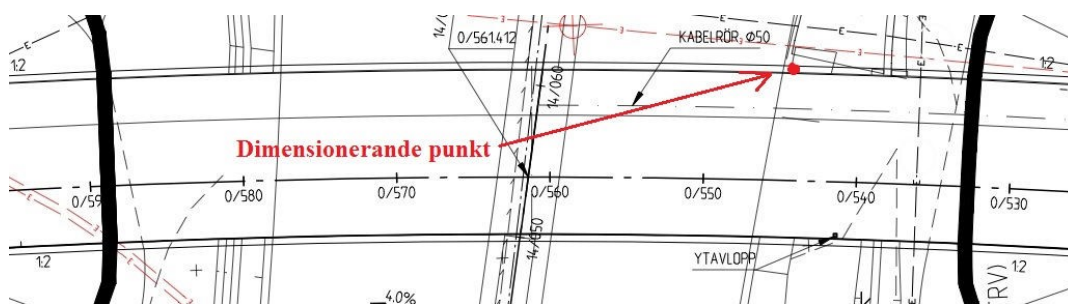
Längden l_2 : $l_2 := R \cdot |i_2| = 42.66 \text{ m}$

Toppens placering i x-led: $x_{\text{Topp}} := x_{\text{TP1}} + l_1 = 558.955 \text{ m}$

Följande formel kommer från kurskompendiet "Väg- och gatuutformning":

Toppens plushöjd: $z_{\text{Topp}} := z_{\text{TP1}} + \frac{l_1^2}{2 \cdot R} = 180.408 \text{ m}$

Då ett tvärfall på 4% finns på väg 40 kommer dimensionerande punkt för konstruktionshöjd vara i sektion 0/544,4 (för väg 46). Se figur 2.



Figur 2 - Förtydligande av dimensionerande punkt för konstruktionshöjd

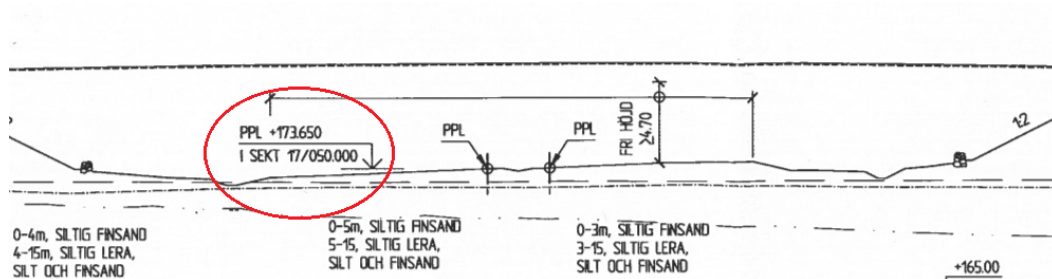
x-värde i sektion 0/544,4: $x_{544.4} := 544.4 \text{ m}$

Uträkning av plushöjd i sektion 0/544,4:

$$z_{544.4} := z_{\text{Topp}} - \frac{(x_{\text{Topp}} - x_{544.4})^2}{2 \cdot R} = 180.349 \text{ m}$$

Tvärnsnitt väg 40

Eftersom det PPL-mått som är utsatt på ritningen i sektion 17/050 egentligen befinner sig 3 km åt Jönköping antas denna plushöjd istället finnas i sektion 14/061. På grund av tryckfelet i ritningen (se figur 3), har detta antagande gjorts.



Figur 3 - Förtydligande av tryckfel

Plushöjd i punkten PPL: $z_{PPL} := 173.650\text{m}$

x_{dim} är sträckan från den högra "PPL-punkten" (på väg 40) ut till den punkt (sektion 0/544,4 på väg 46) där den dimensionerande konstruktionshöjden kommer att bli.

Dimensionerande sträcka: $x_{dim} := 13.6\text{m}$

Tvärfallet på väg 40: $i_{tvärfall40} := 4\%$

Uträkning av plushöjd på väg 40 i dimensionerande punkt:

$$z_{dim} := z_{PPL} + x_{dim} \cdot i_{tvärfall40} = 174.194\text{m}$$

Fri höjd mellan väg 40 och bronns underkant:

$$z_{fri} := z_{544.4} - z_{dim} = 6.155\text{m}$$

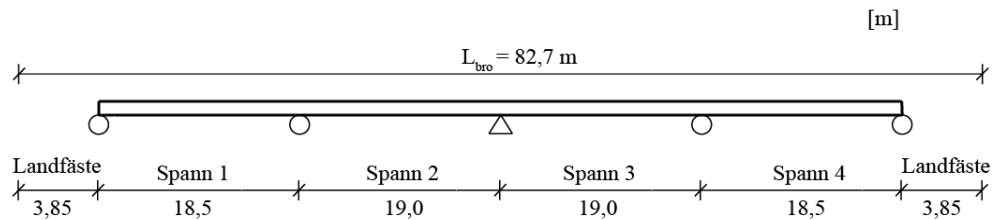
Då en plattbro i trä klassas som lätt överbyggnad ställs kravet på fri höjd mellan väg 40 och underkant bro till 5,2 m.

Krav på fri höjd:

$$z_{\text{lätt}} := 5.2\text{m}$$

Maximal konstruktionshöjd:

$$KH_{\text{max}} := z_{\text{fri}} - z_{\text{lätt}} = 0.955\text{m}$$



Figur 4 - Antagen spanni ndelning

Om maximal konstruktionshöjd används finns inget utrymme för nedböjning. Maximal tillåten nedböjning är $L/400$ där L är längden av det aktuella spannet. Dimensionerande punkt för konstruktionshöjd ligger i spann 3 som har längden 19 m.

Längd av spann nr. 3:

$$L_{\text{spann3}} := 19\text{m}$$

Maximal nedböjning i spann nr. 3:

$$\text{Maxnedböj}_{\text{spann3}} := \frac{L_{\text{spann3}}}{400} = 0.048\text{m}$$

Vid beräkning av nedböjning kommer endast träplattans höjd att räknas med, alltså inte höjden som slitlager och ett kombinerat skydds- och bindlager bygger.

Tjocklek slitlager:

$$h_{\text{slitlager}} := 0.04\text{m}$$

Tjocklek skydds- och bindlagret:

$$h_{\text{PGJA}} := 0.05\text{m}$$

Tjocklek brobeläggning:

$$h_{\text{bel}} := h_{\text{slitlager}} + h_{\text{PGJA}} = 0.09\text{m}$$

Dimensionerande punkt för fri höjd hamnar inte mitt i spannet där maximal nedböjning uppkommer, men ett avdrag på konstruktionshöjden av maximal nedböjning kommer ändå att antas.

Dimensionerande höjd träplatta:

$$h_{\text{träplattadim}} := KH_{\text{max}} - \text{Maxnedböj}_{\text{spann3}} - h_{\text{bel}} = 0.818\text{m}$$

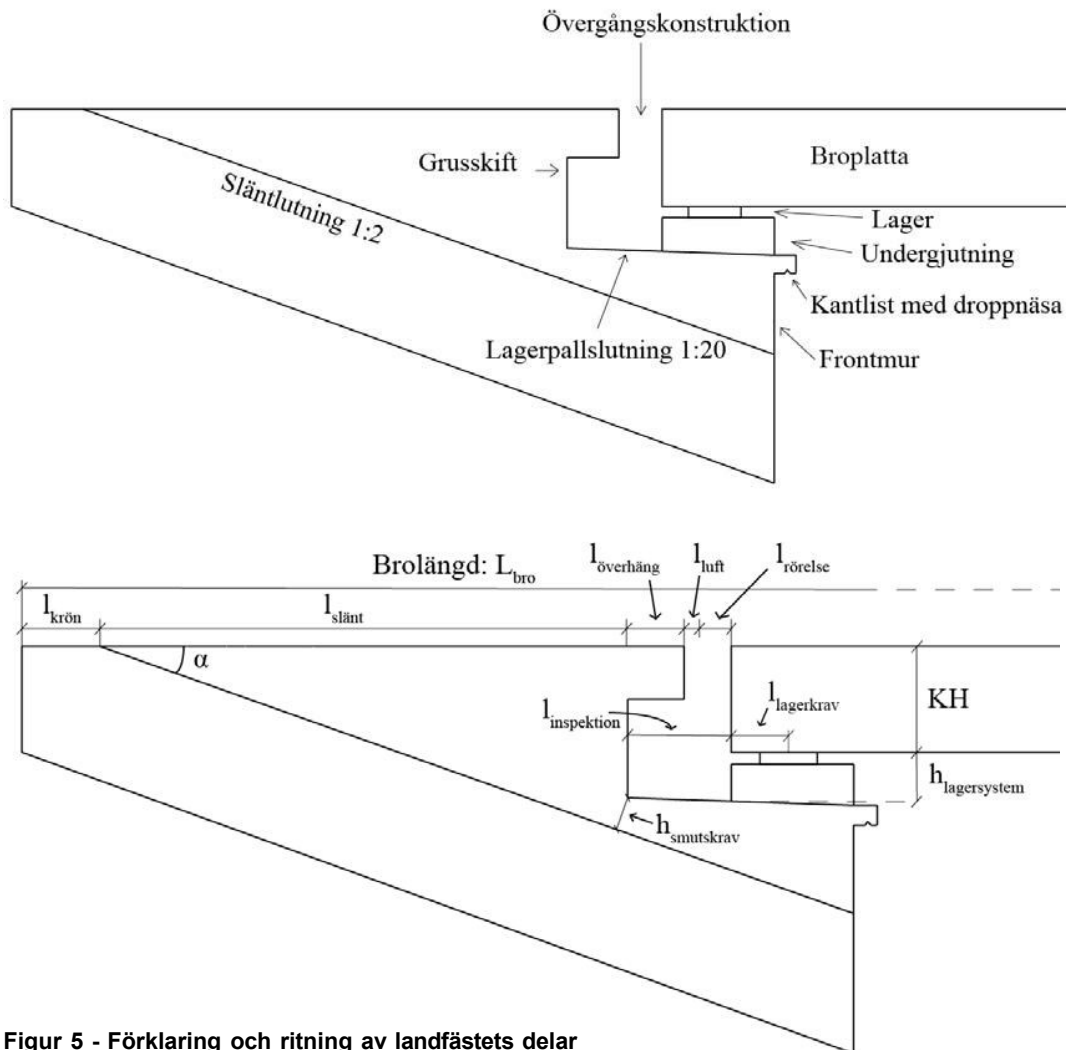
Eftersom limträbalkarna är uppbyggda av brädor med standardiserade mått som har en höjd av 45 mm så används ett jämt antal brädor för att skapa en limträbalk.

Antal brädor i en limträbalk: $n := 18$

Den sökta höjden av träplattan: $h_{\text{träplatta}} := n \cdot 0.045\text{m} = 0.81\text{m}$

Limträbalken är uppbyggd av 18 brädor och får en höjd av 810 mm.

2. Brolängd



Figur 5 - Förklaring och ritning av landfästets delar

Total brolängd: $L_{bro} := 82.7\text{m}$

Konstruktionshöjd: $KH := h_{träplatta} + h_{bel} = 0.9\text{m}$

Krönlängd (minstamått): $l_{krön} := 0.5\text{m}$ TRVK Bro 11 D.1.2.4.2

Längden på överhäng:

$$l_{\text{övershäng}} := 0.25\text{m}$$

Handledning 8/4-14
Magnus Bäckström
COWI

Fri spalt mellan broplatta och grusskift vid plattans fullt utvidgade läge:

$$l_{\text{luff}} := 0.2\text{m}$$

Minstakrav som ställs på avståndet mellan lagrets centrum och broände:

$$l_{\text{lagerkrav}} := 0.2\text{m}$$

TRVK Bro 11 G.6.2.2

Temperatur och fuktrörelser i bron

Beräkningen av broplattans längd på grund av temperatur- och fuktutvidgning är iterativ.
Antagna startvärden enligt figur 4.

Antagen total spännvidd:

$$L_{\text{totspannantaget}} := 75\text{m}$$

$$L_{\text{broplattaantaget}} := L_{\text{totspannantaget}} + 2 \cdot l_{\text{lagerkrav}} = 75.4\text{m}$$

Temperaturrörelser

Maximal temperatur (34°C):

$$T_{\text{max}} := 307\text{K}$$

Eurokodhandbok
allmänna grunder och
laster EKS6 - Bilaga 5

Minimal temperatur (-30°C):

$$T_{\text{min}} := 243\text{K}$$

Temperaturskillnad:

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

- 6 1

Temperaturutvidgningskoefficient:

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

Längdutvidgning med avseende på temperatur:

$$\Delta L_{\text{temp}} := \alpha_{\text{trä}} \cdot \Delta T \cdot L_{\text{broplattaantaget}} = 0.024\text{m}$$

Fuktrörelser

Fuktvariationen i limträet är 8-10%, värsta fallet väljs. Träets förlängning är 0,01% per fuktprocent och ger en utvidgning på 0,1%. (www.svensktlimtra.se)

Längdutvidgning med avseende på fukt:

$$\Delta L_{\text{fukt}} := L_{\text{broplattaantaget}} \cdot 1.001 - L_{\text{broplattaantaget}} = 0.075 \text{ m}$$

Placering av fast lager i stöd C ger lika stor rörelse vid båda landfästena.

Rörelsen vid varje landfäste:

$$l_{\text{rörelse}} := \frac{(\Delta L_{\text{temp}} + \Delta L_{\text{fukt}})}{2} = 0.05 \text{ m}$$

Utformning av landfäste

$$l_{\text{inspektion}} := l_{\text{övershång}} + l_{\text{rörelse}} + l_{\text{luff}} = 0.5 \text{ m} \quad \text{TRVK Bro 11 B.1.7.3}$$

Enligt TRVK Bro 11 B.1.7.3 krävs ett avstånd på 0,5 m för att kunna inspektera broändan och lagret. l_{luff} sätts till 0,2 m.

Höjdkrav för att inte jord och grus ska fastna uppe på lagerpallen:

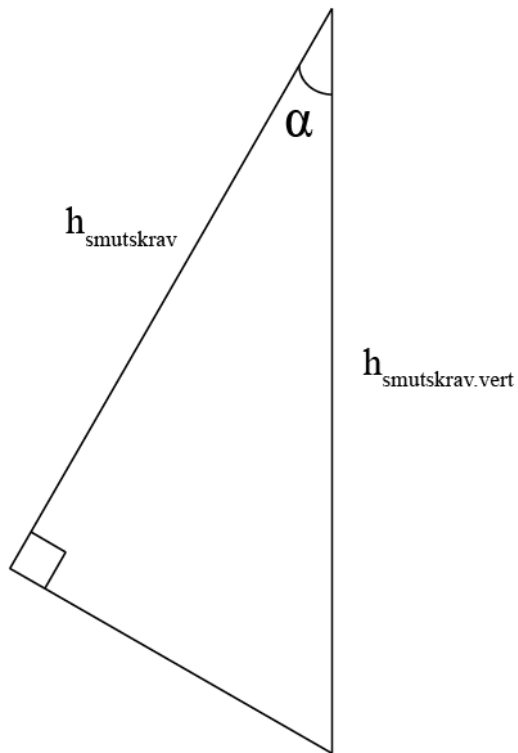
$$h_{\text{smutskrav}} := 0.3 \text{ m}$$

Handledning 8/4-14
Magnus Bäckström
COWI

$$:= \frac{(1)}{(2)} = 0.464$$

Släntvinkel i radianer (se figur 5):

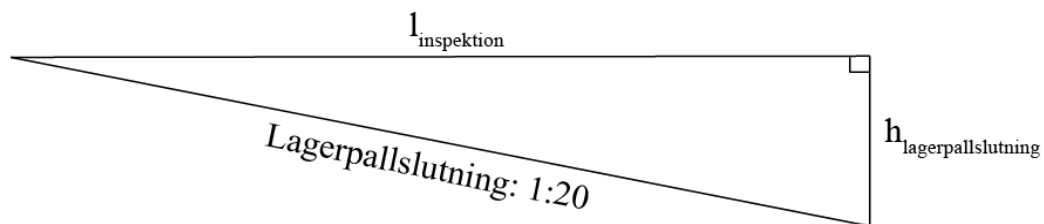
$$\alpha = \text{atan} \left(\frac{(1)}{(2)} \right)$$



Figur 6 - Vertikal höjd av $h_{\text{smutskrav}}$

Vertikal höjd utifrån figur 6:

