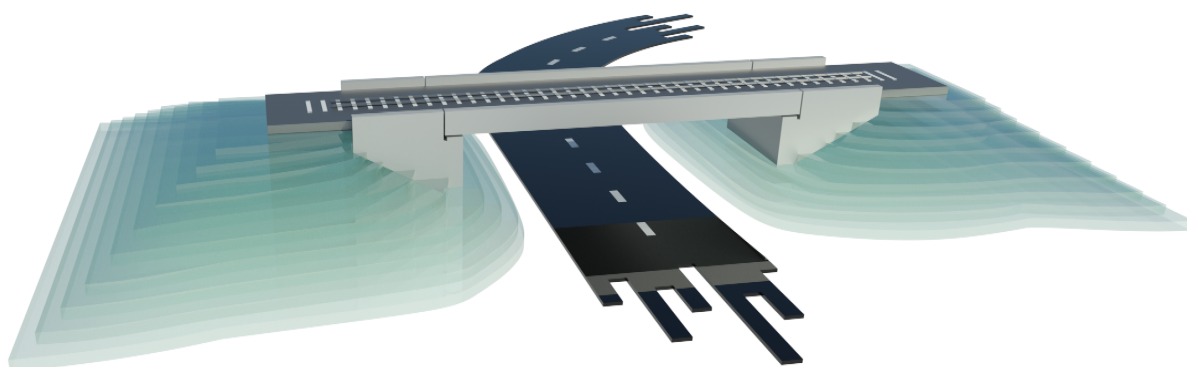




CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



T(r)ågbro på Roslagsbanan

Förstudie och preliminär dimensionering av järnvägsbro över Ullna Kvarnväg

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik, avdelningen för konstruktionsteknik

CHRISTOFFER HÄRNBORG

JENS MILESSON

GUSTAV NILSSON

MARCUS SVÄRD

LITONG ZHENG

RASMUS ÖHMAN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad

Avdelningen för konstruktionsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Kandidatarbete ACEX10-19-50

Göteborg, Sverige 2019

T(r)ågbro på Roslagsbanan

Förstudie och preliminär dimensionering av järnvägsbro över Ullna Kvarnväg

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik, avdelningen för konstruktionsteknik

CHRISTOFFER HÄRNBORG

JENS MILESSON

GUSTAV NILSSON

MARCUS SVÄRD

LITONG ZHENG

RASMUS ÖHMAN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad

Avdelningen för konstruktionsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2019

T(r)ågbro på Roslagsbanan
Förstudie och preliminär dimensionering av järnvägsbro över Ullna Kvarnväg
CHRISTOFFER HÄRNBORG
JENS MILESSON
GUSTAV NILSSON
MARCUS SVÄRD
LITONG ZHENG
RASMUS ÖHMAN

© CHRISTOFFER HÄRNBORG, JENS MILESSON, GUSTAV NILSSON, MARCUS SVÄRD,
LITONG ZHENG, RASMUS ÖHMAN, 2019

Kandidatarbete ACEX10-19-50
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad
Avdelningen för konstruktionsteknik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: +46 (0)31-772 1000

Kolofon:

Kandidatarbetet utformades med $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$ och bibl_{at}ex och redigerades på www.overleaf.com.
Typsnittet är Times New Roman. Figurer och illustrationer har skapats i Autodesk Revit och Adobe
Illustrator CC.

Omslag:

Illustration av konstruktionen, Författarnas egna bild

Chalmers Reproservice
Göteborg, Sverige 2019

T(r)ågbro på Roslagsbanan

Förstudie och preliminär dimensionering av järnvägsbro över Ullna Kvarnväg

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik, avdelningen för konstruktionsteknik

CHRISTOFFER HÄRNBORG

JENS MILESSON

GUSTAV NILSSON

MARCUS SVÄRD

LITONG ZHENG

RASMUS ÖHMAN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Stockholmsregionen växer och därför ska Roslagsbanan rustas upp och byggas ut. På Österskärslinjen mellan Hägernäs och Rydbo ska en järnvägsbro för kollektivtrafiken byggas. Denna rapport syftar till att ta fram ett brokoncept för platsen och preliminärdimensionera denna bro.

För att kunna göra kvalitativa bedömningar för ett fungerande brokoncept grundar sig rapporten i en litteraturstudie där fakta om brotyper, material och deras egenskaper, produktionsmetoder, förvaltningsrelaterade ämnen samt tekniska kravspecifikationer från SSL och geotekniska förhållanden presenteras. Utifrån denna görs sedan ett urval av möjliga brokoncept utifrån de gällande kraven och förhållandena, som sedan granskas i en viktningprocess. I viktningen ställs brokoncepten mot en mängd kriterier vilka motiverar det slutgiltiga konceptets utformning.

Det slutgiltiga konceptet blev en slakarmerad trågbalkbro i ett spann på 19,86 m, med förlängda landfästen. Den begränsade konstruktionshöjden föranledde ett koncept med bärande balkar över brobanan för att uppfylla platsens kravspecifikationer och landfästernas utbyggnad möjliggör ett slakarmerat tvärsnitt. Då gruppen även anser att det visuella och innovativa inte är de viktigaste faktorerna för projektet, utan att påverka omgivningen så lite som möjligt, är konceptet det mest tillämpbara.

I rapportens andra del preliminärdimensioneras bron bärande element för att uppnå kravställd bärförmåga. Lastkombinationer är framtagna, enligt regler i Eurokod och SSL:s ändringar av TRVK Bro 11, för att kunna utröna vilka de värsta lastfallen för bron är. Utifrån dessa beräknas sedan moment- och tvärkraftsfördelning som ligger till grund för bron vidare dimensionering av armeringsmängder, sprickbredd och nedböjning.

Utifrån att projektet är en förenklad version av en broprojektering, både beräknings- och projekteringsmässigt, ska det ses som ett förstadium till att ta fram ett möjligt brokoncept och inte en direkt applicerbar idé. Idag är det ett koncept som både möter beställarens krav och är dimensionerad med tillräcklig hållfasthet för att klara de förväntade krafterna som kommer verka på den men med fortsatt projektering och mer avancerade beräkningsmodeller skulle den kunna utgöra ett verkligt inslag på Roslagsbanan.

Nyckelord: Bro, Kandidatarbete, Roslagsbanan, Järnvägsbro, Chalmers

Railway bridge at Roslagsbanan

Pre-study and preliminary dimensioning of a railway bridge over Ullna Kvarnväg

Bachelor's thesis in Civil Engineering, department of Structural Engineering

CHRISTOFFER HÄRNBORG

JENS MILESSON

GUSTAV NILSSON

MARCUS SVÄRD

LITONG ZHENG

RASMUS ÖHMAN

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Structural Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The Stockholm region is growing and therefore Roslagsbanan is to be restored and expanded. On Österskärmlinjen between Hägernäs and Rydbo, a railway bridge for public transport is to be built and this report aims to develop a bridge concept for the location and preliminarily design the said bridge.

To be able to make qualitative assessments for a functioning bridge concept, the report is based on a literature study in which facts about types of bridges, materials and their properties, production methods, management-related topics, technical requirements from SSL and geotechnical conditions are presented. From this, a selection is made of possible bridge concepts that are investigated in a weighting process. In the weighting, the bridge concepts are set against a variety of criteria which justifies the final concept.

The final concept became a slack reinforced trough bridge with a span of 19.86 m, with extended abutments. The limited design height resulted in a concept with load-bearing beams over the bridge deck in order to meet the site's specifications and the extension of the abutments enables a slack reinforced cross section. As the group doesn't *Då gruppen även anser att det visuella och innovativa inte är de viktigaste faktorerna för projektet, utan att påverka omgivningen så lite som möjligt är konceptet det mest tillämpbara.*

In the second part of the report, the bearing elements of the bridge are preliminarily designed to achieve the required load-bearing capacity. Load combinations are developed according to rules in Eurocode and SSL's changes to TRVK Bridge 11, in order to be able to determine which the worst load-cases of the bridge are. Based on these, moment- and cross-force distributions are calculated, which are the basis for the bridges further design when it comes to the amount of reinforcement, crack-width and deformation.

Based on the fact that the project is a simplified version of a bridge-design process, both computationally and in design terms, it should be seen as a preliminary stage in developing a possible bridge concept and not a directly applicable idea. Today it is a concept that meets the client's requirements and is calculated with sufficient solidity to withstand the expected forces that it will experience, but with continued design and more advanced calculation models, it could constitute a real feature of Roslagsbanan.

Keywords: Bridge, Bachelor thesis, Roslagsbanan, Chalmers

INNEHÅLL

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Innehåll	iii
Förord	ix
1 Introduktion	1
1.1 Syfte	1
1.2 Problemställning	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Metod/Genomförande	2
2 Byggnadsmaterial	3
2.1 Trä	3
2.2 Stål	3
2.2.1 Egenskaper	3
2.2.2 Beständighet	3
2.3 Armerad betong	4
2.3.1 Egenskaper	4
2.3.2 Beständighet	4
2.4 FRP - Fiber Reinforced Polymer	4
3 Brotyper	5
3.1 Balkbro	5
3.2 Hängbro	5
3.3 Snedkabelbro	5
3.4 Bågbro	6
3.5 Valvbro	6
3.6 Plattbro	7
3.7 Balkrambro	7
3.8 Fackverksbro	7
4 Beställarkrav och förutsättningar	8
4.1 Geografiska och topografiska förutsättningar	8
4.2 Geotekniska förutsättningar	8
4.3 Beställarens krav	8
5 Produktion	9
5.1 Produktionsmetoder	9
5.1.1 Platsgjutning	9
5.1.2 Prefabricering	9
5.2 Temporära byggnader	10
CHALMERS, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad, Kandidatarbete, ACEX10-19-50	iii

6	Förvaltning och underhåll	11
6.1	Inspektionsmetod	11
6.2	Underhåll	11
6.3	Kritiska punkter och utformningsbehov för tillgänglighet av inspektion	11
6.4	Framtida höjning av trafiklast	12
7	Risikanalys	13
7.1	Samhälleliga risker	13
7.2	Bidragande risker för ökad miljöpåverkan	13
7.3	Risker under produktionstiden	14
7.4	Risker för utförandet av inspektioner och underhåll	15
7.5	Olycksrisker	15
8	Urvalsprocessen	16
8.1	Urval 1	16
8.2	Konceptbeskrivning	16
8.2.1	Koncept 1 – Fackverksbro i stål med betongbana	16
8.2.2	Koncept 2 - Bågbro med bågar i betong och stålvajrar	17
8.2.3	Koncept 3 - Trågbalkbro i betong	19
8.2.4	Koncept 4 - Samverkansbro	20
8.3	Urval 2	21
9	Valt koncept	23
9.1	Produktionsplan	23
9.2	Utformning	23
9.3	Landfästen	24
9.3.1	Grundläggning	25
9.4	Brodetaljer	25
9.4.1	Lager	25
9.4.2	Övergångskonstruktion	26
9.4.3	Räcken	26
9.4.4	Avvattningssystem	26
10	Preliminär dimensionering av konceptet	28
10.1	Globala beräkningsmodeller	28
10.2	Lastkombinationer	28
10.2.1	Brottgränstillstånd	29
10.2.2	Brukgränstillstånd	29
10.2.3	Sammaställning lastkombination	29
10.2.4	Dimensionerande laster i längsled	29
10.3	Dimensionering av platta och balkar	31
10.3.1	Tryck- och dragarmering i tvärlid	31
10.3.2	Kritiskt moment i plattan	32
10.3.3	Tvärkraftkapacitet i plattan	32
10.3.4	Kontroll av betong- och stålpåkänning i bron	32
10.3.5	Nedböjning och sprickbredd för bron	32
10.3.6	Tryck- och dragarmering i balken	33
10.3.7	Tvärkraftskapacitet i balken	33