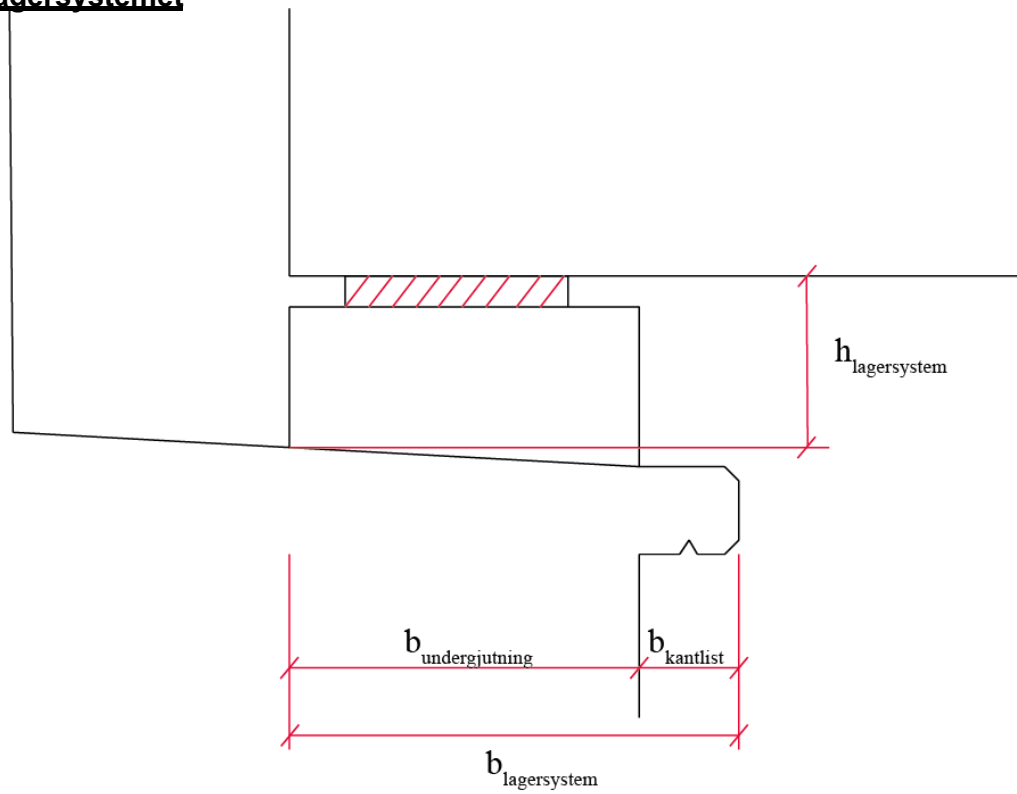
$$h_{\text{smutskrav.vert}} := \frac{h_{\text{smutskrav}}}{\cos(\alpha)} = 0.335 \text{ m}$$



Figur 7 - Höjd på grund av lagerpallslutning

$$h_{\text{lagerpallslutning}} := \frac{l_{\text{inspektion}}}{20} = 0.025 \text{ m}$$

Lagersystemet



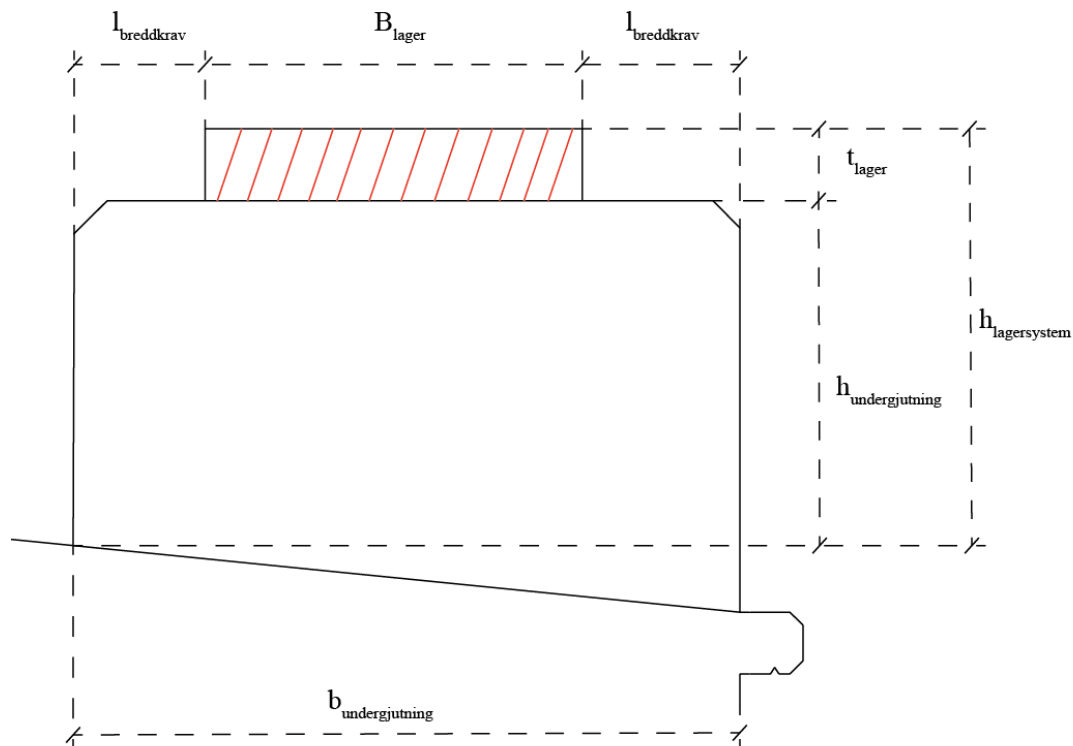
Figur 8 - Lagersystemet och dess ingående delar

Krav för $b_{\text{lagersystem}}$ och $h_{\text{lagersystem}}$:

TRVR Bro 11 B.1.7.2

Om $b_{\text{lagersystem}} \leq 600 \text{ mm}$ väljs $h_{\text{lagersystem}} \geq 300 \text{ mm}$

Om $b_{\text{lagersystem}} > 600 \text{ mm}$ väljs $h_{\text{lagersystem}} \geq 500 \text{ mm}$



Figur 9 - Detaljritning av lagersystemet

Lagerdimensioner

Maximal och minimal reaktionskraft fås från bilaga 8.

Endast reaktionskrafter och förskjutningar beaktas vid val av lager, ej rotationer.

Maximal reaktionskraft: $N_d := 2174.7 \text{ kN}$

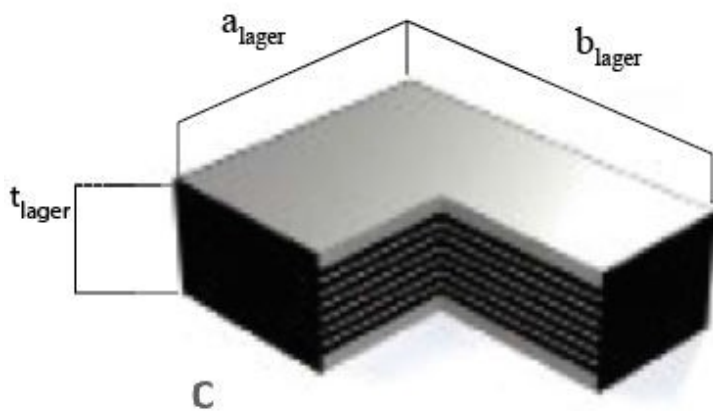
Minimal reaktionskraft: $N_{dmin} := 213.8 \text{ kN}$

Förskjutning av lagret: $v_{xy.max} := l_{rörelse} = 0.05 \text{ m}$

Förskjutning i "Condition 1": $v_{xyd.1} := 20\% \cdot v_{xy.max} = 9.953 \times 10^{-3} \text{ m}$

Förskjutning i "Condition 2": $v_{xyd.2} := 50\% \cdot v_{xy.max} = 0.025 \text{ m}$

Förskjutning i "Condition 3": $v_{xyd.3} := 100\% \cdot v_{xy.max} = 0.05 \text{ m}$



Figur 10 - Lagertyp C och dess dimensionsindex, från Magebas produktblad (www.mageba.ch)

Lagerdimensioner "Condition 1":
 $a_{\text{lager.1}} := 0.25\text{m}$
 $b_{\text{lager.1}} := 0.4\text{m}$
 $t_{\text{lager.1}} := 0.104\text{m}$

Lagerdimensioner "Condition 2":
 $a_{\text{lager.2}} := 0.3\text{m}$
 $b_{\text{lager.2}} := 0.5\text{m}$
 $t_{\text{lager.2}} := 0.112\text{m}$

Lagerdimensioner "Condition 3":
 $a_{\text{lager.3}} := 0.3\text{m}$
 $b_{\text{lager.3}} := 0.5\text{m}$
 $t_{\text{lager.3}} := 0.112\text{m}$

Condition 1 ger det minsta lagret och det är dessa dimensioner som kommer att användas.

Slutgiltiga dimensioner på lagret

Lagrets bredd: $a_{\text{lager}} := 0.25\text{m}$

Lagrets längd: $b_{\text{lager}} := 0.4\text{m}$

Lagrets tjocklek: $t_{\text{lager}} := 0.104\text{m}$

Undergjutningens dimensioner

Rekommendation från Mageba:

$l_{\text{breddkrav}} := 0.04\text{m}$

Kravet $l_{\text{lagerkrav}}$ = minst 0,2 m behöver kontrolleras:

$$l_{\text{lagerkrav}} := l_{\text{breddkrav}} + \frac{b_{\text{lager}}}{2} = 0.24\text{m}$$

Kontroll $l_{\text{lagerkrav}}$: OK

Undergjutningens totala bredd:

$$b_{\text{undergjutning}} := 2 \cdot l_{\text{breddkrav}} + b_{\text{lager}} = 0.48\text{m}$$

$$b_{\text{kantlist}} := 0.1\text{m}$$

TRVK Bro 11 B.1.10.1.3

Lagersystemets bredd:

$$b_{\text{lagersystem}} := b_{\text{undergjutning}} + b_{\text{kantlist}} = 0.58\text{m}$$

Krav då $b_{\text{lagersystem}} < 600\text{ mm}$ ger:

$$h_{\text{lagersystem}} := 0.3\text{m}$$

Undergjutningens höjd:

$$h_{\text{undergjutning}} := h_{\text{lagersystem}} - t_{\text{lager}} = 0.196\text{m}$$

Uträkning av landfästets längd samt total spännvidd

Grusskiftets höjd:

$$h_{\text{grusskift}} := KH + h_{\text{lagersystem}} - h_{\text{lagerpallslutning}} = 1.175 \text{ m}$$

Horisontala längden av slänten med lutning 1:2:

$$l_{\text{slänt}} := 2 \cdot (h_{\text{grusskift}} + h_{\text{smutskrav.vert}}) = 3.021 \text{ m}$$

Längd landfäste:

$$L_{\text{landfäste}} := l_{\text{krön}} + l_{\text{slänt}} + l_{\text{inspektion}} + l_{\text{breddkrav}} + \frac{b_{\text{lager}}}{2} = 4.261 \text{ m}$$

Brons totala spännvidd:

$$L_{\text{totspännvidd}} := L_{\text{bro}} - 2 \cdot L_{\text{landfäste}} = 74.179 \text{ m}$$

Längd broplatta:

$$L_{\text{broplatta}} := L_{\text{totspännvidd}} + 2 \cdot l_{\text{lagerkrav}} = 74.659 \text{ m}$$

Tidigare antagande felaktigt, temperatur- och fuktutvidgning görs om med $L_{\text{broplatta}}$.

Temperatur och fuktrörelser i bron

Temperaturrörelser:

$$\Delta L_{\text{tempny}} := \alpha_{\text{trä}} \cdot \Delta T \cdot L_{\text{broplatta}} = 0.024 \text{ m}$$

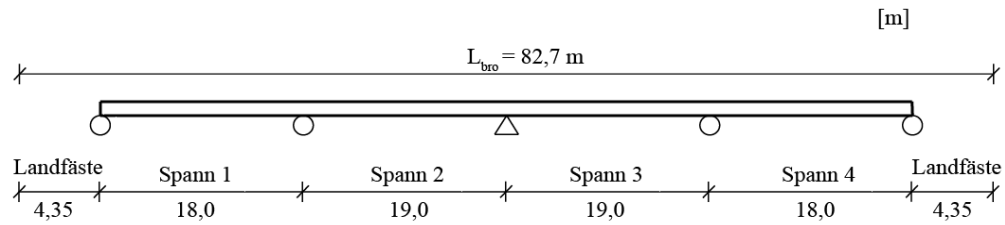
Fuktrörelser:

$$\Delta L_{\text{fuktny}} := L_{\text{broplatta}} \cdot 1.001 - L_{\text{broplatta}} = 0.075 \text{ m}$$

Ingen förändring skedde på varken temperatur- eller fuktrörelsen vilket innebär att de senast uträknade brolängderna och spännvidderna gäller.

Fastställda spännvidder och längd av landfäste

Landfästets beräknade längd är ett minstakrav. För slutgiltiga spann­längder enligt figur 11 har landfästets längd därför ö­kats.



Figur 11 - Slutgiltiga längder på spann och landfästen

3. Indata för kapacitetsberäkningar

Broprofil

Total brolängd:	$L_{bro} := 82.7\text{m}$
Total spännvidd:	$L_{totspann} := 74\text{m}$
Plattans längd:	$L_{platta} := L_{totspann} + 2l_{lagerkrav} = 74.48\text{m}$
Vägbredd:	$b_{platta} := 11.62\text{m}$
Antal spann:	$n := 4$
Längd spann 1:	$L_{spann1} := 18\text{m}$
Längd spann 2:	$L_{spann2} := 19\text{m}$
Längd spann 3:	$L_{spann3} := 19\text{m}$
Längd spann 4:	$L_{spann4} := 18\text{m}$
Konstruktionshöjd:	$KH = 0.9\text{m}$

Limträbalkar

Längd lamell:	$L_{lam} := 12\text{m}$
Höjd lamell:	$h_{lam} := 810\text{mm}$
Bredd lamell:	$b_{lam} := 140\text{mm}$

Brobeläggning

Tjocklek brobeläggning:	$h_{bel} := 0.09\text{m}$
Bredd brobeläggning:	$b_{bel} := 10.8\text{m}$

Tjocklek slitlager: $h_{\text{slitlager}} := 0.04\text{m}$

Tjocklek skydds och bindlager: $h_{\text{PGJA}} := 0.05\text{m}$

Lager

Lagerbredd: $a_{\text{lager}} := 0.25\text{m}$

Lagerlängd: $b_{\text{lager}} := 0.4\text{m}$

Area Lager: $A_{\text{lager}} := a_{\text{lager}} \cdot b_{\text{lager}} = 0.1\text{m}^2$

Stålstag

Diameter: $d_{\text{stag}} := 20\text{mm}$

Area: $A_{\text{stag}} := \pi \cdot \frac{d_{\text{stag}}^2}{4} = 314.159 \cdot \text{mm}^2$

4. Materialparametrar

Limträ

Densitet GL36c: $\rho_{\text{limträ}} := (430 + 30) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

430 kg/m³ för limträ GL36c +30 kg/m³ för tvärspanningen

Tunghet GL36c: $\gamma_{\text{limträ}} := \rho_{\text{limträ}} \cdot g = 4.511 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}$

Partialkoefficienten för limträ: $\gamma_{M,gl} := 1.25$ Eurokod SS-EN 1995-1-1
Tabell 2.3

Slitlager

Densitet slitlager: $\rho_{\text{slitlager}} := 2345 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

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

Skydds och bindlager

Densitet PGJA: $\rho_{\text{PGJA}} := 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ Föreläsning 25/3-14
Sören Lindgren
Chalmers

Tunghet PGJA: $\gamma_{\text{PGJA}} := \rho_{\text{PGJA}} \cdot g = 2.354 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}$

Räcke

Last av räcke: $G_{\text{räcke}} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

5. Hållfasthetsvärden för limträ och stålstag

Limträ GL36c

Böjning:	$f_{mk.gl} := 36 \cdot \text{MPa}$
Drag parallellt fibrerna:	$f_{t0k.gl} := 22.5 \cdot \text{MPa}$
Tryck parallellt fibrerna:	$f_{c0k.gl} := 29 \cdot \text{MPa}$
Tryck vinkelrätt fibrerna:	$f_{c90k.gl} := 3.3 \cdot \text{MPa}$
Skjuvning:	$f_{vk.gl} := 3.8 \text{MPa}$

Dimensionerande hållfastheter

k_{mod} är beroende av lastvarighet och klimatklass. Kort last och klimatklass 2 ger:

$$k_{mod} := 0.9 \quad \text{Eurokod SS-EN 1995-1-1 Tabell 3.1}$$

Limträbalkar utsatta för drag eller böjning får hållfastheten ökas med faktorn k_h , där h är tvärsnittets höjd, om $h < 600 \text{mm}$

$$k_h := \min \left[\left(\frac{600 \text{mm}}{h_{lam}} \right)^{0.1}, 1.1 \right] = 0.97 \quad \text{Eurokod SS-EN 1995-1-1 Kap 3.3}$$