11 Diskussion	35
11.1 Förstudie och analys av källmaterial	35
11.2 Urvalsprocess och det valda konceptet	35
11.3 Dimensioneringsprocess	36
11.4 Återstående dimensionering	37
12 Slutsats	38
Referenser	39
Bilaga A Projektbeskrivning A	41
Bilaga B Projektbeskrivning B	43
Bilaga C Horisontella laster	45
Bilaga D Spännteknik TOBE FR4 Potlager	47
Bilaga E Dimensionering: Ändstöd	60
Bilaga F Tvärkraft: Ändstöd	66
Bilaga G Elementarfall fritt upplagd balk	69
Bilaga H Laster	71
Bilaga I Lastkombinationer	73
I.0.1 Brottgränstillstånd	73
I.0.2 Brukgränstillstånd	73
Bilaga J Illustration framsida	75
Bilaga K Illustration valt koncept	77
Bilaga L Jordlagerföljd för platsen enligt Projektbeskrivning B	78
Bilaga M Preliminär dimensionering Platta MATLAB	81
Bilaga N LASTFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SL:s SPÅRBÄRANDE BYGGNADSVÄRK	96
Bilaga O Dimensionerande Lastfall Balken MATLAB	113
Bilaga P Dimensionerande Krafter Balken MATLAB	129
Bilaga Q Preliminär dimensionering Balk MATLAB	141
Bilaga R Verkningsätt	149
Bilaga S Preliminär dimensionering Brobana	149

Figurer

1.1	Geografisk position för bron (Google, utan år-a).	1
1.2	Översiktsbild av platsen (Google, utan år-b).	1
3.1	Illustration av en balkbro. Författarnas egna bild.	5
3.2	Illustration av en hängbro. Författarnas egna bild.	5
3.3	Illustration av en snedkabelbro. Författarnas egna bild.	6
3.4	Illustration av en bågbro. Författarnas egna bild.	6
3.5	Illustration av en valvbro. Författarnas egna bild.	6
3.6	Illustration av en plattbro. Författarnas egna bild.	7
3.7	Illustration av en balkrambro. Författarnas egna bild.	7
3.8	Illustration av en fackverksbro. Författarnas egna bild.	7
7.1	Energiinnehåll i olika konstruktionsmaterial enligt (Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013). Författarnas egna bild.	13
8.1	Illustration av konceptet fackverksbro. Författarnas egna bild.	16
8.2	Illustration av konceptet bågbro. Författarnas egna bild.	18
8.3	Illustration av konceptet trågbro. Författarnas egna bild.	19
8.4	Illustration av konceptet samverkansbro Författarnas egna bild.	20
9.1	Illustration av valt koncept. Författarnas egna bild.	23
9.2	Valda konstruktionens mått längsled. Författarnas egna bild.	24
9.3	Valda konstruktionens tvärsnitt - brobana. Författarnas egna bild.	24
9.4	Illustration av landfäste med tillhörande lager. Författarnas egna bild.	25
9.5	Illustration av lagerkonfiguration. Författarnas egna bild.	26
9.6	Illustration av lutning 1:50. Författarnas egna bild.	27
10.1	Illustration av beräkningsmodell för balk och platta. Författarnas egna bild.	28
10.2	Momentkraftsfördelning i balkarna för det minst gynnsamma fallet	30
10.3	Tvärkraftsfördelning i balkarna för det minst gynnsamma fallet	30
10.4	Momentkraftsfördelning i plattan för det minst gynnsamma fallet	31
10.5	Tvärkraftsfördelning i plattan för det minst gynnsamma fallet	31
10.6	Slutgiltigt tvärsnitt för plattan, per breddmeter. Författarnas egna bild.	33
10.7	Slutgiltigt tvärsnitt för balken. Författarnas egna bild.	34
10.8	Inläggning byglar för balken. Författarnas egna bild.	34

Tabeller

8.1	Utvärdering och rankning av risker för vidare utvärdering i urvalsprocess två.	17
8.2	Utvärdering och rankning av risker för vidare utvärdering i urvalsprocess två.	19
8.3	Utvärdering och rankning av risker för vidare utvärdering i urvalsprocess två.	20
8.4	Utvärdering och rankning av risker för vidare utvärdering i urvalsprocess två.	21
8.5	Utvärderingsmatris	22
8.6	Viktning av kriterierna för brokoncepten	22
10.1	Dimensionerande laster för olika lastkombinationer för balken	29
10.2	Dimensionerande krafter för balken	30
10.3	Dimensionerande laster för olika lastkombinationer för plattan	30
10.4	Dimensionerande krafter för plattan	31
10.5	Beräknad kapacitet för plattan	32

10.6 Beräknad kapacitet för balken	34
--	----

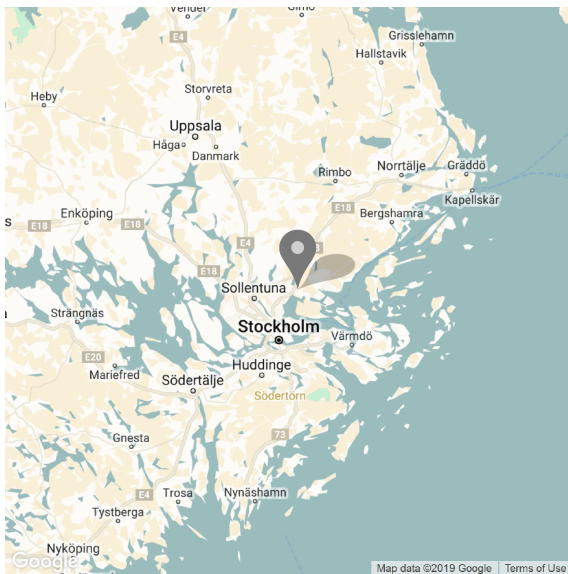
FÖRORD

I följande rapport framförs ett kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik, genomfört av sex studerande civilingenjörsstudenter vid Chalmers tekniska högskola 2019. Rapporten syftar till att göra en förstudie och en preliminär dimensionering av en järnvägsbro som ingår i Roslagsbanan. Kunskaper som föreligger rapporten grundas i föreläsningar, självstudier samt stöttning av handledare.

De förkunskaper vi haft har fördjupats under kursens gång genom föreläsningar av kompetenta lärare och professionella yrkesverksamma inom anläggningsbranschen, vilka har stöttat och bidragit med inspiration under projektets gång. Till de personer som tagit sig tid att föreläsa samt dela sin kunskap vill vi rikta ett stort tack. Vi vill även tacka våra två handledare Mario Plos docent/avdelningschef på avdelningen konstruktionsteknik vid Chalmers tekniska högskola och Staffan Lindén gruppchef inom brokonstruktion vid COWI AB. Slutligen vill vi rikta ett varmt tack till Joosef Leppänen universitetslektor på avdelningen konstruktionsteknik vid Chalmers tekniska högskola för hans engagemang och välvilja att hjälpa och stötta utöver sina egentliga åtaganden i kursen.

1 Introduktion

I och med att kommunerna kring norra Stockholm expanderar behöver infrastrukturen byggas ut för att öka kapaciteten och bli mindre utsatt vid driftstörningar. Därför kommer Roslagsbanan att byggas ut med fler stationer och dubbla spår på vissa sträckor samt förses med planskilda korsningar för ökad säkerhet (Region Stockholm, 2018). För att öka säkerheten på Österskärlinjen mellan Hägernäs och Rydbo station vid den icke planskilda järnvägs-korsningen över Ullna Kvarnväg kommer en järnvägsbro att konstrueras för att leda tågtrafiken över biltrafiken (Region Stockholm, 2018). Denna korsning kan ses som extra riskfylld då detta är infart till NCC Ballast Rydbokrossen som innebär att korsningen är trafikerad av tunga lastbilar.



Figur 1.1: Geografisk position för bron (Google, utan år-a).



Figur 1.2: Översiktsbild av platsen (Google, utan år-b).

Under åren 2014 – 2016 skedde det 29 allvarliga olyckor i anslutning till obevakade plankorsningar. I tillskott till dessa olyckor skedde under 2016 nio olyckor vid bevakade korsningar, där det alltså finns skydd mot vägen tillsammans med varningsbelysning. En åtgärd för att motverka dessa olyckor är att angöra planskilda korsningar (Transportstyrelsen, 2017).

1.1 Syfte

Uppgiften består av att utföra en förstudie samt en preliminär dimensionering av ett framtaget brokoncept för järnvägs-korsningen över Ullna Kvarnväg.

1.2 Problemställning

Olika brokonstruktioner ska tas fram med avsikt att uppfylla den tekniska beskrivningen och med förmågan att kunna konstrueras på den aktuella platsen. När det mest lämpliga brokoncept valts ska tvärsnittet utformas för att kunna uppta pålagda laster tillsammans med egenvikten av brons delar, uppfylla krav om fri brohöjd, fri brobredd, maximala deformationer och kunna svara mot den aktuella spännvidden.

1.3 Avgränsningar

För att projektet inte ska bli för omfattande och hållas inom tidsramen avgränsas arbetet från vissa områden. Eftersom syftet med arbetet är att utföra en förstudie och preliminär dimensionering av brokonstruktion kommer ingen större beaktning tas till omgivningen, exempelvis hur vägar till och från konstruktionsplatsen är utformade eller hur logistikhantering kommer att se ut. Gällande grundläggning kommer enbart en motiverad grundläggningsmetod att föreslås utifrån geologiska förutsättningar, alltså kommer inga dimensioneringsberäkningar utföras av den tänkta grundläggningen. Geotekniska deformationer såsom sättningar, till exempel på grund av grundvattensänkning ses som avgränsade från projektet. Det kommer inte heller att göras några ingående ekonomiska beräkningar eftersom syftet främst är att dimensionera brokonstruktionen, samma resonemang gäller djupare analys av miljöpåverkan. Laster på grund av temperaturförändringar och utmattning tas ej i beaktning vid dimensioneringen av överbyggnaden.

1.4 Metod/Genomförande

Arbetet delas in i två delar där den första delen består av en utvärdering av olika brotyper och dess projekteringsprocess som ska utföras tillsammans med en analys av platsens förutsättningar. Utifrån förutsättningarna ska olika brokoncept som kan vara lämpliga för platsen tas fram för att sedan granskas efter utvalda utvärderingskriterier. En introduktion till aktuella byggnadsmaterial och olika brotyper kommer även att ges. Efter genomförd utvärdering kommer det, enligt gruppen, bästa brokonceptet att väljas och tas med till den andra delen av arbetet där en preliminär dimensionering ska utföras. I den andra delen, den preliminära dimensioneringen av brokonceptet, ska en beskrivning av bärande system och randvillkor ges för att sedan studeras tillsammans för olika lastfall. Sedan kan snittkrafter utifrån laster och randvillkor beräknas och användas vid konstruktionsberäkningar. Om det blir nödvändigt kan justeringar av det tänkta konceptet genomföras för att uppfylla framtagna kriterier och rimlighet. Handberäkningar tillsammans med beräkningar i MATLAB har genomförts för att dimensionera brokonstruktionen. Autodesk Revit och Adobe Illustrator CC har används för att skapa illustrationer.

2 Byggnadsmaterial

Generellt används tre konstruktionsmaterial vid anläggningsprojekt, trä, stål och armerad betong. Fiberkompositmaterial, där plast armeras med kolfiber och glasfiber, har idag blivit vanligare men detta material är fortfarande dyrt och väljs ofta bort av detta skäl (Teknikens-Värld, 2015). Inverkan av belastning ger upphov till att materialet deformeras, böjs, töjs eller vrider sig. Fenomenen kan vara en begränsning för användandet av materialet, vilket ger indikationer på användningsområde för det specifika materialet. Deformationer sker inte enbart då materialet belastas av yttre laster, det sker även genom utvidgning, sammandragning och volymändring. Orsaker till deformationer där geometrin ändras utan yttre belastning sker oftast i form av temperaturskillnader och skillnad i fukthalt (Burström, 2007).