Böjning:	$f_{md.gl} := k_{mod} \cdot k_h \cdot \frac{f_{mk.gl}}{\gamma_{M.gl}} = 25.154 \cdot \text{MPa}$ $f_{t0d.gl} := k_{mod} \cdot k_h \cdot \frac{f_{t0k.gl}}{\gamma_{M.gl}} = 15.721 \cdot \text{MPa}$
Drag parallellt fibrerna:	$f_{t0d.gl} := k_{mod} \cdot k_h \cdot \frac{f_{t0k.gl}}{\gamma_{M.gl}}$ $f_{c0d.gl} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k.gl}}{\gamma_{M.gl}} = 20.88 \cdot \text{MPa}$
Tryck parallellt fibrerna:	$f_{c0d.gl} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k.gl}}{\gamma_{M.gl}}$
Tryck vinkelrätt fibrerna:	$f_{c90d.gl} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k.gl}}{\gamma_{M.gl}} = 2.376 \cdot \text{MPa}$

Skjuvning:

$$f_{vd.gl} := k_{mod} \cdot \frac{f_{vk.gl}}{\gamma} = 2.736 \cdot \text{MPa}$$

Elasticitetsmoduler

$$E_{0.05.gl} := 11900 \cdot \text{MPa}$$

$$E_{mean.gl} := 14700 \cdot \text{MPa}$$

Stålstag

Stålstag av typen
Dywidag GWS

Från hemsidan:
<http://www.dywidag-systems.com/>

Brottgränstillstånd:

$$f_{uk.stag} := 1098 \text{MPa}$$

6. Effektiv belastningsyta

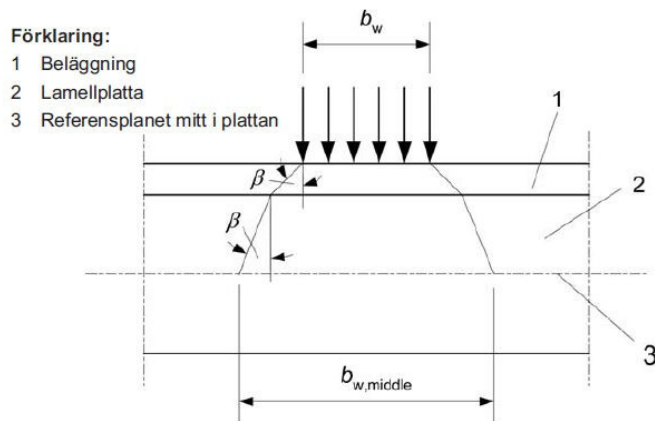
Effektiv bredd, b_{ef} :

$$b_{ef} = b_{w,middle} + a$$

Eurokod SS-EN 1995-2
Kap 5.1.3

$$a := 0.3\text{m}$$

Eurokod SS-EN 1995-2
Tabell 5.3



Figur 12 - Lastspridning över belastad kontaktyta
(Eurokod SS-EN 1995-2 Figur 5.1)

Spridningsvinkel beläggning: $\beta_1 := 45^\circ$

Spridningsvinkel vinkelrät
fiberriktning: $\beta_2 := 15^\circ$

Den belastade delen av brobeläggningens kontaktyta b_w fås från Eurokod SS-EN 1991-2
Kap 4.6.4

Belastad kontaktyta: $b_w := 0.4\text{m}$

Bredden mitt i bärande lameller, $b_{w,middle}$, enligt Eurokod SS-EN 1995-2 Kap 5.1.2

$$b_{w,middle} := b_w + 2 \cdot \tan(\beta_1) \cdot h_{bel} + 2 \cdot \tan(\beta_2) \cdot \frac{h_{lam}}{2} = 0.797\text{m}$$

Uträkning av effektiva bredden:

$$b_{ef} := b_{w.middle} + a = 1.097\text{ m}$$

7. Hållfasthet platta

Antal belastade lameller:

$$n_{\text{ww}} := \frac{b_{\text{ef}}}{b_{\text{lam}}} = 7.836$$

Systemfaktorn k_{sys} fås från Eurokod SS-EN 1995-1-1 Figur 6.12

$$k_{\text{sys}} := 1.0 + \left(\frac{n}{8} \right) \cdot 0.2 = 1.196$$

Formel från figur 6.12
Eurokod SS-EN 1995-2

Dimensionerande böj- och skjuvhållfasthet i brobaneplattan beräknas enligt Eurokod SS-EN 1995-2 Kap 6

Böjning:

$$f_{\text{md.deck}} := k_{\text{sys}} \cdot f_{\text{md.gl}} = 30.081 \cdot \text{MPa}$$

Skjuvning:

$$f_{\text{vd.deck}} := k_{\text{sys}} \cdot f_{\text{vd.gl}} = 3.272 \cdot \text{MPa}$$

8. Moment- och tvärkraftskapacitet

Momentkapacitet

Tröghetsmoment:
$$I_{\text{deck}} := \frac{(b_{\text{ef}} \cdot h_{\text{lam}})^3}{12} = 0.049 \text{ m}^4$$

Avstånd till tyngdpunkt:
$$z := \frac{h_{\text{lam}}}{2} = 0.405 \text{ m}$$

Böjmotstånd:
$$W_{\text{deck}} := \frac{I_{\text{deck}}}{z} = 0.12 \cdot \text{m}^3$$

Effektiv längd:
$$l_{\text{ef}} := 0.9 \text{ m} \quad \text{Eurokod SS-EN 1995-1-1 Tabell 6.1}$$

Kritisk böjspänning $\sigma_{\text{m.crit}}$:

$$\sigma_{\text{m.crit}} := 0.78 \cdot E_{0.05 \cdot gI} \cdot \frac{b_{\text{ef}}^2}{h_{\text{lam}} \cdot l_{\text{ef}}} = 1.532 \times 10^4 \cdot \text{MPa} \quad \text{Eurokod SS-EN 1995-1-1 Kap 6.3.3}$$

Slankhetstal:
$$\lambda_{\text{rel.m}} := \sqrt{\frac{f_{\text{mk.gI}}}{\sigma_{\text{m.crit}}}} = 0.048 \quad \text{Eurokod SS-EN 1995-1-1 Kap 6.3.3}$$

Faktor för beräkning av vippning κ_{crit} : Eurokod SS-EN 1995-1-1 Kap 6.3.3

$$\kappa_{\text{crit}} := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{\text{rel.m}} \leq 0.75 \\ (1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{\text{rel.m}}) & \text{if } 0.75 < \lambda_{\text{rel.m}} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{\text{rel.m}}^2} & \text{if } 1.4 \leq \lambda_{\text{rel.m}} \end{cases} = 1$$

Momentkapacitet:
$$M_{\text{Rd}} := W_{\text{deck}} \cdot f_{\text{md.deck}} \cdot \kappa_{\text{crit}} = 3.609 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Tvärkraftskapacitet

Sprickfaktor för skjuvbärförmåga: $k_{cr} := 0.67$ Eurokod SS-EN 1995-1-1
Kap 6.1.7

Tvärkraftskapacitet: $V_{Rd} := \frac{2}{3} \cdot b_{ef} \cdot h_{lam} \cdot f_{vd,deck} \cdot k_{cr} = 1.299 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

9. Gränsvärden nedböjning

Maximal nedböjning för vägbroar är $L/400$ enligt Eurokod SS-EN 1995-2 Tabell 7.1

Maximal nedböjning spann 1: $\delta_{\max.1} := \frac{L_{\text{spann1}}}{400} = 45 \cdot \text{mm}$

Maximal nedböjning spann 2: $\delta_{\max.2} := \frac{L_{\text{spann2}}}{400} = 47.5 \cdot \text{mm}$

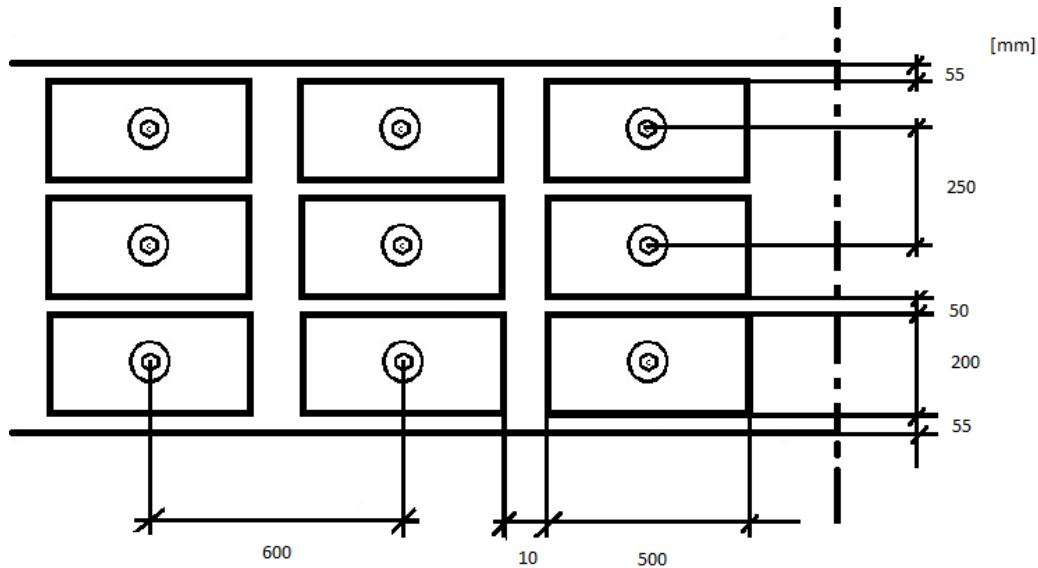
Maximal nedböjning spann 3: $\delta_{\max.3} := \frac{L_{\text{spann3}}}{400} = 47.5 \cdot \text{mm}$

Maximal nedböjning spann 4: $\delta_{\max.4} := \frac{L_{\text{spann4}}}{400} = 45 \cdot \text{mm}$

10. Erforderlig förspänning

Avstånd mellan tvärpänningsenheter: $d := 0.6\text{m}$

Eurokod SS-EN 1995-2
Kap 6.1.2



Figur 13 - Tvärpänningsenheternas placering

$$l_1 := \min(2 \cdot d, 30 \cdot b_{\text{lam}}, 1.2\text{m}) = 1.2\text{m}$$

Eurokod SS-EN 1995-2
Ekv 6.6

Skarvfaktor C_B

Minimant antal skarvar per l_1 fås vid skarvning med denna längd ger 10 skarvmöjligheter innan mönstret upprepar sig. Detta ger en skarv per 10 lameller. Maximalt 1 skarv per 10 lameller.

Antal lameller som skarvas inom l_1 :

$$\frac{L_{\text{lam}}}{l_1} = 10$$

Skarvfaktor 1 på 10 ger:

$$C_B := 0.94$$

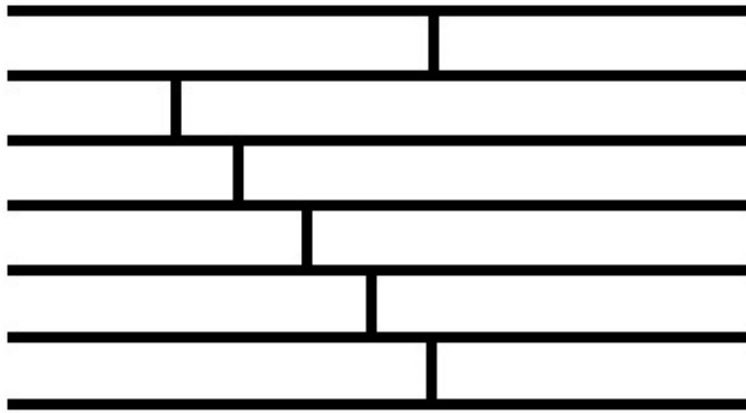
Pousette 2008
Tabell 8.5

Korrigerig av skarvfaktorn till 1 på 5 görs vid rådgivning hos Kristoffer Ekholm.

Skarvfaktor 1 på 5 ger:

$$C_B := 0.85$$

Pousette 2008
Tabell 8.5



Figur 14 - Lamellernas skarvschema

Medelvärde av elasticitetsmodulen vinkelrätt fiberriktningen:

$$E_{90.\text{platta}} := 0.013 \cdot E_{\text{mean.gl}} = 191.1 \cdot \text{MPa} \quad \text{Eurokod SS-EN 1995-2 Tabell 5.1}$$

Medelvärde skjuvmodulen vinkelrätt fiberriktningen (rullskjuvning):

$$G_{90.\text{platta}} := 0.03 \cdot E_{\text{mean.gl}} = 441 \cdot \text{MPa} \quad \text{Eurokod SS-EN 1995-2 Tabell 5.1}$$

α -faktorn hämtas från Träbroar-konstruktion och dimensionering, Anna Pousette

$$\alpha := \frac{(2 \cdot G_{90.\text{platta}})}{\sqrt{E_{\text{mean.gl}} \cdot C_B \cdot E_{90.\text{platta}}}} = 0.571$$

Dimensioneringsvärden
på friktionskoefficienten:

$$\mu := 0.45 \quad \text{Eurokod SS-EN 1995-2 Tabell 6.1}$$

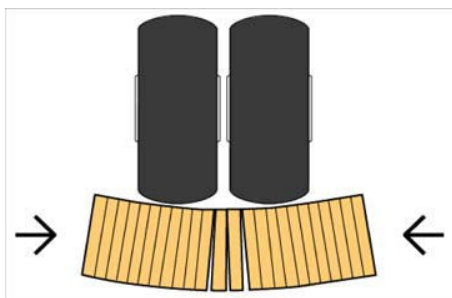
Spann 1 och 4. 18m

$$\theta_{\text{spann1}} := \left(\frac{b_{\text{platta}}}{2 \cdot L_{\text{spann1}}} \right) \cdot \left[\frac{(E_{\text{mean.gl}} \cdot C_B)^{0.25}}{E_{90.\text{platta}}} \right] = 0.918 \quad \text{Pousette 2008 Kap 8}$$

$$\beta_{\text{spann1}} := \pi \cdot \left(\frac{b_{\text{platta}}}{L_{\text{spann1}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{(E_{\text{mean.gl}} \cdot G_B)}{2 \cdot G_{90.\text{platta}}}} = 7.633 \quad \text{Pousette 2008 Kap 8}$$

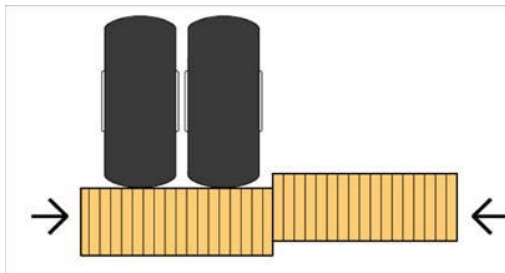
Figur 8.17 och 8.18 (Träbroar-konstruktion och dimensionering, Anna Pousette) ger tillsammans med α , β , θ och brobredd = 12 m:

Tvärböjmoment: $M_i := \frac{20000 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}}{T.\text{spann1}} \quad \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$



Figur 15 - Träplattans tvärböjning (Pousette 2008 Kap. 8)

Tvärskjuvning: $V_{T.\text{spann1}} := 9.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$



Figur 16 - Träplattans tvärskjuvning (Pousette 2008 Kap. 8)

Lägsta förspänning $\sigma_{f,i}$ är minsta värdet av $\sigma_{f.M.\text{spann1}}$ och $\sigma_{f.V.\text{spann1}}$, (Pousette 2008 Kap 8):

Lägsta förspänningen till följd av tvärböjmoment: $\sigma_{f.M.\text{spann1}} := 6 \cdot \frac{M_{T.\text{spann1}}}{h_{\text{lam}}} = 0.183 \cdot \text{MPa}$

Lägsta förspänningen till
följt av tvärskjuvning:

$$\sigma_{f.V.spann1} := 1.5 \cdot \frac{V_{T.spann1}}{h_{lam} \cdot \mu} = 0.039 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{f.spann1} := \max[(\sigma_{f.M.spann1}), (\sigma_{f.V.spann1})] = 0.183 \cdot \text{MPa}$$

Lägsta kvarvarande förspänningen får inte vara mindre än 0,35 MPa (Eurokod SS-EN 1995-2 Kap 6.1.2).

$$\sigma_{f.spann1} := \begin{cases} \sigma_{f.spann1} & \text{if } \sigma_{f.spann1} \geq 0.35 \text{MPa} \\ (0.35 \text{MPa}) & \text{otherwise} \end{cases} = 0.35 \cdot \text{MPa}$$

För att kompensera för en 60-procentig spänningsförlust måste förspänningen vid monteringen uppgå till $2.5 \cdot \sigma_{f.spann1}$ (Pousette 2008 Kap 8).

$$\sigma_{f,i} \geq 2.5 \cdot \sigma_{f.spann1}$$

Minsta tillåtna förspänning:

$$\sigma_{f,i.spann1} := 2.5 \cdot \sigma_{f.spann1} = 0.875 \cdot \text{MPa}$$

Spann 2 och 3. 19m

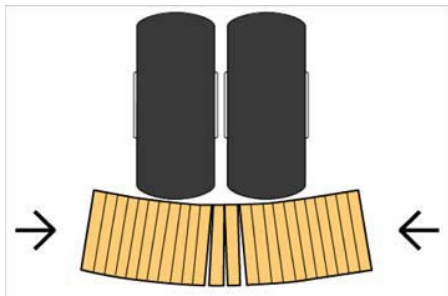
$$\theta_{spann2} := \left(\frac{b_{platta}}{2 \cdot L_{spann2}} \right) \cdot \left[\frac{(E_{mean.gl} \cdot C_B)}{E_{90.platta}} \right]^{0.25} = 0.87 \quad \text{Pousette 2008 Kap 8}$$

$$\beta_{spann2} := \pi \cdot \left(\frac{b_{platta}}{L_{spann2}} \right) \cdot \sqrt{\frac{(E_{mean.gl} \cdot C_B)}{2 \cdot G_{90.platta}}} = 7.232 \quad \text{Pousette 2008 Kap 8}$$

Figur 8.17 och 8.18 (Träbroar-konstruktion och dimensionering, Anna Pousette)
ger tillsammans med α , β , θ och brobredd = 12 m.

Tvärböjmoment:

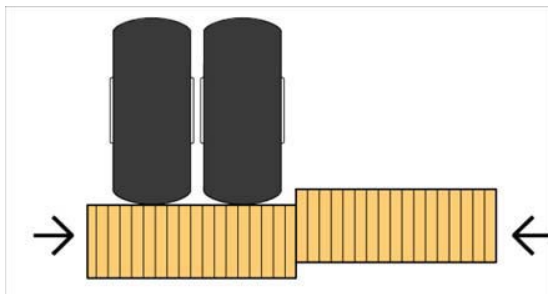
$$M_{T.spann2} := 33000 \text{N} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$



Figur 17 - Träplattans tvärböjning (Pousette 2008 Kap. 8)

Tvärskjuvning:

$$V_{T.\text{spann2}} := 9.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$



Figur 18 - Träplattans tvärskjuvning (Pousette 2008 Kap. 8)

Lägsta kvarvarande förspänning $\sigma_{f,i}$ är minsta värdet av $\sigma_{f.M.\text{spann2}}$ och $\sigma_{f.V.\text{spann2}}$,
(Pousette 2008 Kap 8):

Lägsta förspänningen till
följt av tvärböjmoment:

$$\sigma_{f.M.\text{spann2}} := 6 \cdot \frac{M_{T.\text{spann2}}}{h_{\text{lam}}^2} = 0.302 \cdot \text{MPa}$$

Lägsta förspänningen till
följt av tvärskjuvning:

$$\sigma_{f.V.\text{spann2}} := 1.5 \cdot \frac{V_{T.\text{spann2}}}{h_{\text{lam}} \cdot \mu} = 0.039 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{f.\text{spann2}} := \max[(\sigma_{f.M.\text{spann2}}), (\sigma_{f.V.\text{spann2}})] = 0.302 \cdot \text{MPa}$$

Lägsta kvarvarande förspänningen får inte vara mindre än 0,35 MPa (Eurokod SS-EN 1995-2 Kap 6.1.2).

$$\sigma_{f,spann2} := \begin{cases} \sigma_{f,spann2} & \text{if } \sigma_{f,spann2} \geq 0.35 \text{ MPa} \\ (0.35 \text{ MPa}) & \text{otherwise} \end{cases} = 0.35 \cdot \text{MPa}$$

För att kompensera för en 60-procentig spänningsförlust måste förspänningen vid monteringen uppgå till $2.5 \cdot \sigma_{f,spann2}$ (Pousette 2008 Kap 8).

$$\sigma_{f,i} \geq 2.5 \cdot \sigma_{f,spann2}$$

Minsta tillåtna förspänning: $\sigma_{f,i,spann2} := 2.5 \cdot \sigma_{f,spann2} = 0.875 \cdot \text{MPa}$

Jämn förspänning eftersöks för hela plattan. Dimensionerande förspänning blir:

$$\sigma_{f,i,dim} := \max(\sigma_{f,i,spann1}, \sigma_{f,i,spann2}) = 0.875 \cdot \text{MPa}$$

Enligt Eurokod SS-EN 1995-2 Kap 6.1.2 ska ett antal kriterier vara uppfyllda:
Tryckspänning efter långtidsförluster får normalt antas vara större än 0,35 MPa, förutsatt att:

- Det initiala förspänningsvärdet är minst 1,0 MPa.
- Fuktkvoten hos lamellerna vid uppspänningen inte är högre än 16 %.
- Variationen i fuktkvot i plattan i bruk begränsas med lämpligt skydd t ex ett tätskikt.

$\sigma_{f,i,dim}$ ökas upp till 1,0 MPa

$$\sigma_{f,i,dim} := 1.0 \text{ MPa}$$

11.Laster

Partialkoefficienter

Trafiklast:	$\gamma_Q := 1.5$	Eurokod SS-EN 1990 Tabell A2.4
Egentyngd:	$\gamma_G := 1.35$	

Lastreduktionstal

Punktlast:	$\psi_Q := 0.75$	Eurokod SS-EN 1990 Tabell A2.1
Utbreddlast:	$\psi_q := 0.4$	

Permanent last

$$G := \gamma_{limträ} \cdot b_{platta} \cdot h_{lam} + \gamma_{slitlager} \cdot b_{bel} \cdot h_{slitlager} + G_{räcke} \dots \\ + \gamma_{PGJA} \cdot h_{PGJA} \cdot b_{bel}$$

$$G = 65.604 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Totalt dimensionerande egentyngd:

$$G_{dtot} := \gamma_G \cdot G = 88.566 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster

Enligt Lastmodell 1:

Anpassningsfaktorer:

$$\begin{array}{ll} \alpha_{Q1} := 0.9 & \alpha_{q1} := 0.7 \\ \alpha_{Q2} := 0.9 & \alpha_{q2} := 1.0 \\ \alpha_{Q3} := 0 & \alpha_{q3} := 1.0 \end{array}$$

Föreläsning 25/3-14
Sören Lindgren
Chalmers

Lastfält nummer 1

Eurokod SS-EN 1991-2
Tabell 4.2

Punktlast: $Q_{1k} := 600\text{kN}$

Utbredd last: $q_{1k} := 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Lastfält nummer 2

Eurokod SS-EN 1991-2
Tabell 4.2

Punktlast: $Q_{2k} := 400\text{kN}$

Utbredd last: $q_{2k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Lastfält nummer 3

Eurokod SS-EN 1991-2
Tabell 4.2

Punktlast: $Q_{3k} := 200\text{kN}$

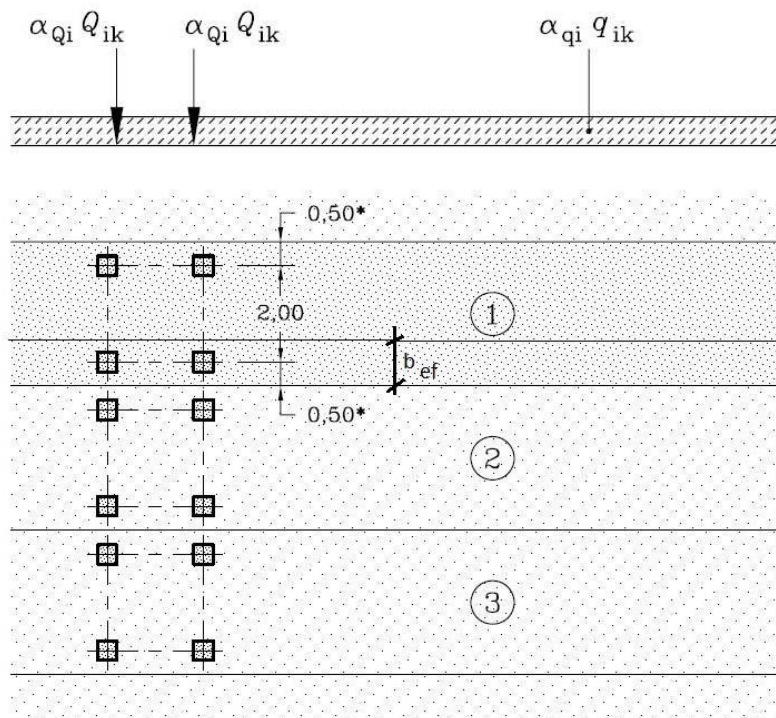
Utbredd last: $q_{3k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Återstående yta

Eurokod SS-EN 1991-2
Tabell 4.2

Utbredd last: $q_{rk} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Plattan är kontinuerlig i sidled, därför studeras denna som en balk. Balken har en bredd b_{ef} , som beror på hur lasten förs ned i plattan. Det värsta lastfallet som uppkommer på bron läggs över bredden b_{ef} (se figur 19).



Figur 19 - Placering av b_{ef} (Eurocode SS-EN 1991-2 Figur 4.2a)

Permanentlast

Ett nytt G räknas nu ut med avseende på b_{ef} :

$$G_{\text{www}} := \gamma_{\text{limträ}} \cdot b_{ef} \cdot h_{\text{lam}} + \gamma_{\text{slitlager}} \cdot b_{ef} \cdot h_{\text{slitlager}} + G_{\text{räcke}} + \gamma_{\text{PGJA}} \cdot h_{\text{PGJA}} \cdot b_{ef}$$

$$G = 6.809 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Totalt dimensionerande egentyngd:

$$G_d := \gamma_G \cdot G = 9.192 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklast

Bredden b_{ef} på lastfil 1 (se figur 19), axiallasten divideras med 2 då enbart halva axeln verkar på b_{ef}

Fall 1

Punktlasten, Q , är huvudlast och utbredda lasten, q , reduceras med ψ

$$\text{Punktlast: } Q_{1d} := \frac{\gamma_Q \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} \cdot \frac{1}{2}}{1.5} = 270 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Utbredd last: } q_{1d} := \gamma_Q \cdot \psi_Q \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot b_{ef} = 4.147 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Fall 2

Utbredda lasten, q , är huvudlast och punktlasten, Q , reduceras med ψ

$$\text{Punktlast: } Q_{2d} := \frac{\gamma_Q \cdot \psi_Q \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} \cdot \frac{1}{2}}{1.5} = 202.5 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Utbredd last: } q_{2d} := \gamma_Q \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot b_{ef} = 10.367 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Maximal stödreaktion

Maximal stödreaktion då vi tittar på hela bronns bredd:

$$\text{Bredd lastfält: } b_{\text{lastfil}} := 3\text{m}$$

$$\text{Bredd återstående yta: } b_{\text{rest}} := b_{\text{platta}} - 3 \cdot b_{\text{lastfil}} = 2.62\text{ m}$$

$$\text{Permanent last för hela plattans bredd: } G_{\text{dtot}} = 88.566 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklast

Fall 1

Punktlasten, Q , är huvudlast och utbredda lasten, q , reduceras med ψ

Punktlast:

$$Q_{1d} := Y_Q \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} \cdot \frac{1}{2} + Y_Q \cdot \alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} \cdot \frac{1}{2} + Y_Q \cdot \alpha_{Q3} \cdot Q_{3k} \cdot \frac{1}{2} = 675 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last:

$$q_{1d} := Y_Q \cdot \psi_q \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot b_{\text{lastfil}} + Y_Q \cdot \psi_q \cdot \alpha_{q2} \cdot q_{2k} \cdot b_{\text{lastfil}} \dots \\ + Y_Q \cdot \psi_q \cdot \alpha_{q3} \cdot q_{3k} \cdot b_{\text{lastfil}} + Y_Q \cdot \psi_q \cdot q_{rk} \cdot b_{\text{rest}}$$

$$q_{1d} = 24.27 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Fall 2

Utbredda lasten, q , är huvudlast och punktlasten, Q , reduceras med ψ

Punktlast:

$$Q_{2d} := Y_Q \cdot \psi_Q \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} \cdot \frac{1}{2} + Y_Q \cdot \psi_Q \cdot \alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} \cdot \frac{1}{2} + Y_Q \cdot \psi_Q \cdot \alpha_{Q3} \cdot Q_{3k} \cdot \frac{1}{2} \\ Q_{2d} = 506.25 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last:

$$q_{2d} := Y_Q \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot b_{\text{lastfil}} + Y_Q \cdot \alpha_{q2} \cdot q_{2k} \cdot b_{\text{lastfil}} + Y_Q \cdot \alpha_{q3} \cdot q_{3k} \cdot b_{\text{lastfil}} \dots \\ + Y_Q \cdot q_{rk} \cdot b_{\text{rest}} \\ q_{2d} = 60.675 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Bestämning av lagerkrafterna i tvärled

Punktlaster:

$$Q_{1d} := Y_Q \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} \cdot \frac{1}{2} = 405 \cdot \text{kN} \\ Q_{2d} := Y_Q \cdot \alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} \cdot \frac{1}{2} = 270 \cdot \text{kN} \\ Q_{3d} := Y_Q \cdot \alpha_{Q3} \cdot Q_{3k} \cdot \frac{1}{2} = 0$$

Utbredda laster:

$$q_1 := \gamma_Q \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 9.45 \frac{1}{m} \cdot \frac{kN}{m}$$

$$q_2 := \gamma_Q \cdot \alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 3.75 \frac{1}{m} \cdot \frac{kN}{m}$$

$$q_3 := \gamma_Q \cdot \alpha_{q3} \cdot q_{3k} = 3.75 \frac{1}{m} \cdot \frac{kN}{m}$$

$$q_{rr} := \gamma_Q \cdot q_{rk} = 3.75 \frac{1}{m} \cdot \frac{kN}{m}$$

Uträknade värden för utbredda laster och punktlaster för fall 1 och 2 förs sedan in i Matlab-filerna (bilaga 6-9) för att beräkna max moment, max tvärkraft och max nedböjning.

12. Stämpeltryckseffekt

Spänningen vinkelrätt fibrerna får aldrig överstiga tryckhållfastheten vinkelrätt fibrerna multiplicerat med en faktor $k_{c,90}$, annars kan stämpeltryck uppstå.

Kriterie:
$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

Om upplagen är kontinuerliga och avståndet mellan dem är större än 2h sätts $k_{c,90}$ till 1,5 för limträ, om förutsättningarna ej är uppfyllda sätts konstanten till 1,0. Förutsättningarna antas vara uppfyllda då tryckkraftskapaciteten beräknas vid lagren, medan antas inte vara uppfyllda vid kapacitetsberäkning vid tvärspanningsstagen.