2.1 Trä

Trä är ett förnyelsebart konstruktionsmaterial, vilket gör att det som byggnadsmaterial särskiljer sig från andra då det bidrar till ett mer hållbart byggande. Trä är ett hållfast material med hänsyn till dess låga vikt och återfinns i en mängd olika konstruktioner och miljöer (Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013). Trots träets goda hållfasthetsegenskaper vägt mot egenvikten, kommer en träkonstruktion för den studerade bron inte vara ett alternativ då den inte svarar mot den tekniska livslängden (120 år).

2.2 Stål

Stål kan motstå stora dragkrafter vid små dimensioner, vilket är en positiv aspekt där platsen begränsar utformning. Att stor del av konstruktionen kan tillverkas i förväg möjliggör en kort byggtid och därmed en mindre störning av allmänheten (Stålbyggnadsinstitutet, 2016).

2.2.1 Egenskaper

Stål är en legering med flera olika ingående ämnen vilket gör att dess egenskaper varierar med vilka typer av ämnen som ingår och hur fördelningen av dessa ser ut. De vanligaste ingående ämnena förutom järn är kol, mangan, kisel, kväve, väte, svavel och fosfor. Det ämne som påverkar egenskaperna mest är kolhalten och med ökad kolhalt ökar materialets hårdhet- och hållfasthetsegenskaper. Nackdelen med detta är att stålet tappar seghet och svetsbarhet vilka är två väsentliga egenskaper som påverkar användningen och verkningssättet för bron. De andra ämnena påverkar bland annat beständigheten, svetsbarheten och seghetsegenskaper (Emrani m. fl., 2013).

2.2.2 Beständighet

Ett problem och en faktor som bör beaktas när konstruktionsmaterial väljs är korrosion. Konstruktionen kan skyddas genom att rostskydda den med en täckande färg eller genom förzinkning, det som då måste beaktas är att detta är moment som kommer behöva genomföras kontinuerligt för att skydda stålet under dess livstid. För att skydda konstruktionen mot korrosion kan även ett katodiskt skydd användas. Det katodiska skyddet kan åstadkommas genom strömbelastning eller med en offeranod i anslutning till föremålet som ska skyddas (Vägverket, 1994).

Mekanisk utmattning är ett fenomen som är karaktäristiskt för stål. Då stål utsätts för varierande laster under längre tid och således utsätts för dragpåkänning kan ytterst små sprickor framträda. När lastpåkänningen fortsätter kontinuerligt växer sprickan och leder efter tid till brott (Nationalencyklopedin, utan år). Stålelement och förband förbinds oftast med svetsar som också utgör en svag punkt då egenspanningar på grund av stora temperaturskillnader uppkommer i dessa punkter (Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2011).

2.3 Armerad betong

Betong är ett kompositmaterial som består av vatten, cement, ballast och oftast olika tillsatsmedel. De olika delarna innebär att betongens egenskaper varierar och kan justeras efter ändamål. Kombinationen armerad betong medför högre hållfasthetsegenskaper hos konstruktionen där armeringen följer samma resonemang och egenskaper som behandlas i avsnittet stål (Burström, 2007).

2.3.1 Egenskaper

Generellt har betong en mycket hög tryckhållfasthet medan dess draghållfasthet är avsevärt lägre (Burström, 2007). Kombinationen av armeringens goda draghållfasthet och betongens tryckhållfasthet gör att armerad betong blir ett material med goda egenskaper under tryck- och dragpåkänningar.

Krypning är ett deformationsfenomen som framträder då betongen utsätts för last över lång tid. Ett annat deformationsfenomen är krympning som är spänningsbetingande rörelser vilka beror på att fukthalten ändras. Den mest kritiska krympningen sker under den första uttorkningsprocessen och kan leda till svår sprickbildning som i ett senare skede kan medföra att föroreningar och klorider tränger in (Burström, 2007).

2.3.2 Beständighet

Designas ett armerat betongelement optimalt kommer dess beständighet att vara mycket god. Parametrar som påverkar betongens livslängd är angrepp från den omgivande miljön, som frostangrepp och kemiska reaktioner (Burström, 2007). Karbonatisering och kloridangrepp är två kemiska reaktioner som kan påverka betongtvärsnittets hållfasthet. Detta sker framför allt på grund av att armeringen korroderar i båda reaktionerna och förlorar över tid delar av sin hållfasthet (Pettersson & Hännestrand, 2017).

2.4 FRP - Fiber Reinforced Polymer

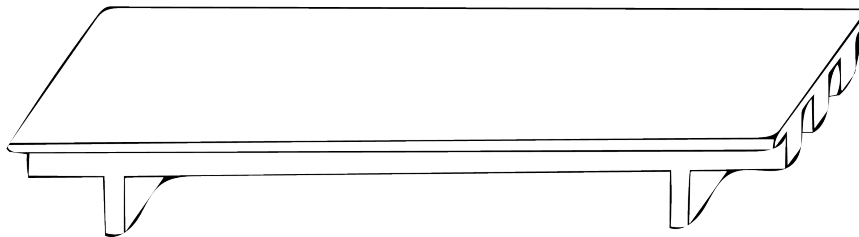
Fiberarmerad polymer är en kombination av plast och armerande fiber. Beroende på plast och typ av fiber kan olika egenskaper för det sammansatta materialet uppnås. Vanligen armeras plasten med glasfiber eller kolfiber (BPAB, 2018). FRP är ett beständigt material med mycket hög hållfasthet och kräver i princip inget underhållsarbete. Broar konstruerade av FRP kan färdigställas i fabriker och har mycket liten egen tyngd jämfört med konventionella broar vilket underlättar både transport och montage av bron (ELU, 2016).

3 Brotyper

Kapitlet behandlar några vanliga brotyper som nedan övergripande beskrivs. Brotyperna kommer sedan att utvärderas i urvalsprocessen, där ett antal brotyper utses för grundligare utvärdering. För att förstå de olika brotypernas bärande konstruktion beskrivs de vanligaste verkningssätten i bilaga R.

3.1 Balkbro

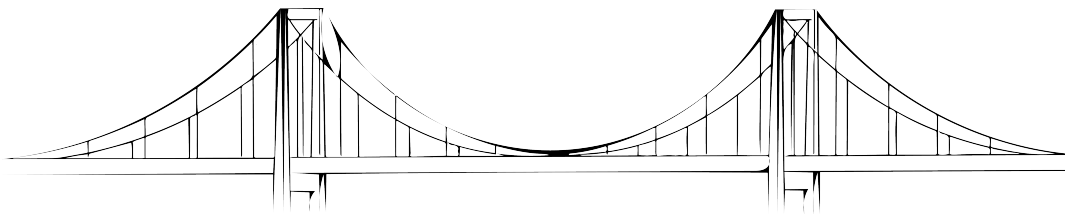
Balkbron nyttjar balkverkan där huvudbärverket med bärande balkar och tillhörande sekundärbärverk (placerade ovan eller mellan balkarna) bär lasten. Balkarna är oftast tillverkade av betong eller stål men träbalkar kan också förekomma. Balkbroar i slakarmerad betong har spännvidd upp till 25 meter och i spännarmerad betong upp till cirka 200 meter. Stålbalkbroar kan utföras med en spännvidd på upp till 80 meter och träbalkbroar upp till 30 meter. (Trafikverket, 2008).



Figur 3.1: Illustration av en balkbro. Författarnas egna bild.

3.2 Hängbro

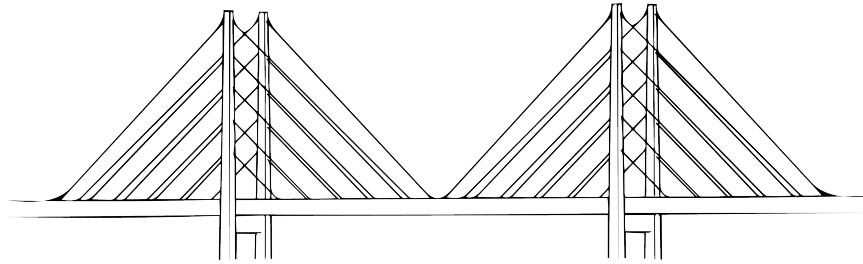
Hängbrons huvudbärverk består av ett eller flera pylontorn, huvudkablar, hängare och brobana. Hängbron är bäst lämpad för mycket långa spann, därmed blir hängbroar också mycket stora. Verkande laster bärs upp genom linverkan till pylontornen. Hängbroar har konstruerats med spännvidd upp till cirka 1200 meter (Trafikverket, 2008).



Figur 3.2: Illustration av en hängbro. Författarnas egna bild.

3.3 Snedkabelbro

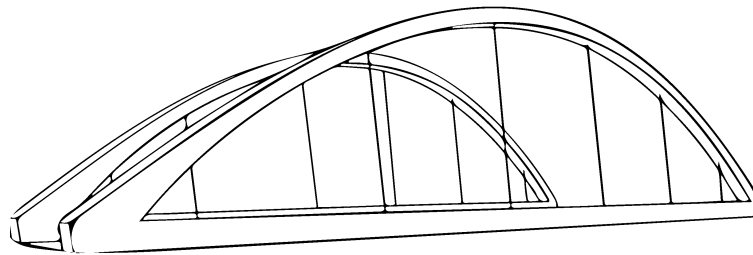
En modern snedkabelbro kan normalt utföras med en spännvidd mellan 100 meter och 410 meter. Huvudbärverket bär upp lasten genom samverkan mellan tre olika konstruktionskomponenter, pylontorn, avstyvningsbalkar och snedkablar (Trafikverket, 2008). Balkarna bär last genom balkverkan medan snedkablarna bär last genom linverkan diagonalt upp till pylonerna. Därmed är balkarna i tryck och kablarna i drag (Trafikverket, 2018a).



Figur 3.3: Illustration av en snedkabelbro. Författarnas egna bild.

3.4 Bågbro

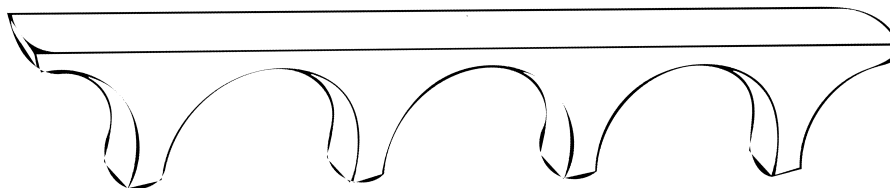
Bågbroar utformas i ett eller flera spann med underliggande eller överliggande bågar. Bågbroar utförda i flera spann finns med spännvidder upp till cirka 100 meter och bågbroar i ett spann finns utförda med upp till cirka 260 meters spännvidd. Bågarna utgör huvudbärverk och kan vara utformade i armerad betong, stål eller trä. Bågarnas form ger upphov till tryckkrafter, vilka bidrar till brons bärförmåga där bågverkan och stångverkan/linverkan i hängarna verkar tillsammans. (Trafikverket, 2008).



Figur 3.4: Illustration av en bågbro. Författarnas egna bild.

3.5 Valvbro

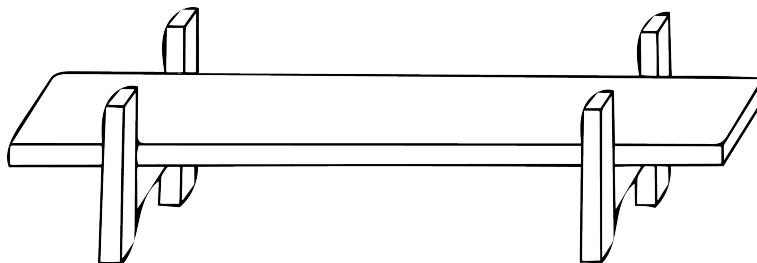
Valvbron är en av de äldsta brotyperna. En valvbro kan uppföras i ett eller flera spann, där valvbroar i betong kan uppföras med spännvidder upp till ungefär 30 meter. Valven utgör brons huvudbärverk där dess statiska verkningssätt nyttjar tryckspänningar och bär last genom bågverkan (Trafikverket, 2008).



Figur 3.5: Illustration av en valvbro. Författarnas egna bild.

3.6 Plattbro

Huvudbärverket är en betongplatta som bär genom balkverkan. Spännvidden för en plattbro kan variera mellan 10 - 35 meter beroende på utformning och en plattbro kan med fördel konstrueras om konstruktionshöjden är begränsad och spännvidden är relativt kort (Trafikverket, 2008).



Figur 3.6: Illustration av en plattbro. Författarnas egna bild.

3.7 Balkrambro

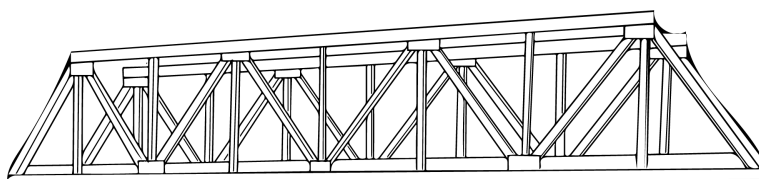
Balkrambro är en vidareutveckling av platt- och balkbro som likt föregångarna bär last genom balkverkan och är kontinuerlig med stöden. Huvudbärverket utgörs av en platta eller flera balkar vilka i tvärläng bindes samman av ett sekundärbärverk bestående av en brobaneplatta och eventuellt en eller flera tvärbalkar. En spännarmerad balkrambro i ett spann kan utföras med spännvidd upp till 50 meter (Trafikverket, 2008).



Figur 3.7: Illustration av en balkrambro. Författarnas egna bild.

3.8 Fackverksbro

Huvudbärverket för en fackverksbro utgörs av fackverksstänger som samverkar genom stångverkan. Dessa består av en underramsbalk samt diagonala och vertikala stänger. Balkarna och stängerna kan vara av stål eller trä som sammanfogas med skruv- eller svetsförband. Fackverksbroar i stål kan konstrueras med spännvidd upp till 100 meter och i trä med spännvidd på cirka 30 meter (Trafikverket, 2008).



Figur 3.8: Illustration av en fackverksbro. Författarnas egna bild.

4 Beställarkrav och förutsättningar

Nedan följer en beskrivning av områdets förutsättningar och vad som kommer att styra utformningen, detta i form av tekniska krav från beställaren samt geotekniska aspekter.

4.1 Geografiska och topografiska förutsättningar

Platsen för projektet är belägen cirka 1,5 mil norr om Stockholm, 1,5 km öster om Arninge och 6 km nordöst om Täby. I området runt byggnationen är terrängen ett mindre skogsparti och den befintliga järnvägssträckningen (Roslagsbanan) är dragen knappt 15 m sydost om brons placering. I direkt anslutning sydost ligger bergtäkten NCC Ballast Rybokrossen. Inom 100 m väster och nordost ligger vidsträckta åkermarker. Marken i brons sträckning, inklusive den uppbyggda banken, är lätt sluttande i sydväst–nordostlig riktning.

4.2 Geotekniska förutsättningar

Jordlagerföljden består i de övre skikten av lera och silt medan de undre lagren ner till berg består av friktionsjord, hela sektionen har en mäktighet på cirka 27 m. Grundvattennivån återfinns i plan-områdets östra del i marknivå, men enligt provtagningar ligger ett lager torrskorpelera ner till 1,8 m djup. Det antas därför att grundvattennivån ligger på 2 m djup vid beräkningar. En mer detaljerad jordlagerföljd finns i Bilaga L.

4.3 Beställarens krav

Enligt projektbeskrivning A, se Bilaga A ska bron dimensioneras för en teknisk livslängd på 120 år (L100). Bron ska dimensioneras med en frihöjd $\geq 4,7$ m från underliggande vägbana, för samverkansbro $\geq 5,7$ m. Maximal spännvidd mellan bankarna är 30,6 m, men om koncept med pelarstöd eller utbyggda landfästen kommer användas kan den maximala spännvidden mellan stöden bli något kortare, cirka 15-20 m. Med hänsyn till avrinning av dagvatten från överbyggnad kommer den konstrueras med en lutning i spårets färdriktning på 0,75% och tvärlutning 1:50. Den fria brobredden anpassas efter kraven för en enkelspårig bro (Banverket, 2007).

Grundplattorna kommer att grundläggas i en urschaktning på tjälsäkert djup på spetsburna pålar som slås till berg, då bergnivån endast ligger på ungefär 27 m djup. Järnvägsbanken byggs upp av gruskrossmaterial enligt projektbeskrivning A, se Bilaga A.

5 Produktion

De vanligaste produktionsmetoderna för brobyggnation kommer att behandlas på ett övergripande sätt för att ge en god grund till urvalsprocessen och en förståelse för de utmaningar som ställs för att säkerställa ett bra resultat, samtidigt som en god arbetsmiljö säkerställs.

5.1 Produktionsmetoder

För brokonstruktioner är det främst prefabricering och platsbyggnation som är aktuella produktionsmetoder. Vid platsbyggnation kan de i kapitel 2 presenterade materialen användas och en större flexibilitet erbjuds. Den vanligaste platsbyggnationsmetod som kommer studeras närmare är platsgjutning, vilket ofta används för att hantera och möjliggöra komplexa anläggningsprojekt. Vid prefabricering erbjuds standardiserade mått och utformningar vilket leder till korta byggtider i fält.

5.1.1 Platsgjutning

Platsgjutning innebär att konstruktionen eller delar av konstruktionen gjuts på projektplatsen. Platsgjutning kan medföra en stabilare betongkonstruktion då den möjliggör en helgjuten konstruktion utan gjutfogar. Konstruktionen kan även ges ett unikt utseende då flexibiliteten av formbyggnationen är stor. Denna produktionsmetod kan ses som effektiv då dimension, armeringsmängd och betongkvalité kan optimeras vilket ger hög materialutnyttjande (Betongindustri, utan år).

5.1.2 Prefabricering

Prefabricering innebär att tillverkningen av elementen till ett projekt skett på annan plats än där de slutgiltigt monteras ihop. Elementen transporteras till byggarbetsplatsen där montering med övriga konstruktionsdetaljer sker. Genom prefabricering kan en hög kvalitet säkerställas då produkterna tillverkas under gynnsamma och skyddade förhållanden. Tillverkningstiderna kan kortas avsevärt i fält vilket leder till att trafikstörningarna på den utsatta platsen blir mindre (Strängbetong, utan år). Prefabricering leder också till en bättre och säkrare arbetsmiljö där människorna som tillverkar bron kan arbeta i en skyddad miljö skilt från trafikanter och med rätt hjälpmedel.

En nackdel med prefabricerade produkter är att det krävs ett stort antal tunga transporter på vägar i samband med förflyttningen från fabriken till byggplatsen. Det ställer då högre krav på logistisk samordning och organisation.

5.2 Temporära byggnader

Innan arbetet påbörjas kommer anläggningar för el, vatten och gas installeras enligt Arbetsmiljöverkets författningssamling (Arbetsmiljöverket, 2014, Paragraf 25§):

25§ Anläggning för el, vatten, gas och liknande skall vara så utförd att den kan användas säkert under hela byggnads- och anläggningstiden. Sådan anläggning skall utformas och placeras så att den är skyddad för oavsiktlig påverkan.

På byggarbetsplatsen kommer förråd, verkstäder och bodar för arbetarna att placeras ut. Dessa kommer placeras strategiskt för att möjliggöra en säker och effektiv arbetsmiljö. Byggställningar krävs för att säkerställa en god arbetsmiljö under arbetets gång. En byggarbetsmiljösamordnare utses som ska ansvara för att uppbyggnationen sker enligt kraven samt under arbetets gång kontrollera att arbetsmiljöreglerna och arbetsmiljöplanen uppfylls (Arbetsmiljöverket, utan år).

6 Förvaltning och underhåll

En bro som byggs i Sverige har en förväntad livstid på 120 år (Trafikverket, 2018a). Att en bro förväntas bruklig i över hundra år, ställer stora krav på inspektioner och underhåll för att säkerställa användningen under hela perioden. Då konstruktionen under hela livslängden kommer utsättas kontinuerligt för väderbetingande fenomen och nedbrytningsprocesser är det av stor vikt att underhåll- och inspektionskrav redogörs på ett tydligt sätt.

6.1 Inspektionsmetod

En broslivslängd är starkt kopplad till möjligheten att inspektera dess komponenter och upptäcka eventuella skador i tid för att underhållsåtgärder ska vara effektiva. Det är också förenat med ekonomiska aspekter där det fortlöpande underhållet av bron utgör en stor del av de totala kostnaderna under livslängden. Broar inspekteras och underhålls regelbundet för att de ska kunna bedömas som säkra enligt Trafikverket (Trafikverket, 2018a). Inspektionerna delas in i tre undergrupper vilka har olika tidsintervall och uppföljningskrav och utförs enligt de krav som finns fastslagna i BaTMan, huvudinspektion, allmän inspektion och särskild inspektion (Trafikverket, 2015).

6.2 Underhåll

En förvaltningsplan ska upprättas i samband med broprojekteringen och eventuella ytterligare underhållsåtgärder beaktas vid de regelbundna inspektionerna. Underhållet avser att upprätthålla och om möjligt förlänga broarnas användbarhet och levnadslängd. Det finns många risker som hotar konstruktionerna, se kapitel 2, och dessa måste minimeras samtidigt som skador ska kunna repareras vilket ställer krav på såväl konstruktören som inspektören. Underhållet utgör en stor ekonomisk post under brons tekniska livslängd och måste vägas mot den samhällsliga nyttan det bidrar till, men ett negligerat underhåll leder ofta till större behov av åtgärder med högre kostnader. Eftersom de ekonomiska kostnaderna för underhåll är höga är det önskvärt att minimera underhållsbehovet i så stor grad som möjligt även om det innebär en högre investeringskostnad på grund av exempelvis dyra material. Detta gäller i stor utsträckning hårt trafikerade broar (Trafikverket, 2018a). Vanliga underhåll är t.ex. kantbalksbyten, tätskiktsbyten, ommålning av bro (gäller främst stål- och träbroar), räckesbyte, övergångskonstruktionsunderhåll och avloppsunderhåll. För järnvägsbroar kan även byte/tillskott av ballast under slippers vara aktuellt (Trafikverket, 2018a).

6.3 Kritiska punkter och utformningsbehov för tillgänglighet av inspektion

Enligt Vägverket/Banverket (2009) ska utformningen av broar vara sådan ”att drift och underhåll av alla deras delar kan utföras utan svårigheter” (s.70). Hänsyn ska tas för att inspektioner och underhållsåtgärder ska kunna genomföras med god tillgänglighet och med uppfyllda krav på arbets säkerhet enligt Arbetsmiljölagens första paragraf (Arbetsmiljöverket, 2018a, Paragraf 1§):

1§ Lagens ändamål är att förebygga ohälsa och olycksfall i arbetet samt att även i övrigt uppnå en god arbetsmiljö.

De viktiga elementen i överbyggnaden och underbyggnaden samt lagren ingår i de delar som är vitala ur inspektionssynpunkt (Vägverket, 1996). Nedbrytningsprocesser av brokonstruktionen startar oftast i och utsätter mest brodetaljer såsom avlopp, räcken, kantbalkar, övergångskonstruktioner, lager och i viss mån belysningen. Det stora hotet mot alla konstruktionsdelar är vatten som både orsakar erosion, korrosion och kan föra med sig klorider och andra föroreningar som förorsakar annan kemisk nedbrytning. Arbetssäkerheten för inspektion och underhåll blir ofta dimensionerande för brons utformning där den estetiska friheten hos en konstruktör begränsas av beroendet av möjligheten till säkert och kostnadseffektivt underhåll. För olika brotyper uppkommer olika sorters problem kring säkerheten och tillgängligheten för de som utför inspektion eller underhåll. Höga höjder, trånga utrymmen, hälsorisker på grund av utsättning av kemiska ämnen, rasrisk och trafiknära åtgärder är några av de mest signifikanta problemområden som måste tas hänsyn till (Arbetsmiljöverket, 2018b), (Arbetsmiljöverket, 2017). Det är viktigt att i förvaltningsplanen beakta vilken form av säkerhetsutrustning och maskineri som behövs under en brons livslängd, såsom brolift, dykare/båt, belysning och risker med kontaktledningar (Trafikverket, 2015).