Lager

Kapacitetlager

Klimatklass: 2

Eurokod SS-EN 1995-1-1
Kap 2.3.1.3

Lastvaraktighet: Permanent

Eurokod SS-EN 1995-1-1
Tabell 2.2

$$k_{mod,lager} := 0.60$$

$$k_{c90,lager} := 1.5$$

Hållfasthet vid stöd vinkelrätt fibrerna:

$$f_{c90d,lager} := k_{c90,lager} \cdot k_{mod,lager} \cdot \frac{f_{c90k,gl}}{\gamma_{M,gl}} = 2.376 \text{ MPa}$$

Spänning lager

$$N_{d,lager} := 2174.7 \cdot \text{kN}$$

Effektiv area lager:

$$A_{ef,lager} := (a_{lager} + 0.3\text{m}) \cdot (b_{lager} + 2 \cdot 0.03\text{m}) = 0.253 \text{ m}^2$$

Spänning i lager:

$$\sigma_{\text{lag}} := \frac{N_d}{A_{\text{ef.lag}}} = 8.596 \cdot \text{MPa}$$

Kontroll:

$$f_{\text{c90d.lag}} < \sigma_{\text{lag}} \quad \begin{array}{l} E_{\text{I ok,}} \\ \text{fördelningsplatta} \\ \text{krävs} \end{array}$$

Dimensioner på fördelningsplatta

Area fördelningsplatta:

$$A_{\text{fp}} := \frac{N_d}{f_{\text{c90d.lag}}} = 0.915 \text{ m}^2$$

Dimensioner om kvadratisk:

$$\sqrt{A_{\text{fp}}} = 0.957 \text{ m}$$

Valda dimensioner

Fördelningsplattans bredd:

$$b_{\text{fp}} := 1 \text{ m}$$

Fördelningsplattans längd:

$$l_{\text{fp}} := 1 \text{ m}$$

Tvärspänning

Kapacitet vid tvärspänningsstag

Klimatklass: 2

Eurokod SS-EN 1995-1-1
Kap 2.3.1.3

Lastvaraktighet: Permanent

Eurokod SS-EN 1995-1-1
Tabell 2.2

$$k_{\text{mod.ts}} := 0.60$$

$$k_{\text{c90.ts}} := 1.0$$

Hållfasthet vid tvärspänning vinkelrätt fibrerna:

$$f_{\text{c90d.ts}} := k_{\text{c90.ts}} \cdot k_{\text{mod.ts}} \cdot \frac{f_{\text{c90k.gl}}}{\gamma_{\text{M.gl}}} = 1.584 \cdot \text{MPa}$$

Kraft i stång

Kraft i tvärspanningsstag: $F_{E.tot} := d \cdot h_{lam} \cdot \sigma_{f.i.dim} = 486 \cdot \text{kN}$

Kraft i tvärspanningsstag: $F_{E.stag} := \frac{F_{E.tot}}{3} = 162 \cdot \text{kN}$

Stångkapacitet

Stångkraften får vara upp till 70 % av $f_{uk.stag}$.

$$F_{R.stag} := 0.7 \cdot f_{uk.stag} \cdot A_{stag} = 241.463 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{F_{E.stag}}{F_{R.stag}} = 0.671$$

Stångkraften når 67% av $f_{uk.stag}$

Dimensioner på ankarplattan

Area ankarplatta: $A_{ap} := \frac{F_{E.stag}}{f_{c90d.ts}} = 1.023 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$

Dimensioner om kvadratisk: $\sqrt{A_{ap}} = 0.32 \text{ m}$

Dimensionerna för en kvadratisk platta blir för stora och dimensioneras som en rektangel

Ankarplattans maxhöjd: $h_{ap} := 0.2 \text{ m}$

Ankarplattans effektiva minimibredd: $b_{ef.ap.min} := \frac{A_{ap}}{h_{ap}} = 0.511 \text{ m}$

Ankarplattans minimibredd:

$$b_{ap.min} := b_{ef.ap.min} - (2 \cdot 0.03 \cdot \text{m}) = 0.451 \text{ m}$$

Ankarplattans bredd: $b_{ap} := 0.5 \text{ m}$

Bilaga 6: Beräkning av maximalt moment, tvärkraft och nedböjning


```

%=====
%
% Beräkning av maximal tvärkraft, maximalt moment och
% maximal nedböjning för en "balk" med 5 stöd.
%
% Indata hämtade från bilaga 5
%
%=====

clear all %Rensar tidigare variabler
close all %Stänger alla figurer
clc       %Rensar kommandofönster

%=====
%INDATA
%=====

% Skiss över balken och dess 5 stöd, samt dess längder
%   _____L1_____L2_____L3_____L4_____
%  /\          /\          /\          /\          /\
%  A           B           C           D           E
%

beff=1.097; %[m] tvärsnittets effektiva bredd
h=0.81;    %[m] tvärsnittets höjd

L1=18;     %[m] längd fack 1
L2=19;     %[m] längd fack 2
L3=19;     %[m] längd fack 3
L4=18;     %[m] längd fack 4

E005=11.9*10^9; %[Pa] E-modul
Emean=14.7e9;
I=(beff*h^3)/12 ; %[m^4] yttröghetsmoment

Gegen=9.192*10^3; %[N/m] %Egentyngd, permanent last

%=====
%LASTER
%=====

%Fall 1, punktlast är huvudlast
Qfall1=4.147e3; %[N/m] utbredd variabelast
Pfall1=2.7e5;   %[N] punktlast

%Fall 2, utbredd last är huvudlast
Qfall2=1.0367e4; %[N/m] utbredd variabelast
Pfall2=2.025e5;  %[N] punktlast

%Punktlastens placering

%Dummyvariabler för for-loopar
l=1 ;

```

```

k=1 ;
j=1 ;
i=1 ;

for l=1:2 ; %For-loop som genomför beräkningarna två gånger, en för lastfall
1 och en för lastfall 2
    if l==1;
        Q=Qfall1;
        P=Pfall1;
    else
        Q=Qfall2;
        P=Pfall2;
    end
    %En matris som innehåller alla möjlig positioner och kombinationer av den
    utbredda lasten
    %Rad 1 innebär att det är utbredd last i fack 1, och tomt i fack 2-4.
    Qmatris=Q*[1 0 0 0
        0 1 0 0
        0 0 1 0
        0 0 0 1
        1 1 0 0
        1 0 1 0
        1 0 0 1
        0 1 1 0
        0 1 0 1
        0 0 1 1
        1 1 1 0
        1 0 1 1
        1 1 0 1
        0 1 1 1
        1 1 1 1] ;

Pmatris=eye(9,9)*P; %Skapar en enhetsmatris och multiplicerar sedan in
värdet på punktlasten

G=Gegen; %G=egentyngd, tilldelar G värdet på konstruktionens egenstyngd

%=====
%Skapar en for-loop som testar alla kombinationer av laster
%=====
for i=1:15 ;
    Q1=Qmatris(i,1);
    Q2=Qmatris(i,2);
    Q3=Qmatris(i,3);
    Q4=Qmatris(i,4);

    for j=1:9;
        P1=Pmatris(j,1);
        P2=Pmatris(j,2);
        P3=Pmatris(j,3);
        P4=Pmatris(j,4);
        P5=Pmatris(j,5);
        P6=Pmatris(j,6);
        P7=Pmatris(j,7);
        P8=Pmatris(j,8);
        P9=Pmatris(j,9);
    end
end

```

```

%=====
%BERÄKNING AV STÖDMOMENT OCH STÖDKRAFTER
%=====
%Matriser, löser ut stödmomenten MB, MC, MD
G=Gegen;
E=E005;
M=[(L1+L2)/(3*E*I) L2/(6*E*I) 0
    -L2/(6*E*I) -(L2+L3)/(3*E*I) -L3/(6*E*I)
    0 L3/(6*E*I) (L3+L4)/(3*E*I)] ;

Msvar=[(-P2*L1^2)/(16*E*I)+(-P4*L2^2)/(16*E*I)+(-G*(L1^3+L2^3))/(24*E*I)+(-
Q1*L1^3)/(24*E*I)+(-Q2*L2^3)/(24*E*I);
(P4*L2^2)/(16*E*I)+(P6*L3^2)/(16*E*I)+(G*(L2^3+L3^3))/(24*E*I)+(Q2*L2^3)/(24*E
*I)+(Q3*L3^3)/(24*E*I);
(-P6*L3^2)/(16*E*I)+(-P8*L4^2)/(16*E*I)+(-G*(L3^3+L4^3))/(24*E*I)+(-
Q3*L3^3)/(24*E*I)+(-Q4*L4^3)/(24*E*I)];

MSTOD=M\Msvar ; %Lös ekvationerna och skapar svarsmatrisen MSTOD som
innehåller alla stödmoment
MB=MSTOD(1,1); %Tilldelar variabel MB värdet för momentet i stöd B
MC=MSTOD(2,1); %Tilldelar variabel Mc värdet för momentet i stöd C
MD=MSTOD(3,1); %Tilldelar variabel MD värdet för momentet i stöd D

%Följande ekvationer löser ut stödreaktionerna
RA=MB/L1+P1+(P2/2)+(Q1*L1)/2+(G*L1)/2;
RBV=-MB/L1+P2/2+P3/2+(Q1*L1)/2+(G*L1)/2;
RBH=-MB/L2+MC/L2+P4/2+P3/2+(Q2*L2)/2+(G*L2)/2;
RCV=MB/L2-MC/L2+P4/2+P5/2+(Q2*L2)/2+(G*L2)/2;
RCH=-MC/L3+MD/L3+P6/2+P5/2+(Q3*L3)/2+(G*L3)/2;
RDV=MC/L3-MD/L3+P6/2+P7/2+(Q3*L3)/2+(G*L3)/2;
RDH=-MD/L4+P8/2+P7/2+(Q4*L4)/2+(G*L4)/2;
RE=MD/L4+P8/2+P9+(Q4*L4)/2+(G*L4)/2;

RA=RA; %Skapar variabel RA och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd A
RB=RBV+RBH; %Skapar variabel RB och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd B
RC=RCV+RCH; %Skapar variabel RC och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd C
RD=RDV+RDH; %Skapar variabel RD och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd D
RE=RE; %Skapar variabel RE och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd E

%=====
%Snittning och beräkning av tvärkrafter och moment
%=====
%fack1
%0<x<L1/2
x11=linspace(0,L1/2,1000);

```

```
Vx11=-G*x11-Q1*x11+RA-P1;
Mx11=RA*x11-(G*x11.^2)/2-(Q1*x11.^2)/2-P1*x11;
```

```
%fack 1
```

```
%L1/2<x<L1
```

```
x12=linspace(L1/2,L1,1000);
Vx12=-P1-P2-G*x12-Q1*x12+RA;
Mx12=RA*x12-P1*x12-P2*(x12-L1/2)-(G*x12.^2)/2-(Q1*x12.^2)/2;
```

```
%fack 2
```

```
%L1<x<L2/2
```

```
x21=linspace(L1,L1+L2/2,1000);
Vx21=-P1-P2-P3-Q1*L1-Q2*(x21-L1)-G*x21+RA+RB;
Mx21=RA*x21+RB*(x21-L1)-P1*(x21)-P2*(x21-L1/2)-P3*(x21-L1)-(G*x21.^2)/2-
Q1*L1*(x21-L1/2)-Q2*(x21-L1).*(x21-L1)/2;
```

```
%fack 2
```

```
%L2/2<x<L2
```

```
x22=linspace(L1+L2/2,L1+L2,1000);
Vx22=-P1-P2-P3-P4-Q1*L1-Q2*(x22-L1)-G*x22+RA+RB;
Mx22=RA*x22+RB*(x22-L1)-P1*(x22)-P2*(x22-L1/2)-P3*(x22-L1)-P4*(x22-L1-L2/2)-
(G*x22.^2)/2-Q1*L1*(x22-L1/2)-Q2*(x22-L1).*(x22-L1)/2;
```

```
%fack 3
```

```
%L2<x<L3/2
```

```
x31=linspace(L1+L2,L1+L2+L3/2,1000);
Vx31=-P1-P2-P3-P4-P5-Q1*L1-Q2*L2-Q3*(x31-L1-L2)-G*x31+RA+RB+RC;
Mx31=RA*x31+RB*(x31-L1)+RC*(x31-L1-L2)-P1*(x31)-P2*(x31-L1/2)-P3*(x31-L1)-
P4*(x31-L1-L2/2)-P5*(x31-L1-L2)-(G*x31.^2)/2-Q1*L1*(x31-L1/2)-Q2*L2*(x31-L1-
L2/2)-Q3*(x31-L1-L2).*(x31-L1-L2)/2;
```

```
%fack 3
```

```
%L3/2<x<L3
```

```
x32=linspace(L1+L2+L3/2,L1+L2+L3,1000);
Vx32=-P1-P2-P3-P4-P5-P6-Q1*L1-Q2*L2-Q3*(x32-L1-L2)-G*x32+RA+RB+RC;
Mx32=RA*x32+RB*(x32-L1)+RC*(x32-L1-L2)-P1*(x32)-P2*(x32-L1/2)-P3*(x32-L1)-
P4*(x32-L1-L2/2)-P5*(x32-L1-L2)-P6*(x32-L1-L2-L3/2)-(G*x32.^2)/2-Q1*L1*(x32-
L1/2)-Q2*L2*(x32-L1-L2/2)-Q3*(x32-L1-L2).*(x32-L1-L2)/2;
```

```
%fack 4
```

```
%L3<x<L4/2
```

```
x41=linspace(L1+L2+L3,L1+L2+L3+L4/2,1000);
Vx41=-P1-P2-P3-P4-P5-P6-P7-Q1*L1-Q2*L2-Q3*L3-Q4*(x41-L3-L2-L1)-
G*x41+RA+RB+RC+RD;
Mx41=RA*x41+RB*(x41-L1)+RC*(x41-L1-L2)+RD*(x41-L1-L2-L3)-P1*(x41)-P2*(x41-
L1/2)-P3*(x41-L1)-P4*(x41-L1-L2/2)-P5*(x41-L1-L2)-P6*(x41-L1-L2-L3/2)-P7*(x41-
L1-L2-L3)-(G*x41.^2)/2-Q1*L1*(x41-L1/2)-Q2*L2*(x41-L1-L2/2)-Q3*L3*(x41-L1-L2-
L3/2)-Q4*(x41-L1-L2-L3).*(x41-L1-L2-L3)/2;
```

```
%fack 4
```

```
%L4/2<x<L4
```

```
x42=linspace(L1+L2+L3+L4/2,L1+L2+L3+L4,1000);
Vx42=-P1-P2-P3-P4-P5-P6-P7-P8-Q1*L1-Q2*L2-Q3*L3-Q4*(x42-L3-L2-L1)-
G*x42+RA+RB+RC+RD;
Mx42=RA*x42+RB*(x42-L1)+RC*(x42-L1-L2)+RD*(x42-L1-L2-L3)-P1*(x42)-P2*(x42-
L1/2)-P3*(x42-L1)-P4*(x42-L1-L2/2)-P5*(x42-L1-L2)-P6*(x42-L1-L2-L3/2)-P7*(x42-
```

```
L1-L2-L3)-P8*(x42-L1-L2-L3-L4/2)-(G*x42.^2)/2-Q1*L1*(x42-L1/2)-Q2*L2*(x42-L1-L2/2)-Q3*L3*(x42-L1-L2-L3/2)-Q4*(x42-L1-L2-L3).*(x42-L1-L2-L3)/2;
```

```
%=====
```

```
%BERÄKNING AV MAX MOMENT FÖR FALL 1 OCH FALL 2
```

```
%=====
```

```
xtot1=[x11 x12 x21 x22 x31 x32 x41 x42];
```

```
Vxtot1=[Vx11 Vx12 Vx21 Vx22 Vx31 Vx32 Vx41 Vx42];
```

```
Mxtot1=-[Mx11 Mx12 Mx21 Mx22 Mx31 Mx32 Mx41 Mx42];
```

```
Plotx(k,:)=xtot1;
```

```
PlotVx(k,:)=Vxtot1;
```

```
PlotMx(k,:)=Mxtot1;
```

```
Mmaxtot(k,1)=max(abs(max(Mxtot1)),abs(min(Mxtot1)));
```

```
Vmaxtot(k,1)=max(abs(max(Vxtot1)),abs(min(Vxtot1)));
```

```
Stodmax(k,1)=max(abs(max(RA)),abs(min(RA)));
```

```
Stodmax(k,2)=max(abs(max(RB)),abs(min(RB)));
```

```
Stodmax(k,3)=max(abs(max(RC)),abs(min(RC)));
```

```
Stodmax(k,4)=max(abs(max(RD)),abs(min(RD)));
```

```
Stodmax(k,5)=max(abs(max(RE)),abs(min(RE)));
```

```
Stodmin(k,1)=min(abs(RA));
```

```
Stodmin(k,2)=min(abs(RB));
```

```
Stodmin(k,3)=min(abs(RC));
```

```
Stodmin(k,4)=min(abs(RD));
```

```
Stodmin(k,5)=min(abs(RE));
```

```
%=====
```

```
%BERÄKNING AV NEDBÖJNING
```

```
%=====
```

```
G=0; %Vid beräkning av nedböjning bortser vi från egentyngd
```

```
E=Emean;
```

```
M2=[(L1+L2)/(3*E*I) L2/(6*E*I) 0 %Ekvationer för stödmomenten
```

```
-L2/(6*E*I) -(L2+L3)/(3*E*I) -L3/(6*E*I)
```

```
0 L3/(6*E*I) (L3+L4)/(3*E*I)] ;
```

```
Msvar2=[(-P2*L1^2)/(16*E*I)+(-P4*L2^2)/(16*E*I)+(-G*(L1^3+L2^3))/(24*E*I)+(-Q1*L1^3)/(24*E*I)+(-Q2*L2^3)/(24*E*I);%Svarsmatris till ekvationerna för stödmomenten
```

```
(P4*L2^2)/(16*E*I)+(P6*L3^2)/(16*E*I)+(G*(L2^3+L3^3))/(24*E*I)+(Q2*L2^3)/(24*E*I)+(Q3*L3^3)/(24*E*I);
```

```
(-P6*L3^2)/(16*E*I)+(-P8*L4^2)/(16*E*I)+(-G*(L3^3+L4^3))/(24*E*I)+(-Q3*L3^3)/(24*E*I)+(-Q4*L4^3)/(24*E*I)];
```

```
MSTOD=M2\Msvar2 ; %Löser ekvationerna och skapar svarsmatrisen MSTOD som innehåller alla stödmoment
```

```
MB=MSTOD(1,1); %Tilldelar variabel MB värdet för momentet i stöd B
```

```
MC=MSTOD(2,1); %Tilldelar variabel MC värdet för momentet i stöd C
```

```
MD=MSTOD(3,1); %Tilldelar variabel MD värdet för momentet i stöd D
```