6.4 Framtida höjning av trafiklast

Trafiklasten för sträckan kan i framtiden komma att höjas och frågan är hur projekteringen idag kan dimensionera för en sådan lastökning. Att förstärka en bro i efterhand för att öka dess kapacitet med konventionella metoder kan vara svårt och innebära stora kostnader och en lång ombyggnadstid. En ökad kapacitet innebär i regel en ökad konstruktionsvolym och platsbristen för en utbyggnad kan komma att orsaka problem. En lösning skulle kunna vara förstärkning med FRP som är en relativt enkel och snabb process som inte heller tar stor plats (StoScandinaviaAB, 2019). Finns det en tänkbar framtida lastökning kan det vara en god idé att redan i den första dimensioneringen dimensionera med en faktor som tar hänsyn till en framtida lastökning. Denna överdimensionering ökar kostnaderna vid byggnation i byggskedet, både tidsmässigt, ur miljösynpunkt och ekonomiskt, men sänker den totala kostnaden för bron.

7 Riskanalys

För att minimera skador och negativa händelseförlopp i samband med byggnationen av järnvägsbron kommer de mest väsentliga riskerna presenteras på ett övergripande sätt nedan. Genom att identifiera riskerna med byggnationen kan de olika aspekterna beaktas och viktas mot varandra i den andra urvalsprocessen, se kapitel 8. Genom tillvägagångssättet blir det tydligt och överskådligt vilket koncept som är förenat med lägst risker.

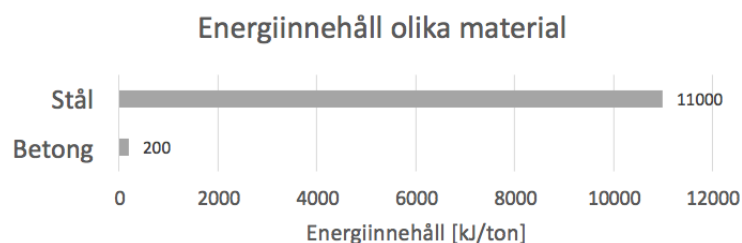
7.1 Samhälleliga risker

Genom ombyggnationen av Roslagsbanan (Österskärslinjen) är målet en mer driftsäker pendelväg och en ökad andel pendeltrafikanter på sträckan. För att säkra resvägen mot driftstopp och möjliggöra framtida trafikökning förses stora delar av sträckan med dubbelspår och farliga korsningar projekteras bort (Region Stockholm, 2018). Den studerade bron kommer dock enbart vara enkelspårig, vilket gör bron till en kritisk punkt ur ett driftstörningsperspektiv, en flaskhals. Genom användning av enkelspår kan tågen enbart framföras i en riktning vilket gör att trafiken inte kan passera vid eventuella störningar på bron. Då förseningar leder till missnöje hos allmänheten kan störningarna resultera till minskat användande och således äventyras den primära tanken om driftsäkerhet och ökad användning.

Under byggnationen kommer delar av sträckan periodvis vara avstängda och de berörda sträckorna kommer att ersättas med buss (Region Stockholm, 2018). En omständligare resväg kan resultera i att resenärer faller tillbaka i ett icke önskvärt mönster och användandet av bil. Att sträckor periodvis kommer vara avstängda är dock oundkomligt under byggnationer av detta slag, men driftstoppen kan minimeras med genomtänkt projektering och val av konstruktion- och produktionsmetoder.

7.2 Bidragande risker för ökad miljöpåverkan

Materialet som används för att upprätta järnvägsbron bör beaktas då hänsyn till miljöpåverkan måste tas. Det är inte helt lätt att studera energiinnehållet för bärande konstruktioner då egenskaperna för de olika byggnadsmaterialen skiljer sig avsevärt. Betong har ett relativt lågt energiinnehåll, dock krävs mycket material för att uppnå erforderlig bärförmåga i jämförelse med stål. Stålet har en hög hållfasthet i förhållande till sin vikt och kommer därmed kräva en lägre materialmängd för att motsvara betongens bärförmåga (Emrani m. fl., 2013).



Figur 7.1: Energiinnehåll i olika konstruktionsmaterial enligt (Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2013). Författarnas egna bild.

Genom markexploatering för byggnationen och den nya sträckningen av Roslagsbanan, riskeras djur- och växtliv i den närliggande miljön. Små partier av skog planeras att skövlas för att bereda plats åt

järnvägen vilket definitivt kommer resultera i att habitatförluster. Genom exploatering och rubbning av den naturliga miljön föreligger risk att djur- och växtarter försvinner helt från platsen. Dock utgör platsen idag ett utsatt område med tanke på den närliggande industrin.

7.3 Risker under produktionstiden

Enligt Arbetsmiljöverkets författningssamling (Arbetsmiljöverket, 2014, Paragraf 19§):

19§ Vid planering av byggnads- eller anläggningsarbete skall alla faktorer som har betydelse för arbetsmiljön beaktas. Riskerna för ohälsa och olycksfall i arbetet skall bedömas så tidigt som möjligt.

Vid anläggningsarbete är arbete i schakt ett av flera kritiska moment. Rasrisker finns alltid och att arbeta under andra yrkesarbetare är också förenat med fara. Arbeten på höjd, som att utföra arbete på färdig bro samt arbeta på ställningar under gjutning kan också vara förenade med fara då fallrisk alltid föreligger. Detta måste beaktas och förebyggas med rätt skyddsutrustning och utbildning. Användning av maskiner samt verktyg för exempelvis kapning och svetsning kan innebära fara för den enskilda individen.

Under byggnationen kommer mycket material att hanteras med lyftanordningar, oftast kranar. För att förhindra olyckor i samband med lyft måste lyftutrustningen hanteras på ett säkert och riskmedvetet sätt. Enligt Arbetsmiljöverket (2017) måste de inblandade vid lyft i Sverige ha erforderlig utbildning i tillägg att det finns specifika krav på besiktning av lyftanordningar.

7.4 Risker för utförandet av inspektioner och underhåll

Vid underhåll är det oftast nödvändigt att låta tåg passera över bron. Det innebär att trafiken kommer nära arbetsområdet vilket leder till försämrade arbetsmiljö och med ökad risk för arbetsplatsolyckor som följd (Trafikverket, 2018a). Genom att undvika underhåll vid rusningstid och längre perioder med mer trafik kan risker minimeras. Tågets behov av elektricitet för drift kommer innebära att högspänningsledningarna alltid utgör fara vid inspektion och underhåll. Detta måste beaktas och alla åtgärder på bron bör föranledas av att eltillförseln bryts (Trafikverket, 2015). Även inspektionerna under bron kräver en dialog med NCC:s stenkross då vägen troligen kommer behöva stängas av under inspektion/underhåll.

7.5 Olycksrisker

De flesta olyckor som sker beror oftast på den mänskliga faktorn och den enskilda individen. Dock är de händelser av farligast karaktär för den breda allmänheten oftast knutna till teknologin, där en olycka ofta leder till en kedjereaktion av fler olyckor (MSB, 2012). I fallet för byggnationer av järnvägsbroar finns det flera händelseförlopp som kan leda till katastrofala följder.

Det finns förenklat tre huvudsakliga faktorer som kan föranleda att konstruktionen allvarligt skadas eller kollapsar. Det är urspårning av spårtrafik, olyckslaster på landfästen som orsakats av motorburen trafik samt att konstruktionen blivit feldimensionerad. Gemensamt för faktorerna är att de till största sannolikhet är orsakade av människan. För att förhindra kedjereaktioner, där exempelvis en påkörning av ett tungt fordon från Rydbokrossen leder till kollaps, eller stora skador på ett landfäste krävs det att rätt påkörningsskydd används. Samma resonemang gäller för tågets påkörningsskydd på överkonstruktionen.

8 Urvalsprocessen

Då val av brokoncept kommer att spela stor roll och efterlämna avtryck i samhället är det av vikt att väga och beakta för- och nackdelar för de olika alternativen. För att underlätta den mycket komplexa urvalsprocessen är det viktigt att definiera överskådliga kriterier som förenklar urvalsprocessen och på ett tydligt sätt kan vägleda till det slutgiltiga valet. Urvalsprocessen delas in i två delar, där de åtta presenterade brotyperna utvärderas. Genom denna process ska det bästa brokonceptet för den planskilda korsningen över Ullna Kvarnväg tas fram.

8.1 Urval 1

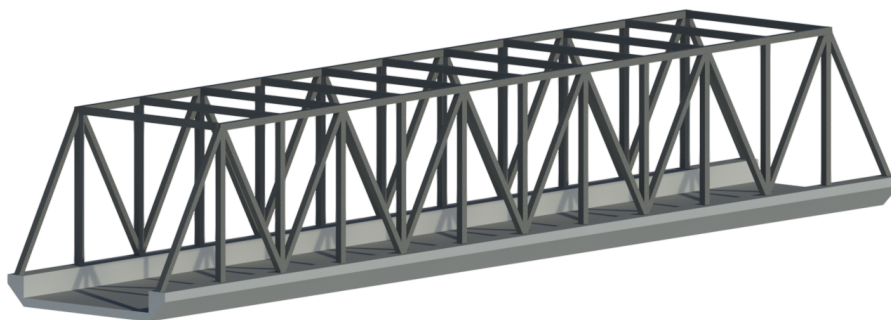
Urval 1 kommer att sortera bort de broar som inte är möjliga eller som av andra skäl inte lämpar sig för platsen. Det som kommer styra vilka broar som är potentiella att gå vidare till den andra urvalsprocessen avgörs med hänsyn till de geografiska kraven och vad som är lämpligt rent estetiskt för platsen. Spännvidden kommer att vara cirka 15-30 meter därmed föll ett antal av de studerade brotyperna bort direkt. De brotyper som inte lämpade sig för platsen var hängbron, snedkabelbron, valvbron, plattbron och balkrambron. Då heller inga estetiska krav föreligger platsen är en tydlig utgångspunkt att försöka integrera bron med landskapet, vilket sorterar bort de allra mest extrema brotyperna. För att få en bra representation till urval 2 är en grundtanke att broar av olika form och material ska utvärderas mer noggrant.

8.2 Konceptbeskrivning

Genom att följa de grundtankar och geografiska krav från urval 1 har fyra potentiella broar valts. De fyra olika koncepten kommer nedan att studeras på ett övergripande sätt och därefter utvärderas i urval 2.

8.2.1 Koncept 1 – Fackverksbro i stål med betongbana

Brokoncept 1 utgörs av en fackverksbro som uppförs i ett spann med spännvidd på ca 30 meter. Brons huvudbärverk är det överliggande fackverk som består av stålstänger. Att den bärande konstruktionen är belägen ovanför bron gör detta till ett lämpligt koncept då det är en begränsad fri höjd mellan underliggande vägbana och bro. Fackverket kommer medföra en större mängd prefabricerade stålelement, vilket är negativt ur miljömässig synvinkel och kommer ställa krav på hållbara transporter. Brons enkla estetiska utformning passar även in i den industriella omgivningen.



Figur 8.1: Illustration av konceptet fackverksbro. Författarnas egna bild.

Produktionsmetod

Stålkonstruktionens olika element prefabriceras och transporteras till byggplatsen där bron sedan monteras och lyfts på plats med hjälp av kran. Landfästena är platsgjutna i ett tidigare skede vilket medför en snabb och effektiv montering av brokonstruktionen. Betongfarbanan varpå rälsen kommer placeras utgör här sekundärbärverket och platsgjuts sedan ovanpå stålkonstruktionen. Att korta ner byggtiden ute i fält bidrar till en säkrare arbetsmiljö där yrkesarbetarna exponeras under kortare tid. Produktionsmetoden ställer krav på de temporära byggnaderna som krävs för att skapa en god arbetsmiljö vilket omnämns i kapitel 5.2. Utöver dessa kommer även gjutformar för landfästen och betongfarbanan att krävas.

Inspektion och underhåll

Förvaltningen av bron kommer innebära relativt mycket arbete och planering för att säkra brons tekniska livslängd. Lagrena för bron och undersidan utgör inga problem i tillgänglighet och kan enkelt besiktigas med hjälp av exempelvis skylift. Ovansidan däremot utgör ett svårare arbete, där alla knutpunkter i fackverket måste kontrolleras och alla balkar måste undersökas för tecken på utmattning. Kontaktpunkterna mellan betongbanan och stålfackverket behöver kontrolleras för att upprätthålla samverkan. Stål måste skyddas från yttre påverkan av fukt och klorider som orsakar korrosion av stålet och sänker dess hållfasthet över tid. Detta innebär att bron med jämna mellanrum behöver målas om med täckande rostskyddsfärg för att inte riskera att korrodera.

Risikanalys

Stålkonstruktionen erbjuder en smidig brokonstruktion men på bekostnad av stor energiåtgång vid utvinning av råmaterial. En fördel med att bron utformas med fackverk är att ytterligare säkerhet går att uppnå genom extra stag och således överdimensionering. Den extra säkerheten blir dock på bekostnad av större materialåtgång och miljöpåverkan. Att använda lyftanordningar i samband med byggnationer medför alltid en risk för arbetstagaren. De samhällseliga aspekterna kommer alltid finnas men det är inget som sticker ut extra för den studerade bron.

De olika riskerna från kapitel 7 studeras och vägs samman till ett medelvärde för vidare utvärdering i utvärderingsprocessen nedan. Betygsintervallet ligger mellan 1-4, där 1 = Hög risk, 2 = Riskabel, 3 = Godkänd risk, 4 = Helt utan risk.

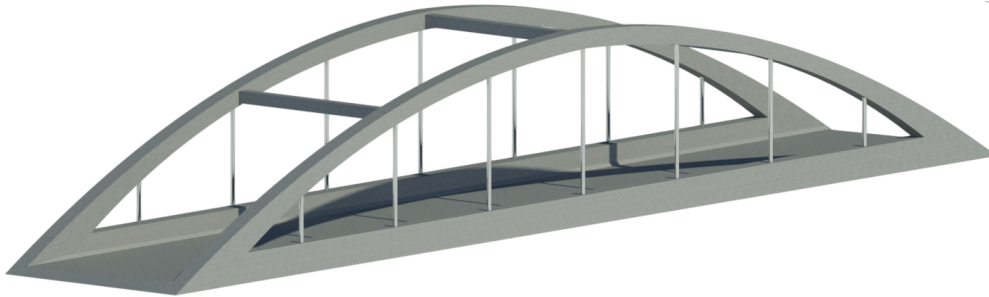
Utvärderingskriterier från kapitel 7	Poäng
Samhälleliga risker	3
Bidragande risker för ökad miljöpåverkan	1
Risker under produktionstiden	3
Risker för utförande av inspektioner och underhåll	1
Olycksrisker	3
Medelpoäng:	2,2

Tabell 8.1: Utvärdering och rankning av risker för vidare utvärdering i urvalsprocess två.

8.2.2 Koncept 2 - Bågbro med bågar i betong och stålvastrar

Ett koncept som tagits fram med ett större arkitektoniskt och ingenjörsmässigt uttryck är bågbro, som kommer att innebära utmaningar både inom produktion och underhåll. Bron ger också ett skydd mot

stenkrossen och kan anses iögonfallande. Bågbron klarar mer än väl spännvidden på 30 meter och ger även möjlighet att nyttja två olika materials egenskaper till deras fulla potential. Betongbågarna som utgör huvudbärverket blir tryckta medan stålet som utgör sekundärbärverket blir draget. Ur ett underhållsperspektiv ställer en sådan konstruktion större krav på underhåll och tillsyn då övergångar mellan material utgör en svag länk.



Figur 8.2: Illustration av konceptet bågbro. Författarnas egna bild.

Produktionsmetod

För bågbron krävs ett mer omfattande arbete på byggplatsen i form av komplicerade platsgjutningar. Urschaktning krävs för gjutning av landfästen som anläggs på spetsburna pålar. De bärande bågarna kommer att uppföras som fast inspända i landfästena. Sekundärbärverket förankras med bågarna genom stålvastrar för att nyttja bågformens och vastrarnas specifika egenskaper. Bågarna gjuts med platsbyggda formar i trä vari armeringen läggs och betongen får härda färdigt innan den tas bort.

Inspektion och Underhåll

Brons utformning kommer att kräva mer planering och tidsåtgång vid inspektion och underhåll, framförallt på grund av bågens höjd som bidrar till en riskfylld arbetsmiljö. Bågarna måste inspekteras för att upptäcka eventuell armeringsexponering eller påbörjad karbonatisering. Stålvastrarna är känsliga för utmattningsskador på grund av vibrationer från exempelvis vindlaster eller fortplantade vibrationer från tågbanan. En kritisk punkt är infästningarna mellan stålvastrarna, bågarna och sekundärbärverket.

Risikanalys

Bågen till den bärande konstruktionen kräver avancerade produktionsmetoder där risk för personskaador ökar. Att bågbron dessutom består av två olika material innebär det kritiska skarvar som kräver mer underhåll och inspektioner. Stålvastrarna som bär brobanan är också en kritisk lösning, särskilt då urspärning av tåg och risk för korrosion studeras. För att säkra bron och dess bärighet krävs rätt påkörningsskydd, kontinuerligt underhåll och inspektioner. De samhälleliga aspekterna kommer alltid finnas men det är inget som sticker ut extra för den studerade bron.

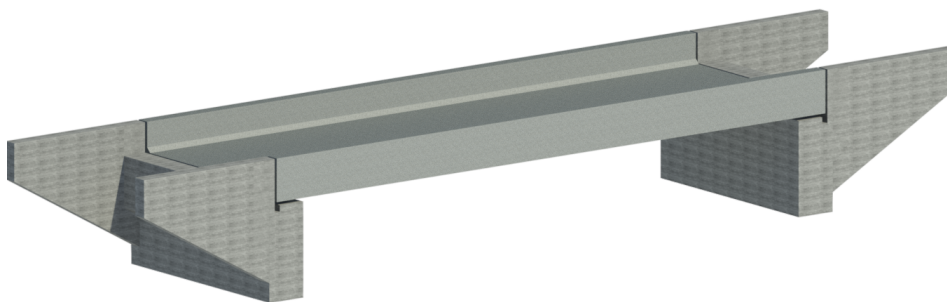
De olika riskerna från kapitel 7 studeras och vägs samman till ett medelvärde för vidare utvärdering i utvärderingsprocessen nedan. Betygsintervallet ligger mellan 1-4, där 1 = Hög risk, 2 = Riskabel, 3 = Godkänd risk, 4 = Helt utan risk.

Utvärderingskriterier från kapitel 7	Poäng
Samhälleliga risker	3
Bidragande risker för ökad miljöpåverkan	2
Risker under produktionstiden	1
Risker för utförande av inspektioner och underhåll	1
Olycksrisker	2
Medelpoäng:	1,8

Tabell 8.2: Utvärdering och rankning av risker för vidare utvärdering i urvalsprocess två.

8.2.3 Koncept 3 - Trågbalkbro i betong

Konceptet består av en helt platsgjuten slakarmerad trågbro med balkar och bottenplatta i betong. Konstruktionens huvudbärverk utgörs av fritt upplagda balkar vars ändstöd är fristående landfästen. Vingmurar kommer gjutas vid ändstöden för att minska spännvidden vilken uppgår till cirka 20 meter. Spåret anläggs på ballasten som ligger på bottenplattan och mellan balkarna. Konceptet motiveras framförallt av den låga konstruktionshöjden för att klara den fria höjden mellan bron och vägen.



Figur 8.3: Illustration av konceptet trågbro. Författarnas egna bild.

Produktionsmetod

Urschaktning med efterföljande pålning och grundläggning utförs i ett förstaskede för att sedan övergå i att gjuta ändstöden. Mellan dessa byggs sedan den provisoriska bärande konstruktion som ska bära den gjutform som tråget ska gjutas i. Gjutformen byggs och här appliceras även armeringen och därefter gjuts balkarna och bottenplattan. Balkarna läggs på potlager för att uppta rörelser i konstruktionen.

Inspektion och Underhåll

Detta koncept är relativt enkelt att förvalta ur ett inspektions- och underhållsperspektiv. Undersidan behöver troligen besiktigas och underhållas via en skylift för att okulärt och handgripligen komma åt alla konstruktionsdelar. Hela bron behöver inspekteras och underhållas för eventuella sprickor i betongen som kan orsaka korrosion av armeringen på grund av exponering, se kapitel 2.3. Övergångskonstruktionens funktion behöver granskas och verifieras vilket även gäller de lager bron ligger på. Eftersom balkarna är en del av ett ballastfyllt tråg blir insidan av balken svårare att inspektera än om de varit underliggande balkar.

Risikanalys

Trågbalkbron platsgjuts vilket är en beprövad metod som traditionellt används, dock måste den provisoriska konstruktionen under gjutningen vara konstruerad på rätt sätt och inte vara underdimensionerad. Att bron uppförs i armerad betong gör att konstruktionen blir relativt lätt att inspektera (visst undantag för insidan av balkarna) och inte kräver mycket underhåll. De samhälleliga aspekterna kommer alltid finnas men är inget som utmärker sig extra för den studerade bron.

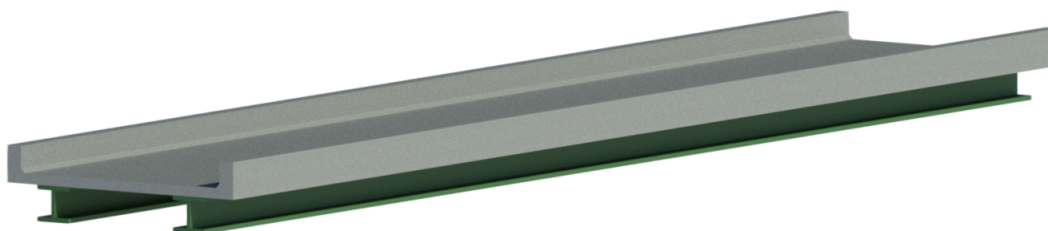
De olika riskerna från kapitel 7 studeras och vägs samman till ett medelvärde för vidare utvärdering i utvärderingsprocessen nedan. Betygsintervallet ligger mellan 1-4, där 1 = Hög risk, 2 = Riskabel, 3 = Godkänd risk, 4 = Helt utan risk.

Utvärderingskriterier från kapitel 7	Poäng
Samhälleliga risker	3
Bidragande risker för ökad miljöpåverkan	2
Risker under produktionstiden	3
Risker för utförande av inspektioner och underhåll	4
Olycksrisker	3
Medelpoäng:	3

Tabell 8.3: Utvärdering och rankning av risker för vidare utvärdering i urvalsprocess två.

8.2.4 Koncept 4 - Samverkansbro

Konceptet bygger på en kombination av stål och betong där stålets specifika egenskaper verkar tillsammans med betongens. Huvudbärverket utgörs av avstyvade stålbalkar som samverkar med det ballastfyllda betongtråget. En bro av detta slag klarar en spännvidd på 30 meter utan problem. Att kombinera materialen möjliggör en materialeffektiv bro där stora mängder material sparas. Stora delar av bron kan prefabriceras vilket genererar kortare byggtider i fält. Brotypen gör det enkelt att utföra inspektion på de bärande stålbalkarna då de inte är inbyggda eller ingjutna. Ur ett underhållsperspektiv ställer dock en kombinerad konstruktion större krav på underhåll och tillsyn då övergångar mellan material utgör en svag länk.