%Följande ekvationer löser ut stödreaktionerna

```
RA=MB/L1+P1+(P2/2)+(Q1*L1)/2+(G*L1)/2;  
RBV=-MB/L1+P2/2+P3/2+(Q1*L1)/2+(G*L1)/2;  
RBH=-MB/L2+MC/L2+P4/2+P3/2+(Q2*L2)/2+(G*L2)/2;  
RCV=MB/L2-MC/L2+P4/2+P5/2+(Q2*L2)/2+(G*L2)/2;  
RCH=-MC/L3+MD/L3+P6/2+P5/2+(Q3*L3)/2+(G*L3)/2;  
RDV=MC/L3-MD/L3+P6/2+P7/2+(Q3*L3)/2+(G*L3)/2;  
RDH=-MD/L4+P8/2+P7/2+(Q4*L4)/2+(G*L4)/2;  
RE=MD/L4+P8/2+P9+(Q4*L4)/2+(G*L4)/2;
```

```
RA=RA;          %Skapar variabel RA och tilldelar den värdet på stödreaktionen i  
stöd A  
RB=RBV+RBH; %Skapar variabel RB och tilldelar den värdet på stödreaktionen i  
stöd B  
RC=RCV+RCH; %Skapar variabel RC och tilldelar den värdet på stödreaktionen i  
stöd C  
RD=RDV+RDH; %Skapar variabel RD och tilldelar den värdet på stödreaktionen i  
stöd D  
RE=RE;          %Skapar variabel RE och tilldelar den värdet på stödreaktionen i  
stöd E
```

%Beräknar moment- och tvärkrafter utmed balken

%fack1

%0<x<L1/2

```
x11=linspace(0,L1/2,1000);  
Vx11=-G*x11-Q1*x11+RA-P1;  
Mx11=RA*x11-(G*x11.^2)/2-(Q1*x11.^2)/2-P1*x11;  
a=x11;  
b=L1-a;  
A11=((a*L1^2)/(48*E*I)).*(3-((4*a.^2)/L1^2));  
Wx11=MB*((a*L1)/(6*E*I)).*(1-(a.^2)/L1^2))+P2*A11+Q1*((a*L1^3)/(24*E*I)).*(1-  
(2*a.^2)/L1^2+a.^3/L1^3));
```

%fack 1

%L1/2<x<L1

```
x12=linspace(L1/2,L1,1000);  
Vx12=-P1-P2-G*x12-Q1*x12+RA;  
Mx12=RA*x12-P1*x12-P2*(x12-L1/2)-(G*x12.^2)/2-(Q1*x12.^2)/2;  
a=x12;  
b=L1-a;  
A12=((b)*L1^2)/(48*E*I)).*(3-((4*(b).^2)/L1^2));  
Wx12=MB*((a*L1)/(6*E*I)).*(1-(a.^2)/L1^2))+P2*A12+Q1*((a*L1^3)/(24*E*I)).*(1-  
(2*a.^2)/L1^2+a.^3/L1^3));
```

%fack 2

%L1<x<L2/2

```
x21=linspace(L1,L1+L2/2,1000);  
Vx21=-P1-P2-P3-Q1*L1-Q2*(x21-L1)-G*x21+RA+RB;  
Mx21=RA*x21+RB*(x21-L1)-P1*(x21)-P2*(x21-L1/2)-P3*(x21-L1)-(G*x21.^2)/2-  
Q1*L1*(x21-L1/2)-Q2*(x21-L1).*(x21-L1)/2;  
a=x21-L1;  
b=L2-a;  
A21=((a)*L2^2)/(48*E*I)).*(3-((4*a.^2)/L2^2));  
Wx21=MB*((b)*L2)/(6*E*I)).*(1-((b).^2)/L2^2))+MC*((a*L2)/(6*E*I)).*(1-  
(a.^2)/L2^2))+P4*A21+Q2*((a*L2^3)/(24*E*I)).*(1-(2*a.^2)/L2^2+a.^3/L2^3));
```

```

%fact 2
%L2/2<x<L2
x22=linspace(L1+L2/2,L1+L2,1000);
Vx22=-P1-P2-P3-P4-Q1*L1-Q2*(x22-L1)-G*x22+RA+RB;
Mx22=RA*x22+RB*(x22-L1)-P1*(x22)-P2*(x22-L1/2)-P3*(x22-L1)-P4*(x22-L1-L2/2)-
(G*x22.^2)/2-Q1*L1*(x22-L1/2)-Q2*(x22-L1).*(x22-L1)/2;
a=x22-L1;
b=L2-a;
A22=((b)*L2^2)/(48*E*I).*(3-((4*(b).^2)/L2^2));
Wx22=MB*(((b)*L2)/(6*E*I).*(1-((b).^2)/L2^2))+MC*((a*L2)/(6*E*I).*(1-
(a.^2)/L2^2))+P4*A22+Q2*((a*L2^3)/(24*E*I).*(1-(2*a.^2)/L2^2+a.^3/L2^3));

```

```

%fact 3
%L2<x<L3/2
x31=linspace(L1+L2,L1+L2+L3/2,1000);
Vx31=-P1-P2-P3-P4-P5-Q1*L1-Q2*L2-Q3*(x31-L1-L2)-G*x31+RA+RB+RC;
Mx31=RA*x31+RB*(x31-L1)+RC*(x31-L1-L2)-P1*(x31)-P2*(x31-L1/2)-P3*(x31-L1)-
P4*(x31-L1-L2/2)-P5*(x31-L1-L2)-(G*x31.^2)/2-Q1*L1*(x31-L1/2)-Q2*L2*(x31-L1-
L2/2);
a=x31-L1-L2;
b=L3-a;
A31=((a*L3^2)/(48*E*I).*(3-((4*(a).^2)/L3^2));
Wx31=MC*(((b)*L3)/(6*E*I).*(1-((b).^2)/L3^2))+MD*((a*L3)/(6*E*I).*(1-
(a.^2)/L3^2))+P6*A31+Q3*((a*L3^3)/(24*E*I).*(1-(2*a.^2)/L3^2+a.^3/L3^3));

```

```

%fact 3
%L3/2<x<L3
x32=linspace(L1+L2+L3/2,L1+L2+L3,1000);
Vx32=-P1-P2-P3-P4-P5-P6-Q1*L1-Q2*L2-Q3*(x32-L1-L2)-G*x32+RA+RB+RC;
Mx32=RA*x32+RB*(x32-L1)+RC*(x32-L1-L2)-P1*(x32)-P2*(x32-L1/2)-P3*(x32-L1)-
P4*(x32-L1-L2/2)-P5*(x32-L1-L2)-P6*(x32-L1-L2-L3/2)-(G*x32.^2)/2-Q1*L1*(x32-
L1/2)-Q2*L2*(x32-L1-L2/2)-Q3*(x32-L1-L2).*(x32-L1-L2)/2;
a=x32-L1-L2;
b=L3-a;
A32=((b)*L3^2)/(48*E*I).*(3-((4*(b).^2)/L3^2));
Wx32=MC*(((b)*L3)/(6*E*I).*(1-((b).^2)/L3^2))+MD*((a*L3)/(6*E*I).*(1-
(a.^2)/L3^2))+P6*A32+Q3*((a*L3^3)/(24*E*I).*(1-(2*a.^2)/L3^2+a.^3/L3^3));

```

```

%fact 4
%L3<x<L4/2
x41=linspace(L1+L2+L3,L1+L2+L3+L4/2,1000);
Vx41=-P1-P2-P3-P4-P5-P6-P7-Q1*L1-Q2*L2-Q3*L3-Q4*(x41-L3-L2-L1)-
G*x41+RA+RB+RC+RD;
Mx41=RA*x41+RB*(x41-L1)+RC*(x41-L1-L2)+RD*(x41-L1-L2-L3)-P1*(x41)-P2*(x41-
L1/2)-P3*(x41-L1)-P4*(x41-L1-L2/2)-P5*(x41-L1-L2)-P6*(x41-L1-L2-L3/2)-P7*(x41-
L1-L2-L3)-(G*x41.^2)/2-Q1*L1*(x41-L1/2)-Q2*L2*(x41-L1-L2/2)-Q3*L3*(x41-L1-L2-
L3/2)-Q4*(x41-L1-L2-L3).*(x41-L1-L2-L3)/2;
a=x41-L1-L2-L3;
b=L4-a;
A41=((a*L4^2)/(48*E*I).*(3-((4*(a).^2)/L4^2));
Wx41=MD*((b*L4)/(6*E*I).*(1-(b.^2)/L4^2))+P8*A41+Q4*((a*L4^3)/(24*E*I).*(1-
(2*a.^2)/L4^2+a.^3/L4^3));

```

```

%fact 4
%L4/2<x<L4

```

```

x42=linspace(L1+L2+L3+L4/2,L1+L2+L3+L4,1000);
Vx42=-P1-P2-P3-P4-P5-P6-P7-P8-Q1*L1-Q2*L2-Q3*L3-Q4*(x42-L3-L2-L1)-
G*x42+RA+RB+RC+RD;
Mx42=RA*x42+RB*(x42-L1)+RC*(x42-L1-L2)+RD*(x42-L1-L2-L3)-P1*(x42)-P2*(x42-
L1/2)-P3*(x42-L1)-P4*(x42-L1-L2/2)-P5*(x42-L1-L2)-P6*(x42-L1-L2-L3/2)-P7*(x42-
L1-L2-L3)-P8*(x42-L1-L2-L3-L4/2)-(G*x42.^2)/2-Q1*L1*(x42-L1/2)-Q2*L2*(x42-L1-
L2/2)-Q3*L3*(x42-L1-L2-L3/2)-Q4*(x42-L1-L2-L3).*(x42-L1-L2-L3)/2;
a=x42-L1-L2-L3;
b=L4-a;
A42=((b)*L4^2)/(48*E*I)).*(3-((4*(b).^2)/L4^2));
Wx42=MD*(((b)*L4)/(6*E*I)).*(1-
((b).^2)/L4^2))+P8*A42+Q4*((a*L4^3)/(24*E*I)).*(1-
((2*a.^2)/(L4^2)))+(a.^3/L4^3));

```

```

Wxtot1=[Wx11 Wx12 Wx21 Wx22 Wx31 Wx32 Wx41 Wx42]; %Skapar en x-vektor med
värden från 0-Ltot
PlotWx(k,:)=Wxtot1*-1; %sparar värden på nedböjning på plats k i en
nedböjningmatris. Multiplicerar med -1 för att få nedböjning negativ och
uppböjning positiv.
Wmaxtot(k,1)=max(abs(max(Wxtot1)),abs(min(Wxtot1))); %Plockar ut ned maximala
ned- och uppböjning utmed balken.
Aktivalaster(k,:)= [P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 Q1 Q2 Q3 Q4]; %Skapar en matris
som innehåller aktiva laster för varje enskilt fall

```

```

%Dummyvaribler ökar med ett för att loopen skall fortsätta och placera in
uträknade värden på rätt plats i matriserna

```

```

j=j+1;
k=k+1;
end
i=i+1;
end
l=l+1;
end

```

```

%Tar fram största världen för moment, tvärkraft och nedböjning
MaxMoment=max(Mmaxtot);
MaxTvar=max(Vmaxtot);
MaxReaktion=max(max(Stodmax));
MinReaktion=min(min(Stodmin));
[xmax,pos1]=max(Vmaxtot); %tar fram "positionen" på största värdet för att
plotta rätt figur
[xmax,pos2]=max(Mmaxtot);
[xmax,pos3]=max(Stodmax);
[xmax,pos4]=max(xmax);
komb=pos3(pos4);

```

```

MaxNedboj=max(Wmaxtot);
[xmax,pos5]=max(Wmaxtot);

```

```

%=====
%PLOTTAR MOMENT- OCH TVÄRKRAFTSDIAGRAM FÖR FALL 1 OCH 2
%=====

```



```

%Skriver ut vilka laster som är aktiva för respektive fall då vi har
%maxvärden på moment, tvärkraft och nedböjning
disp('aktiva laster vid max moement, kolonn 1-9 är aktiva punktlaster, 10-13
aktiva utbredda laster'),disp(Aktivalaster(pos2,:))
disp('aktiva laster vid max tvärkraft, kolonn 1-9 är aktiva punktlaster, 10-13
aktiva utbredda laster'),disp(Aktivalaster(pos1,:))
disp('aktiva laster vid max nedboj, kolonn 1-9 är aktiva punktlaster, 10-13
aktiva utbredda laster'),disp(Aktivalaster(pos5,:))

% figure(1) %Plottar tvärkraftdiagramet för fallet med störst tvärkraft
subplot(3,1,1),plot(Plotx(pos1,:),PlotVx(pos1,:))
xlabel('Brolängd i [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')
title('Tvärkraftsdiagram')
grid on

% figure(2) %Plottar momentdiagrammet för fallet med störst moment
subplot(3,1,2),plot(Plotx(pos2,:),PlotMx(pos2,:))
xlabel('Brolängd i [m]')
ylabel('Moment [Nm]')
title('Momentdiagram')
grid on

% figure(4) %Plottar nedböjningen för fallet med störst nedböjning
subplot(3,1,3),plot(Plotx(pos5,:),PlotWx(pos5,:))
xlabel('Brolängd i [m]')
ylabel('Nedböjning [m]')
title('Nedböjningsdiagram')
grid on

%Koden nedan skapar ett resultatblad i commandwindow
disp('=====')
disp('Resultat')
disp('=====')
%För att få värdet i kN
MaxMomentRes=MaxMoment/1000;
MaxTvarRes=MaxTvar/1000;
MaxReaktionRes=MaxReaktion/1000;
MinReaktionRes=MinReaktion/1000;

disp(['Maximalt moment: ',num2str(MaxMomentRes),' kNm'])
disp(['Maximal tvärkraft: ',num2str(MaxTvarRes),' kNm'])
disp(['Maximal reaktionskraft: ',num2str(MaxReaktionRes),' kNm'])
disp(['Minimal reaktionskraft: ',num2str(MinReaktionRes),' kNm'])
disp(['Maximal Nedböjning: ',num2str(MaxNedboj),' m'])