Figur 8.4: Illustration av konceptet samverkansbrok Författarnas egna bild.

Produktionsmetod

Marken schaktas ur och sedan pålas det ner till fast berg. Landfästena platsgjuts på pålarna varpå två prefabricerade och rostfria stålbalkar lyfts på plats med en kran. Bultar, eller studs, svetsas fast mot överflänsarna och gjuts sedan in i brobaneplattan vilket bildar samverkan mellan materialen. Horisontella stag fästs mellan balkarna för att stabilisera konstruktionen och fördela lasterna mellan balkarna.

Inspektion och Underhåll

Då samverkanssystemet kombinerar två olika byggnadsmaterial måste övergångar mellan materialen inspekteras, likaså gäller allmänt slitage. Dessutom ska kloridinträngning och korrosion inspekteras. Genom att använda rostfritt stål kan intervallen mellan underhåll förlängas och underhållskostnader minskas. För att inspektera betongplattan krävs relativt stort arbete och tågtrafiken behöver stängas av.

Riskanalys

Samverkansbron erbjuder en smidig och säker produktion där en stor del av bron kan prefabriceras samtidigt som en god arbetsmiljö kan säkerställas. Att betongelement vilar på stålbalkar gör att inspektionsmöjligheterna minskar i kontaktytan och kan också försvåra underhållsarbetet. Ursårning och påkörning riskeras och beaktas med ändamålsenliga påkörningsskydd. De samhälleliga aspekterna kommer alltid finnas men inget som sticker ut extra för den studerade bron.

De olika riskerna från kapitel 7 studeras och vägs samman till ett medelvärde för vidare utvärdering i utvärderingsprocessen nedan. Betygsintervallet ligger mellan 1-4, där 1 = Hög risk, 2 = Riskabel, 3 = Godkänd risk, 4 = Helt utan risk.

Utvärderingskriterier från kapitel 7	Poäng
Samhälleliga risker	3
Bidragande risker för ökad miljöpåverkan	1
Risker under produktionstiden	3
Risker för utförande av inspektioner och underhåll	2
Olycksrisker	3
Medelpoäng:	2,4

Tabell 8.4: Utvärdering och rankning av risker för vidare utvärdering i urvalsprocess två.

8.3 Urval 2

För att rangordna och betygsätta de olika koncepten utformas ett antal kriterier. Urvalskriterierna tillhör sex olika huvudkategorier: Gestaltning, utformning, produktion, miljö, underhåll och riskanalys. Tillhörande huvudkategorierna följer även flertalet utvärderingspunkter som ska underlätta och på ett överskådligt sätt möjliggöra en poängsättning av de olika koncepten. Totalt är det tretton områden som ska studeras. De olika urvalskriterierna är:

1. **Möjlighet till landskapsanpassning** – Hur väl brokonceptet passar in i befintligt landskap, samt hur projektet påverkar miljön i området.
2. **Estetisk utformning** – Om bron är estetiskt tilltalande. Detta kriterium grundar sig endast i gruppmedlemmarnas personliga åsikter.
3. **Tillgänglighet för inspektion** – Hur enkelt och säkert inspektioner kan utföras för att kontrollera bron.
4. **Påverkan av olyckslast** – På vilket sätt olyckor, exempelvis påkörningslaster, påverkar konstruktionen.

5. **Flexibilitet** – Om det är möjligt att anpassa bron för ökade trafiklaster i framtiden.
6. **Produktionstid** – Tiden det tar att uppföra bron på platsen.
7. **Arbetsmiljö och säkerhet** – Arbetsmiljö och säkerhet under produktionstiden.
8. **Tillfälliga konstruktioner** – Antalet tillfälliga stödkonstruktioner under produktionstiden.
9. **Miljöpåverkan** – Hur stor global miljöpåverkan brokonceptet har utifrån material, produktion och underhåll.
10. **Möjlighet till återvinning** – Avser till vilken grad materialet i bron kan återanvändas eller återvinnas efter rivning.
11. **Tillgänglighet för underhåll** – Hur enkelt och säkert underhållsarbete kan utföras.
12. **Beständighet** – Hur beständigt brokonceptet är under dess tekniska livslängd.
13. **Risikanalys** – Hur väl bron svarar mot riskerna i risikanalysen.

För att besluta vilka kriterier som väger tyngst och som således ska ge större utslag i den slutliga urvalsprocessen bestäms genom att vikta kriterierna mot varandra. Genom denna process arbetas en viktfaktor ($\alpha * \beta$) för varje utvärderingskriterium fram. Denna kommer att visa hur viktigt det specifika kriteriet är. Jämförelsen mellan kriterierna poängsätts mellan 1 – 3. Där, 1 = Mindre betydelsefull, 2= Lika betydelsefull, 3= Mer betydelsefull.

Kravmråde	Utvärderingskriterie	Jämförelse kriterie mot kriterie													Poäng	Andel inom området α	Andel totalt för området β	Viktning $\alpha * \beta$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
Gestaltning	1 Möjlighet till landskapsanpassning		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0,50	0,08	0,04
	2 Estetisk utformning	2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0,50		0,04
Utformning	3 Tillgänglighet för inspektion	3	3		3	3	3	2	3	2	3	2	2	2	31	0,42	0,24	0,10
	4 Påverkan av olyckslast	3	3	1		3	3	1	2	1	3	1	1	1	23	0,31		0,07
	5 Flexibilitet	3	3	1	1		3	1	1	2	2	1	1	1	20	0,27		0,06
Produktion	6 Produktionstid	3	3	1	1	1		1	1	1	3	1	1	1	18	0,25	0,23	0,06
	7 Arbetsmiljö och säkerhet	3	3	3	2	3	3		3	2	3	2	2	2	31	0,43		0,10
	8 Tillfälliga konstruktioner	3	3	1	2	3	3	1		1	3	1	1	1	23	0,32		0,07
Miljö	9 Miljöpåverkan	3	3	2	3	2	3	2	3		3	2	2	2	30	0,64	0,15	0,10
	10 Möjlighet till återvinning	3	3	1	1	2	1	1	1	1		3	1	1	17	0,36		0,05
Underhåll	11 Tillgänglighet för underhåll	3	3	3	2	3	3	2	3	2	3		2	2	31	0,49	0,20	0,10
	12 Beständighet	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2		2	32	0,51		0,10
Risikanalys	13 Riskanalys	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	2	2		31	1,00	0,10	0,10
															313	6,00	1,00	1,00

Tabell 8.5: Utvärderingsmatris

När beslut tagits angående hur representativt ett specifikt kriterium ska vara i den slutgiltiga urvalsprocessen ska de nu användas i valet av bro. De olika broarna betygssätts och tilldelas poäng efter hur väl de svarar mot kriterierna. Betygsintervallet ligger mellan 1 – 4 där, 1 = Acceptabelt, 2 = Bra, 3 = Mycket bra, 4 = Svarar helt mot kraven.

Utvärderingskriterier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Summa
Viktfaktor	4%	4%	10%	7%	6%	6%	10%	7%	10%	5%	10%	10%	10%	100%
Bågbro	3	4	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2,2	
Fackverksbro	0,12	0,17	0,10	0,15	0,06	0,06	0,10	0,07	0,19	0,11	0,10	0,20	0,22	1,65
Samverkansbro	2	1	1	2	1	4	2	3	1	3	1	1	1,8	
	0,08	0,04	0,10	0,15	0,06	0,23	0,20	0,22	0,10	0,16	0,10	0,10	0,18	1,72
Trågbro	2	2	2	3	1	3	3	2	2	2	2	2	2,4	
	0,08	0,08	0,20	0,22	0,06	0,17	0,30	0,15	0,19	0,11	0,20	0,20	0,24	2,21
	2	2	3	3	1	2	2	1	3	1	3	3	3,0	
	0,08	0,08	0,30	0,22	0,06	0,12	0,20	0,07	0,29	0,05	0,30	0,31	0,30	2,38

Tabell 8.6: Viktning av kriterierna för brokoncepten

9 Valt koncept

Genom viktningen av de olika parametrarna är det slutligen trågbalkbron som kommer att preliminärt dimensioneras över Ullna-kvarnväg. Konceptet som valts motiveras genom urval 2, vilket har presenterats i kapitel 8.



Figur 9.1: Illustration av valt koncept. Författarnas egna bild.

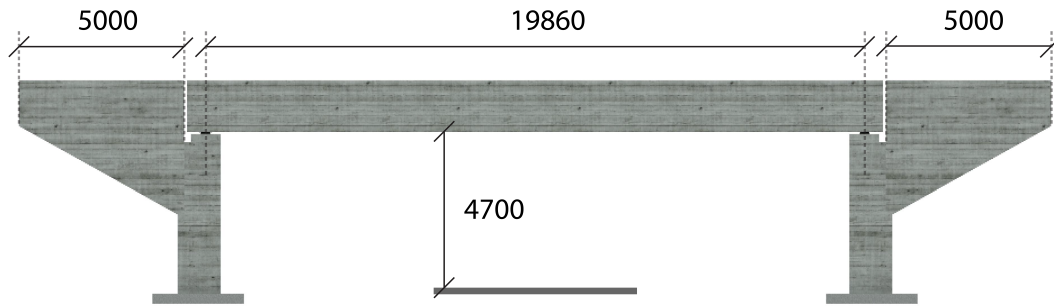
Konceptet får hög poäng på de delar av matrisen som ansetts viktigast och svarar därför bäst mot de ställda kriterierna. Eftersom platsen inte dikterar ett spektakulärt byggnadsverk utan något som smälter samman med omgivningen. Trågbron utgör en naturlig övergång till den bakomliggande stenkrossen och är en mindre krävande konstruktion som kräver kortare byggtid. Den har även enligt riskanalysen den i särklass bästa totalviktningen, vilket föranleder, utan att behöva begrunda samverkansbrons snarlika slutpoäng, att valet tycks absolut rätt. Nedan följer en mer utförlig och detaljerad beskrivning av det valda konceptet som ytterligare betonar detta koncepts ändamålsenlighet.

9.1 Produktionsplan

Då linjen är avstängd under upprustningen av Roslagsbanan behöver inte hänsyn till produktionstid tas och därför platsgjuts hela brokonstruktionen. Ett första steg i produktionen är grundläggning enligt kapitel 9.3.1. Efter det gjuts landfästena med tillhörande vingmurar. När detta härdat installeras övergångskonstruktioner och brolager vid ändstöden. Sedan konstrueras en provisorisk bärande konstruktion och en gjutform som bärs upp av den provisoriska konstruktionen. I gjutformen sätts armeringen på plats och sedan gjuts brons överkonstruktion, det vill säga balkarna och bottenplattan. Överkonstruktionen placeras på brolagrena och därefter läggs ballasten på bottenplattan varpå rälsen placeras på ballasten. Till sist kan detaljer som avlopp, räcken, belysning och skyltning installeras.