```


=====

Resultat

=====

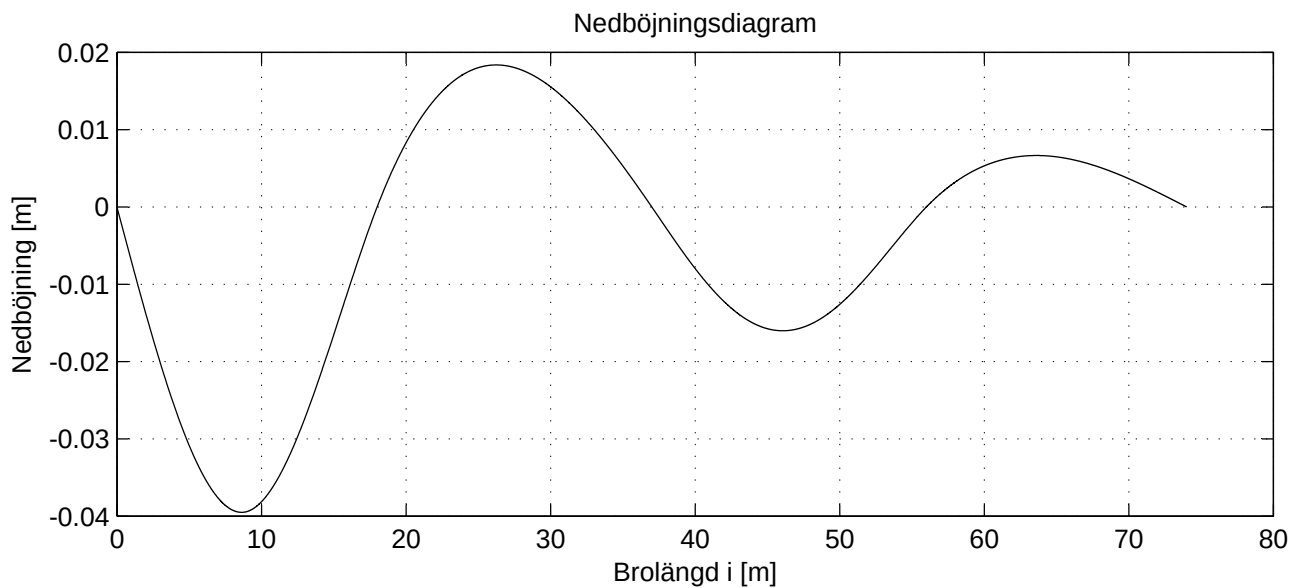
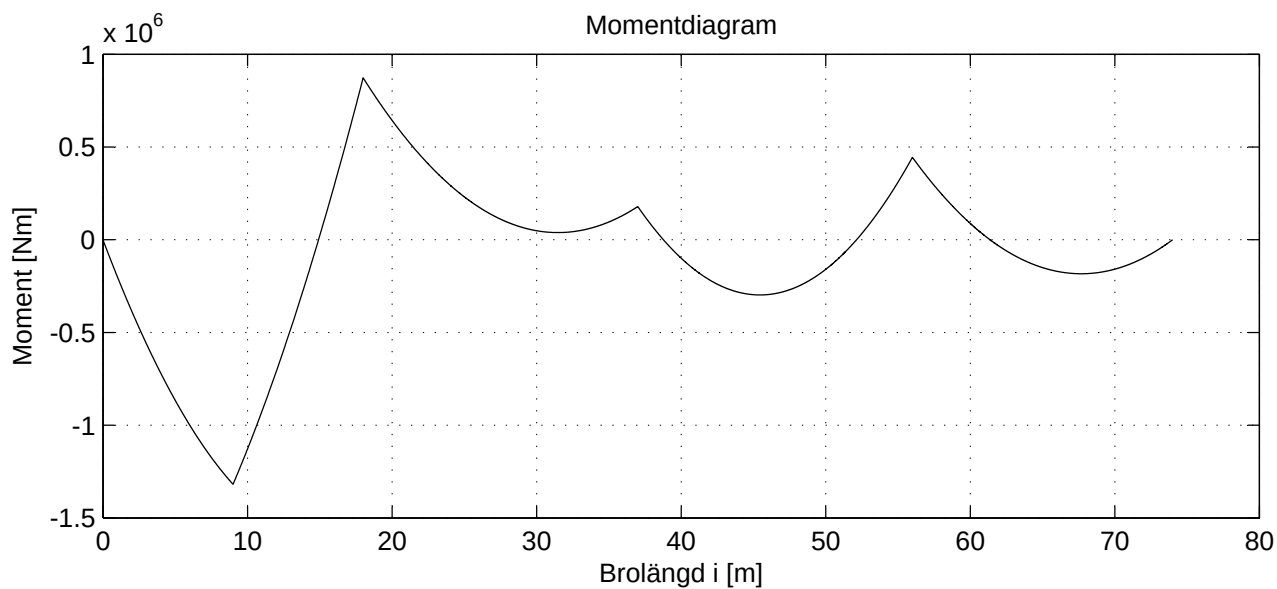
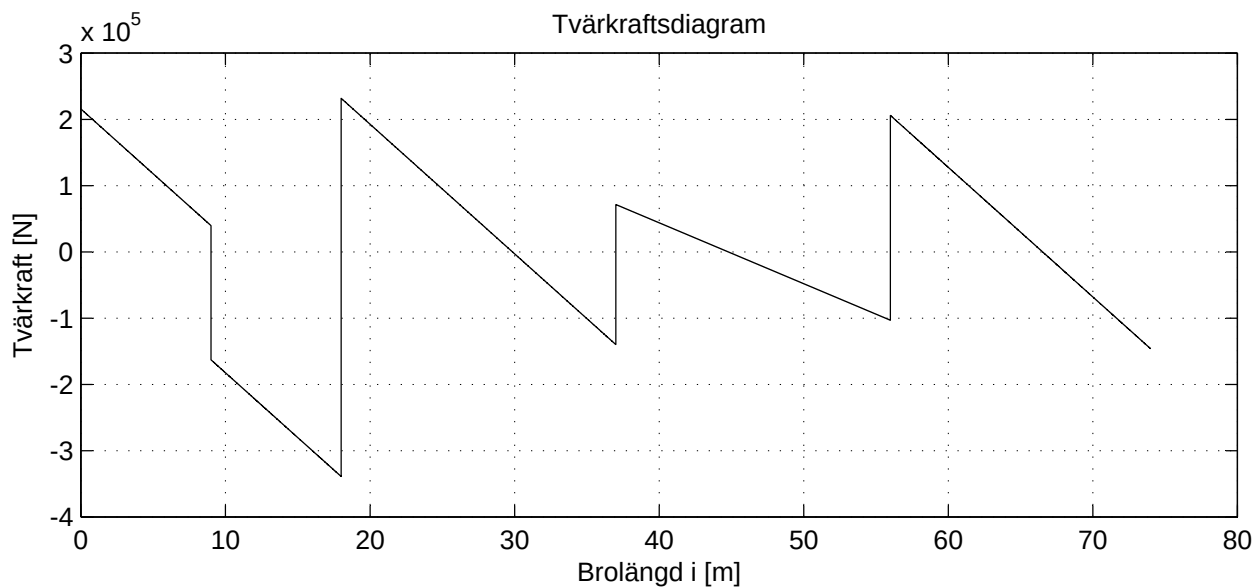
Maximalt moment: 1318.6473 kNm

Maximal tvärkraft: 338.964 kNm

Maximal reaktionskraft: 628.3634 kNm

Minimal reaktionskraft: 36.8666 kNm

Maximal Nedböjning: 0.039508 m



Bilaga 7: Beräkning maximala och minimala stödkrafter


```

%=====
%
% Beräknar maximala och minimala stödreaktioner för en
% plattbro med fem stöd.
%
% Indata hämtade från bilaga 5
%
%=====

clear all
close all
clc

%=====
%INDATA
%=====
beff=11.62;           %[m] träplattans totala bredd
h=0.810;             %[m] träplattans höjd

L1=18;               %[m] längd fack 1
L2=19;               %[m] längd fack 2
L3=19;               %[m] längd fack 3
L4=18;               %[m] längd fack 4

E=11.9*10^9;         %[Pa] E-modul för valt limträ
I=(beff*h^3)/12;     %[m^4] Yttröghetsmoment

%=====
%LASTER
%=====

%Permanent last (egentyngd)
G=8.856*10^4;        %[N/m]

%Fall 1, punktlast är huvudlast
Qfall1=2.427*10^4;    %[N/m] utbredd variabelast
Pfall1=6.75*10^5;     %[N] punktlast

%Fall 2, utbredd last är huvudlast
Qfall2=6.0675*10^4;   %[N/m] utbredd variabelast
Pfall2=5.063*10^5;    %[N] punktlast

%=====
%Beräknar stödreaktioner för lastfall 1 och lastfall 2
%=====

% Variabler för for-loop
l=1;
k=1;
i=1;

```

```

j=1;

for l=1:2

    %Beräknar lastfall 1 först och sedan lastfall 2
    if l==1
        Q=Qfall1;
        P=Pfall1;
    else
        Q=Qfall2;
        P=Pfall2;
    end

    %Definerar i vilka fack trafiklasten ligger
    Qmatris=Q*[1 0 0 0
                0 1 0 0
                0 0 1 0
                0 0 0 1
                1 1 0 0
                1 0 1 0
                1 0 0 1
                0 1 1 0
                0 1 0 1
                0 0 1 1
                1 1 1 0
                1 0 1 1
                1 1 0 1
                0 1 1 1
                1 1 1 1] ;

    Pmatris=eye(9,9)*P;

    %Beräknar för alla möjliga utbredda trafiklaster
    for i=1:15
        Q1=Qmatris(i,1);
        Q2=Qmatris(i,2);
        Q3=Qmatris(i,3);
        Q4=Qmatris(i,4);

        %Låter punktlasten vandra
        for j=1:9
            P1=Pmatris(j,1);
            P2=Pmatris(j,2);
            P3=Pmatris(j,3);
            P4=Pmatris(j,4);
            P5=Pmatris(j,5);
            P6=Pmatris(j,6);
            P7=Pmatris(j,7);
            P8=Pmatris(j,8);
            P9=Pmatris(j,9);

            %Matriser, löser ut stödmomenten MB, MC, MD
            M=[(L1+L2)/(3*E*I) L2/(6*E*I) 0
              -L2/(6*E*I) -(L2+L3)/(3*E*I) -L3/(6*E*I)

```

```

0 L3/(6*E*I) (L3+L4)/(3*E*I)] ;

Msva=[ (-P2*L1^2)/(16*E*I)+(-P4*L2^2)/(16*E*I)+(-G*(L1^3+L2^3))/(24*E*I)+(-
Q1*L1^3)/(24*E*I)+(-Q2*L2^3)/(24*E*I);
(P4*L2^2)/(16*E*I)+(P6*L3^2)/(16*E*I)+(G*(L2^3+L3^3))/(24*E*I)+(Q2*L2^3)/(24*E
*I)+(Q3*L3^3)/(24*E*I);
(-P6*L3^2)/(16*E*I)+(-P8*L4^2)/(16*E*I)+(-G*(L3^3+L4^3))/(24*E*I)+(-
Q3*L3^3)/(24*E*I)+(-Q4*L4^3)/(24*E*I)];

MSTOD=M\Msva ;

%Stödmoment
MB=MSTOD(1,1);
MC=MSTOD(2,1);
MD=MSTOD(3,1);

RA=MB/L1+P1+(P2/2)+(Q1*L1)/2+(G*L1)/2;
RBV=-MB/L1+P2/2+P3/2+(Q1*L1)/2+(G*L1)/2;
RBH=-MB/L2+MC/L2+P4/2+P3/2+(Q2*L2)/2+(G*L2)/2;
RCV=MB/L2-MC/L2+P4/2+P5/2+(Q2*L2)/2+(G*L2)/2;
RCH=-MC/L3+MD/L3+P6/2+P5/2+(Q3*L3)/2+(G*L3)/2;
RDV=MC/L3-MD/L3+P6/2+P7/2+(Q3*L3)/2+(G*L3)/2;
RDH=-MD/L4+P8/2+P7/2+(Q4*L4)/2+(G*L4)/2;
RE=MD/L4+P8/2+P9/2+(Q4*L4)/2+(G*L4)/2;

% Stödreaktioner
RA=RA;
RB=RBV+RBH;
RC=RCV+RCH;
RD=RDV+RDH;
RE=RE;

%Samlar största om minsta stödreaktioner i två separata matriser
Stodmax(k,1)=max(abs(max(RA)),abs(min(RA)));
Stodmax(k,2)=max(abs(max(RB)),abs(min(RB)));
Stodmax(k,3)=max(abs(max(RC)),abs(min(RC)));
Stodmax(k,4)=max(abs(max(RD)),abs(min(RD)));
Stodmax(k,5)=max(abs(max(RE)),abs(min(RE)));

Stodmin(k,1)=min(RA);
Stodmin(k,2)=min(RB);
Stodmin(k,3)=min(RC);
Stodmin(k,4)=min(RD);
Stodmin(k,5)=min(RE);

j=j+1;
k=k+1;
end
i=i+1;
end

%Plockar ut största stödreaktion för lastfall 1 och 2
[maxReaktion(l,1),maxpos(l,1)]=max(max(Stodmax));

```

```

%Plockar ut minsta stödreaktion för lastfall 1 och 2
[minReaktion(l,1),minpos(l,1)]=min(min(Stodmin));

l=l+1;
end

%Plockar ut maximala och minimala stödreaktioner för de två lastfallen i kN
maxReaktion1=maxReaktion(1,1)/1000;
maxReaktion2=maxReaktion(2,1)/1000;
minReaktion1=minReaktion(1,1)/1000;
minReaktion2=minReaktion(2,1)/1000;

%Minsta stödreaktion som uppkommer i samma stöd som har maximal stödreaktion
%i kN
MinReaktionMax1=min(Stodmin(:,maxpos(1,1)))/1000;
MinReaktionMax2=min(Stodmin(:,maxpos(2,1)))/1000;

%=====
%Presenterar resultat för lastfall 1
%=====
format short
disp('%=====')
disp('Resultat')
disp('%=====')
disp('Lastfall 1')
disp('%=====')
if maxpos(1,1)==1
    disp(['För lastfall 1 är den maximala stödreaktionen',num2str(maxReaktion1),' kN och uppkommer i Stöd 1'])
elseif maxpos(1,1)==2
    disp(['För lastfall 1 är den maximala stödreaktionen',num2str(maxReaktion1),' kN och uppkommer i Stöd 2'])
elseif maxpos(1,1)==3
    disp(['För lastfall 1 är den maximala stödreaktionen',num2str(maxReaktion1),' kN och uppkommer i Stöd 3'])
elseif maxpos(1,1)==4
    disp(['För lastfall 1 är den maximala stödreaktionen',num2str(maxReaktion1),' kN och uppkommer i Stöd 4'])
else
    disp(['För lastfall 1 är den maximala stödreaktionen',num2str(maxReaktion1),' kN och uppkommer i Stöd 5'])
end

if minpos(1,1)==1
    disp(['Den minsta stödreaktionen är ',num2str(minReaktion1),' kN och uppkommer i stöd 1'])
elseif minpos(1,1)==2
    disp(['Den minsta stödreaktionen är ',num2str(minReaktion1),' kN och uppkommer i stöd 2'])
elseif minpos(1,1)==3

```

```

        disp(['Den minsta stödreaktionen är ', num2str(minReaktion1), ' kN och
uppkommer i stöd 3'])
    elseif minpos(1,1)==4
        disp(['Den minsta stödreaktionen är ', num2str(minReaktion1), ' kN och
uppkommer i stöd 4'])
    else
        disp(['Den minsta stödreaktionen är ', num2str(minReaktion1), ' kN och
uppkommer i stöd 5'])
    end
    disp(' ')
    disp(['Den minsta stödreaktionen i det stöd med maximal stödreaktion ',
num2str(MinReaktionMax1), ' kN'])

```

```

%=====
%Presenterar resultat för lastfall 2
%=====

```

```

disp('%=====
====')
disp('Lastfall 2')
disp('%=====
====')
if maxpos(2,1)==1
    disp(['Den maximala stödreaktionen ', num2str(maxReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 1'])
elseif maxpos(2,1)==2
    disp(['Den maximala stödreaktionen ', num2str(maxReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 2'])
elseif maxpos(2,1)==3
    disp(['Den maximala stödreaktionen ', num2str(maxReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 3'])
elseif maxpos(2,1)==4
    disp(['Den maximala stödreaktionen ', num2str(maxReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 4'])
else
    disp(['Den maximala stödreaktionen ', num2str(maxReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 5'])
end

```

```

if minpos(2,1)==1
    disp(['Den minsta stödreaktionen är ', num2str(minReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 1'])
elseif minpos(2,1)==2
    disp(['Den minsta stödreaktionen är ', num2str(minReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 2'])
elseif minpos(2,1)==3
    disp(['Den minsta stödreaktionen är ', num2str(minReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 3'])
elseif minpos(2,1)==4
    disp(['Den minsta stödreaktionen är ', num2str(minReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 4'])
else
    disp(['Den minsta stödreaktionen är ', num2str(minReaktion2), ' kN och
uppkommer i stöd 5'])
end

```

```
disp(' ')
disp(['Den minsta stödreaktionen i det stöd med maximal stödreaktion',
      num2str(MinReaktionMax2), ' kN'])
```

%=====

Resultat

%=====

Lastfall 1

%=====

För lastfall 1 är den maximala stödreaktionen 3076.706 kN och uppkommer i Stöd 2

Den minsta stödreaktionen är 539.9078 kN och uppkommer i stöd 1

Den minsta stödreaktionen i det stöd med maximal stödreaktion 1699.9216 kN

%=====

Lastfall 2

%=====

Den maximala stödreaktionen 3727.1299 kN och uppkommer i stöd 2

Den minsta stödreaktionen är 513.5885 kN och uppkommer i stöd 1

Den minsta stödreaktionen i det stöd med maximal stödreaktion 1699.9216 kN

Bilaga 8: Beräkning upplagskrafter


```

%=====
%
% Beräknar kraftfördelningen på två lager vid ett stöd.
%
% Indata hämtad från bilaga 5 och 7
%=====
clear all
close all
clc

%=====
%Indata
%=====

G=8.856*10^4; %Egentyngd hela plattan + slitlager + räckan

Q1d=405*10^3; %Reducerad punktlast (en axel) i lastfil 1
Q2d=270*10^3; %Reducerad punktlast (en axel) i lastfil 2
Q3d=0; %Reducerad punktlast (en axel) i lastfil 3

q1d=9*10^3; %Utbredd trafiklast i lastfil 1
q2d=3.75*10^3; %Utbredd trafiklast i lastfil 2
q3d=3.75*10^3; %Utbredd trafiklast i lastfil 3
qrd=3.75*10^3; %Utbredd restlast

kaktusQ=0.75; %Reduktionsfaktor
kaktusq=0.4; %Reduktionsfaktor

L=11.6; %Brobaneplattans bredd
Lfil=3; %Bredd lastfiler
Lrest=L-3*Lfil; %Bredd fält med restlast

MaxReaktion1=3.0767*10^6; %Maximal reaktionskraft lastfall 1
MaxReaktion2=3.7271*10^6; %Maximal reaktionskraft lastfall 2

MinReaktion1=5.3991*10^5; %Minsta reaktionskraft lastfall 1
MinReaktion2=5.1359*10^5; %Minsta reaktionskraft lastfall 2

MinReaktionMax1=1.6999*10^6; %Minsta reaktionskraft i stöd med maximal
reaktionskraft, lastfall 1
MinReaktionMax2=1.6999*10^6; %Minsta reaktionskraft i stöd med maximal
reaktionskraft, lastfall 2

lastfall=1; %Gör så att for-loopen börjar med lastfall 1

%=====
%Beräknar procentuell fördelning mellan de två lagren
%för lastfall 1 och lastfall 2
%=====
for lastfall=1:2; %Beräknar för lastfall 1 och sedan lastfall 2
if lastfall==1 %Definerar laster beroende på lastfall
Q1dd=405*10^3;
Q2dd=270*10^3;
Q3dd=0;

```

```
q1dd=q1d*kaktusq;  
q2dd=q2d*kaktusq;  
q3dd=q3d*kaktusq;  
qrdd=qr d*kaktusq;
```

```
else
```

```
Q1dd=405*10^3*kaktusQ;  
Q2dd=270*10^3*kaktusQ;  
Q3dd=0*kaktusQ;
```

```
q1dd=q1d;  
q2dd=q2d;  
q3dd=q3d;  
qrdd=qr d;  
end
```

```
qflytt=q1dd-q2dd; %Utbredd last i lastfil delas upp i en  
fast last (samma som i lastfil 2 och 3) och en rörlig last som kan röra sig i  
samtliga lastfiler  
qfast=q2dd;
```

```
i=1;  
for i=1:6; %Totalt sex olika lastkombinationer  
Qmatris=qflytt*[0 0 1; 0 0 1; 0 1 0; 0 1 0; 1 0 0; 1 0 0]; %Positioner den  
rörliga lasten befinner sig på
```

```
W1=Qmatris(i,1); %Rörlig last, W1 för lastfil 1, W2 för  
lastfil 2, W3 för lastfil 3  
W2=Qmatris(i,2);  
W3=Qmatris(i,3);
```

```
if i==1;  
P1=Q3dd/2;  
P2=Q3dd/2;  
P3=Q2dd/2;  
P4=Q2dd/2;  
P5=Q1dd/2;  
P6=Q1dd/2;
```

```
elseif i==2;  
P1=Q2dd/2;  
P2=Q2dd/2;  
P3=Q3dd/2;  
P4=Q3dd/2;  
P5=Q1dd/2;  
P6=Q1dd/2;
```

```
elseif i==3;  
P1=Q3dd/2;  
P2=Q3dd/2;  
P3=Q1dd/2;  
P4=Q1dd/2;  
P5=Q2dd/2;  
P6=Q2dd/2;
```

```

elseif i==4;
P1=Q2dd/2;
P2=Q2dd/2;
P3=Q1dd/2;
P4=Q1dd/2;
P5=Q3dd/2;
P6=Q3dd/2;

elseif i==5
P1=Q1dd/2;
P2=Q1dd/2;
P3=Q2dd/2;
P4=Q2dd/2;
P5=Q3dd/2;
P6=Q3dd/2;

else i==6;
P1=Q1dd/2;
P2=Q1dd/2;
P3=Q3dd/2;
P4=Q3dd/2;
P5=Q2dd/2;
P6=Q2dd/2;

end

RA=(G*L^2/2+qfast*L^2/2+W1*Lfil^2/2+W1*Lfil^2/2+W2*Lfil*3/2*Lfil+W3*Lfil*5/2*L
fil+P1*(L-Lrest-0.5)+P2*(L-Lrest-2.5)+P3*(L-Lrest-3.5)+P4*(L-Lrest-5.5)+P5*(L-
Lrest-6.5)+P6*(L-Lrest-8.5))/L; %Momentjämvikt ger reaktionskraften från ena
lagret
RB=P1+P2+P3+P4+P5+P6+G*L+qfast*L+W1*Lfil+W2*Lfil+W3*Lfil-RA; %Kraftjämvikt ger
reaktionskraft för det andra lagret

For1=RA/(RA+RB); %Fördelning av
kraft i ena lagret
For2=1-For1; %Fördelning av
kraft i det andra lagret

Formatris1(i,1)=For1; %Samlar
kraftfördelningar för samtliga lastkombinationer
Formatris1(i,2)=For2;

i=i+1;
end
Formatris2(lastfall,1)=max(max(Formatris1)); %Plockar ut
maximal kraftfördelning på ett lager i lastfall 1 och 2
Formatris3(lastfall,1)=min(min(Formatris1)); %Plockar ut
minimal kraftfördelning på ett lager i lastfall 1 och 2
lastfall=lastfall+1;
end

%=====
%Multipliserar procentuell fördelning med reaktionskraft
%=====

```

```

Maximalstodreaktion=max([Formatris2(1,1)*MaxReaktion1,
Formatris2(2,1)*MaxReaktion2])/1000;      %Multiplicerar kraftfördelningarna
för lastfall 1 och 2 med respektive reaktionskraft och plockar ut det största
värdet i kN
Minimalstodreaktion=min([Formatris3(1,1)*MinReaktion1,
Formatris3(2,1)*MinReaktion2])/1000;      %Multiplicerar kraftfördelningarna
för lastfall 1 och 2 med respektive reaktionskraft och plockar ut det minsta
värdet i kN
MinReakiMaxReak=min([Formatris3(1,1)*MinReaktionMax1,
Formatris3(2,1)*MinReaktionMax2])/1000;   %Bestämmer minsta reaktionskraft i
samma lager som har störst reaktionskraft i kN

disp('=====')
disp('Resultat')
disp('=====')
disp(['Största reaktionskraft i ett lager ', num2str(Maximalstodreaktion), '
kN'])
disp(['Minsta reaktionskraft i ett lager ', num2str(Minimalstodreaktion), '
kN'])
disp(['Minsta reaktionskraft i samma lager med störst reaktionskraft ',
num2str(MinReakiMaxReak), ' kN'])

```

=====

Resultat

=====

Största reaktionskraft i ett lager 2174.7261 kN

Minsta reaktionskraft i ett lager 213.8165 kN

Minsta reaktionskraft i samma lager med störst reaktionskraft 673.1987 kN

Bilaga 9: Beräkning av erforderlig upphöjning


```

%=====
%
% Beräkning av maximal nedböjning för en platta i trä,
% enbart utsatt för egentyingden som last. Således
% talar maximal nedböjning i varje fack om hur mycket
% plattan bör höjas för att hålla nollnivån intakt.
% för en "balk" med 5 stöd.
%
% Indata hämtad från bilaga 5
%
%=====

clear all %Rensar tidigare variabler
close all %Stänger alla figurer
clc       %Rensar kommandofönster

beff=1.097; %[m] tvärsnittets effektiva bredd
h=0.81;     %[m] tvärsnittets höjd

L1=18;      %[m] längd fack 1
L2=19;      %[m] längd fack 2
L3=19;      %[m] längd fack 3
L4=18;      %[m] längd fack 4

Emean=14.7e9; %[Pa] E-modul
I=(beff*h^3)/12; %[m^4] yttröghetsmoment

Gegen=9.192*10^3; %[N/m] Egentyngd, permanent last

kdef=0.8;      %Omräkningsfaktor-kryptal (klimatklass 2, limträ)

%=====
%LASTER
%=====
G=Gegen; %G=egentyngd, tilldelar G värdet på konstruktionens egenstyngd
Q1=0;
Q2=0;
Q3=0;
Q4=0;

P1=0;
P2=0;
P3=0;
P4=0;
P5=0;
P6=0;
P7=0;
P8=0;
P9=0;

%=====
%BERÄKNING AV NEDBÖJNING
%=====
E=Emean;

```

```

M2=[(L1+L2)/(3*E*I) L2/(6*E*I) 0 %Ekvationer för stödmomenten
-L2/(6*E*I) -(L2+L3)/(3*E*I) -L3/(6*E*I)
0 L3/(6*E*I) (L3+L4)/(3*E*I)] ;

Msvar2=[(-P2*L1^2)/(16*E*I)+(-P4*L2^2)/(16*E*I)+(-G*(L1^3+L2^3))/(24*E*I)+(-
Q1*L1^3)/(24*E*I)+(-Q2*L2^3)/(24*E*I);%Svarsmatris till ekvationerna för
stödmomenten
(P4*L2^2)/(16*E*I)+(P6*L3^2)/(16*E*I)+(G*(L2^3+L3^3))/(24*E*I)+(Q2*L2^3)/(24*E
*I)+(Q3*L3^3)/(24*E*I);
(-P6*L3^2)/(16*E*I)+(-P8*L4^2)/(16*E*I)+(-G*(L3^3+L4^3))/(24*E*I)+(-
Q3*L3^3)/(24*E*I)+(-Q4*L4^3)/(24*E*I);];

MSTOD=M2\Msvar2 ; %Löser ekvationerna och skapar svarsmatrisen MSTOD som
innehåller alla stödmoment
MB=MSTOD(1,1); %Tilldelar variabel MB värdet för momentet i stöd B
MC=MSTOD(2,1); %Tilldelar variabel MC värdet för momentet i stöd C
MD=MSTOD(3,1); %Tilldelar variabel MD värdet för momentet i stöd D

%Följande ekvationer löser ut stödreaktionerna
RA=MB/L1+P1+(P2/2)+(Q1*L1)/2+(G*L1)/2;
RBV=-MB/L1+P2/2+P3/2+(Q1*L1)/2+(G*L1)/2;
RBH=-MB/L2+MC/L2+P4/2+P3/2+(Q2*L2)/2+(G*L2)/2;
RCV=MB/L2-MC/L2+P4/2+P5/2+(Q2*L2)/2+(G*L2)/2;
RCH=-MC/L3+MD/L3+P6/2+P5/2+(Q3*L3)/2+(G*L3)/2;
RDV=MC/L3-MD/L3+P6/2+P7/2+(Q3*L3)/2+(G*L3)/2;
RDH=-MD/L4+P8/2+P7/2+(Q4*L4)/2+(G*L4)/2;
RE=MD/L4+P8/2+P9+(Q4*L4)/2+(G*L4)/2;

RA=RA; %Skapar variabel RA och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd A
RB=RBV+RBH; %Skapar variabel RB och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd B
RC=RCV+RCH; %Skapar variabel RC och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd C
RD=RDV+RDH; %Skapar variabel RD och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd D
RE=RE; %Skapar variabel RE och tilldelar den värdet på stödreaktionen i
stöd E

%=====
%Beräknar momentan nedböjningutmed balken genom att
%snitta och använda elementarfall
%=====

%fack1
%0<x<L1/2
x11=linspace(0,L1/2,1000);
a=x11;
b=L1-a;
A11=((a*L1^2)/(48*E*I)).*(3-((4*a.^2)/L1^2));
Wx11=MB*((a*L1)/(6*E*I)).*(1-(a.^2)/L1^2))+P2*A11+Q1*((a*L1^3)/(24*E*I)).*(1-
(2*a.^2)/L1^2+a.^3/L1^3));

%fack 1

```

```

%L1/2<x<L1
x12=linspace(L1/2,L1,1000);
a=x12;
b=L1-a;
A12=((b)*L1^2)/(48*E*I)).*(3-((4*(b).^2)/L1^2));
Wx12=(MB*(a*L1)/(6*E*I)).*(1-(a.^2)/L1^2))+P2*A12+Q1*((a*L1^3)/(24*E*I)).*(1-
(2*a.^2)/L1^2+a.^3/L1^3));

%fack 2
%L1<x<L2/2
x21=linspace(L1,L1+L2/2,1000);
a=x21-L1;
b=L2-a;
A21=((a)*L2^2)/(48*E*I)).*(3-((4*a.^2)/L2^2));
Wx21=MB*(((b)*L2)/(6*E*I)).*(1-((b).^2)/L2^2))+MC*((a*L2)/(6*E*I)).*(1-
(a.^2)/L2^2))+P4*A21+Q2*((a*L2^3)/(24*E*I)).*(1-(2*a.^2)/L2^2+a.^3/L2^3));

%fack 2
%L2/2<x<L2
x22=linspace(L1+L2/2,L1+L2,1000);
a=x22-L1;
b=L2-a;
A22=((b)*L2^2)/(48*E*I)).*(3-((4*(b).^2)/L2^2));
Wx22=MB*(((b)*L2)/(6*E*I)).*(1-((b).^2)/L2^2))+MC*((a*L2)/(6*E*I)).*(1-
(a.^2)/L2^2))+P4*A22+Q2*((a*L2^3)/(24*E*I)).*(1-(2*a.^2)/L2^2+a.^3/L2^3));

%fack 3
%L2<x<L3/2
x31=linspace(L1+L2,L1+L2+L3/2,1000);
a=x31-L1-L2;
b=L3-a;
A31=((a)*L3^2)/(48*E*I)).*(3-((4*a.^2)/L3^2));
Wx31=MC*(((b)*L3)/(6*E*I)).*(1-((b).^2)/L3^2))+MD*((a*L3)/(6*E*I)).*(1-
(a.^2)/L3^2))+P6*A31+Q3*((a*L3^3)/(24*E*I)).*(1-(2*a.^2)/L3^2+a.^3/L3^3));

%fack 3
%L3/2<x<L3
x32=linspace(L1+L2+L3/2,L1+L2+L3,1000);
a=x32-L1-L2;
b=L3-a;
A32=((b)*L3^2)/(48*E*I)).*(3-((4*(b).^2)/L3^2));
Wx32=MC*(((b)*L3)/(6*E*I)).*(1-((b).^2)/L3^2))+MD*((a*L3)/(6*E*I)).*(1-
(a.^2)/L3^2))+P6*A32+Q3*((a*L3^3)/(24*E*I)).*(1-(2*a.^2)/L3^2+a.^3/L3^3));

%fack 4
%L3<x<L4/2
x41=linspace(L1+L2+L3,L1+L2+L3+L4/2,1000);
a=x41-L1-L2-L3;
b=L4-a;
A41=((a)*L4^2)/(48*E*I)).*(3-((4*a.^2)/L4^2));
Wx41=MD*(((b)*L4)/(6*E*I)).*(1-(b.^2)/L4^2))+P8*A41+Q4*((a*L4^3)/(24*E*I)).*(1-
(2*a.^2)/L4^2+a.^3/L4^3));

%fack 4
%L4/2<x<L4
x42=linspace(L1+L2+L3+L4/2,L1+L2+L3+L4,1000);

```

```

a=x42-L1-L2-L3;
b=L4-a;
A42=((b)*L4^2)/(48*E*I)).*(3-((4*(b).^2)/L4^2));
Wx42=MD*(((b)*L4)/(6*E*I)).*(1-
((b).^2)/L4^2))+P8*A42+Q4*((a*L4^3)/(24*E*I)).*(1-
((2*a.^2)/(L4^2))+(a.^3/L4^3));

%=====
%Plockar ut maximal nedböjning för varje fack och
%multipliserar effekten av krypning, således talar
%nedböjningen om hur mycket mittpunkten i varje spann
%bör upphöjas.
%=====

Wxmaxfack1=(max(max(abs(Wx11)),max(abs(Wx12))))*(1+kdef);    %Fack 1
Wxmaxfack2=(max(max(abs(Wx21)),max(abs(Wx22))))*(1+kdef);    %Fack 2
Wxmaxfack3=(max(max(abs(Wx31)),max(abs(Wx32))))*(1+kdef);    %Fack 3
Wxmaxfack4=(max(max(abs(Wx41)),max(abs(Wx42))))*(1+kdef);    %Fack 4

disp('=====')
disp('Resultat')
disp('=====')
disp(['Nedböjning i fack 1 : ',num2str(Wxmaxfack1),' m'])
disp(['Nedböjning i fack 2 : ',num2str(Wxmaxfack2),' m'])
disp(['Nedböjning i fack 3 : ',num2str(Wxmaxfack3),' m'])
disp(['Nedböjning i fack 4 : ',num2str(Wxmaxfack4),' m'])

```

=====

Resultat

=====

Nedböjning i fack 1 :0.017286 m

Nedböjning i fack 2 :0.032988 m

Nedböjning i fack 3 :0.032988 m

Nedböjning i fack 4 :0.017286 m