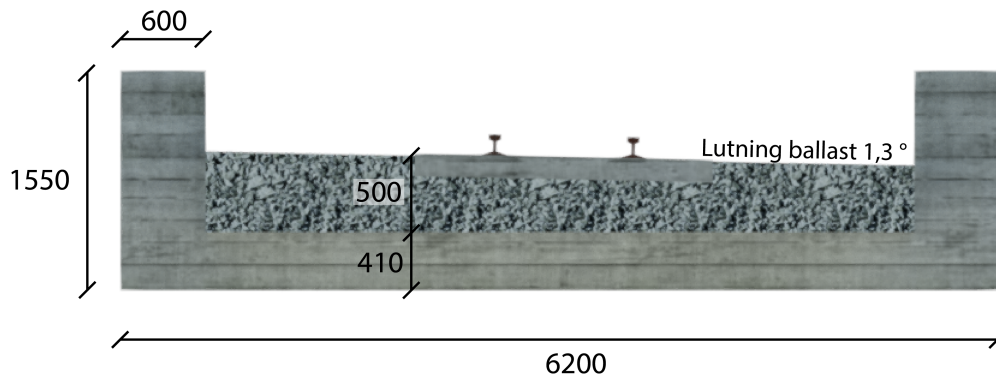
9.2 Utformning

Den valda brokonstruktionen kommer att ha en spännvidd om $\geq 19,86$ meter och placeras på landfästen i järnvägsbankens sluttning vilka möjliggör en lägre spännvidd. Mellan brobanan och de två landfästena är lager placerade för att möjliggöra horisontella rörelser och en viss vinkelförändring, vilket gör att brobanan kan ses som fritt upplagd.



Figur 9.2: Valda konstruktionens mått längsled. Författarnas egna bild.

På grund av givna förutsättningar om minsta fria höjd mellan brobanans underkant och underliggande väg på 4,7 m tillsammans med avstånd för räls överkant (RÖK) på 5,8 m begränsas den möjliga höjden från underkant brobana till RÖK till 1100 mm. Kravet för minsta ballastdjup för Roslagsbanan är 500 mm (Trafikförvaltningen, 2014) och höjden för rälsen är 190 mm. Det leder till att högsta höjd för bottenplattan kan vara 410 mm som kommer användas vid dimensionering, se Bilaga A.

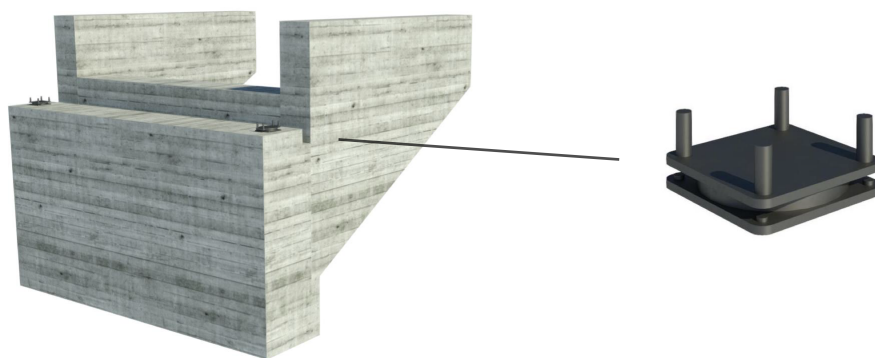


Figur 9.3: Valda konstruktionens tvärsnitt - brobana. Författarnas egna bild.

Brobanan kommer sett till de nämnda förutsättningarna gällande den begränsade konstruktionshöjden att utformas som en trågbalkbana. Det innebär att de bärande balkarna placeras längst ut på tvärsnittet på ett tillåtet avstånd enligt kravspecifikation (Banverket, 2007) så de inte utgör ett eventuellt hinder för tågtrafiken.

9.3 Landfästen

Landfästena dimensioneras för bromskrafter, vindtryck och jordtryck i horisontalled tillsammans med brobanans reaktionskrafter i vertikalled. En beräkning av dimensioneringen har gjorts i bilaga E. Krafterna som använts vid dimensioneringen finns i bilaga F. Brokonstruktionens huvudbärverk kommer vara fritt upplagd på landfästen med tillhörande lager som för kraften nedåt utan excentricitet. Landfästets bärande del ses som en rektangulär pelare med måttet 900 x 6200 mm enligt dimensionering. Höjden för landfästena ska vara minst 6 meter för att nå ett tjälfritt markdjup och gjuts samman med en bottenplatta av betong på pålar för att uppnå en fast inspänning. Bakom landfästena kommer det att fyllas upp fyllningsmaterial för att kunna bära upp vertikallaster.



Figur 9.4: Illustration av landfäste med tillhörande lager. Författarnas egna bild.

9.3.1 Grundläggning

Marken kommer i ett första skede schaktas till frostfritt djup för att undvika tjälskador och fuktbetingande rörelser. Jordlagret under landfästena består till viss del av tjälfarligt och instabilt material (en mäktighet om ungefär 5 meter lera och silt). För att säkerställa de geotekniska krav som föreligger den bärande konstruktionen kommer grundsulan till landfästena anläggas på betongpålar som drivs till fast berg med frifalls- eller accelerande hejare.

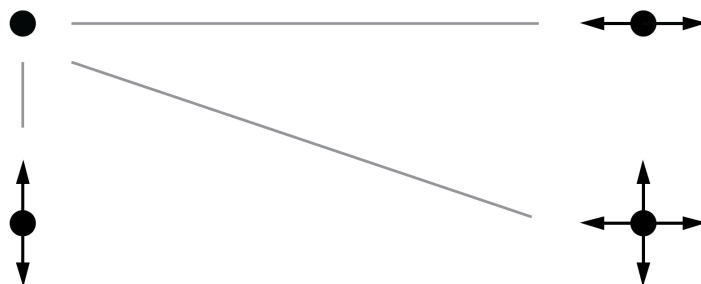
Det fasta berget är beläget cirka 25 meter under schakten vilket är ett avstånd som lämpar sig för prefabricerade pålar. Idag finns betongpålar i längder från 3 till 14 meter och genom skarvningar kan erforderlig längd uppnås. Då erforderlig längd går att erhålla genom skarvning till fast berg kommer spetsburna pålar att användas. För att säkerställa kraftupptagning av de föreliggande lasterna kommer vertikala och sneda pålar att anläggas för att kunna leda horisontell och vertikal belastning till fast berg. För att förhindra kollisioner mellan pålar vid neddrivning måste avståndet mellan pålarna minst vara $5 \cdot d$ vid installation, där d är det största tvärsnittsmåttet på pålarna (Hercules Grundläggning AB, 2018).

9.4 Brodetaljer

Utöver bärande konstruktionsdelar har andra detaljer en viktig funktion för brons helhet. Nedan beskrivs utformningen av brolager, övergångskonstruktion, räcken och avvattningssystem.

9.4.1 Lager

Lager används för att kunna möjliggöra rörelse i överdelskonstruktionen på grund av temperaturförändringar samt horisontella krafter, därmed undvikas eventuella tvångsspänningar i konstruktionen. Lagerkonfigurationen är illustrerad nedan och är utformad enligt Spänntechnikens rekommendation för en bro i ett spann, se Bilaga D.



Figur 9.5: Illustration av lagerkonfiguration. Författarnas egna bild.

Horisontella laster som verkar på brokonstruktionen har beräknats och redovisats i bilaga C. Tvärs brobanans längdriktning är den dimensionerande vindlasten 123,8 kN. Längs brobanans riktning är den dimensionerande vindlasten 30,96 kN tillsammans med en bromslast om 168 kN. En preliminär analys av tvärsnittet har gett en reaktionskraft för respektive lager om cirka 1200 kN. Denna reaktionskraft kommer att kontrolleras i den preliminära dimensioneringen.

Utifrån Spänntekniks produktblad för TOBE FR4 potlager, se Bilaga D), och dimensionerande vertikala och horisontala laster kan lagret av typ 20 väljas för alla lager. Det fasta lagret är av typ F, det ensidiga lagret av typ E och det allsidiga lagret av typ A .

9.4.2 Övergångskonstruktion

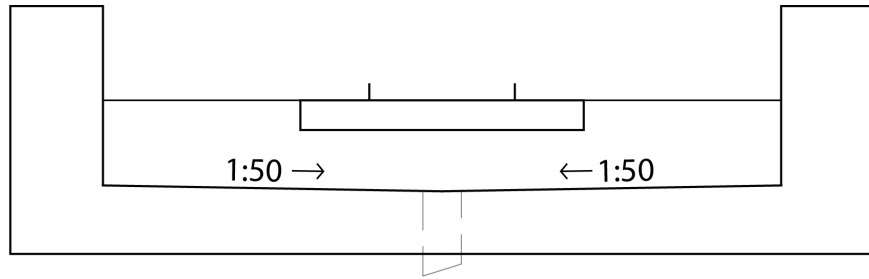
Brons spännvidd om ca 20 meter är relativt kort och därför kan en övergångskonstruktion med genomgående ballast användas. Detta då brokonstruktionens rörelselängd inte antas överstiga 80 mm från variabla laster och 20 mm från permanenta laster som är normen från Trafikverkets broprojekteringshandbok (Trafikverket, 2018a). Antagande om rörelser utgår från att Spänntekniks TOBE FR4 potlager, se Bilaga D, kommer att användas i övergång mellan under- och överbyggnad vilka kan beställas med en begränsning av rörelser till 50 mm. Gällande permanenta laster antas dessa inte ge någon rörelse i horisontell riktning då de enbart verkar vertikalt.

9.4.3 Räcken

I kantbalkarna skruvas 1,1 meter höga räcken fast och fortsätter även ut på vingmurarna. Vid övergångskonstruktionerna anordnas rörliga skarvar för att möjliggöra rörelse (Trafikverket, 2018b). Bron förses också med ett skyddsnät, där syftet är att skydda underhållspersonal eller evakuerade passagerare samt att förhindra nedfallande föremål från tågbanan (Trafikverket, 2018a). Infästningarna utformas med öppen spalt för att minska risken för korrosion.

9.4.4 Avvattningssystem

För en bro med i längsled liten lutning $<1\%$, bör ytaavlopp placeras med ett inbördes avstånd på högst 10 m (Banverket, 2007). Då bron har en lutning på $0,75\%$ längsled och spännvidden uppgår till ca 20 meter placeras två ytaavlopp med 10 meters avstånd och ca 5 meter till närmsta broände. I tvärlängd anordnas fall mot ytaavloppen från kantbalkarna med en lutning på 1:50.



Figur 9.6: Illustration av lutning 1:50. Författarnas egna bild.

På grund av vägen under bron ansluts ytavloppet med stuprör för att hindra vattnet från att falla ner på vägen. Stupröret utformas med högst två krökar i rörets övre del vinklade maximalt 45° och högst en krök vid utkastet, även den maximalt 45° (Trafikverket, 2016). Ytavlopp med stuprör utförs i rostfritt stål enligt SS-EN 10088, lägst stålsort 1.4436 (Svensk Standard SS-EN 10088-4, 2009).

10 Preliminär dimensionering av konceptet

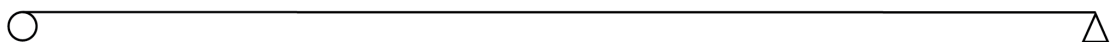
Efter förstudien påbörjas den preliminära dimensioneringen av bron, baserad på det valda konceptet och de laster som verkar. Lasterna beskrivs i bilaga H och olika lastkombinationer beskrivs i kapitel 10.2 samt i Bilaga I. Kapitlet är uppdelat i att visa globala beräkningsmodeller, förklara lastkombinationer för bron, presentera dimensionerande snittkrafter och slutligen introducera några delar i dimensioneringsprocessen som ses som viktiga.

10.1 Globala beräkningsmodeller

Bron delas upp i två delberäkningar, en i längdsled och en i tvärled, detta för att kunna fastställa att de bärande elementen kan bära lasterna som verkar i båda riktningarna. I tvärled dimensioneras brobaneplattan så att lasterna kan bäras ut till de längsgående balkarna och i längdsled dimensioneras balkarna för att kunna bära ner alla lasterna till ändstöden.

Båda fallen antas vara fritt upplagda balkar, där den globala längdsledsberäkningen utförs över hela längden av bron medan tvärrikttningsberäkningen utförs per breddmeter med antagandet att de utbredda lasterna verkar som kontinuerliga linjelaster över hela breddmetern. För balkarna är längden mellan stöden 19,86 m medan plattan har en total spännvidd på 5,6 m.

Vid dimensionering av balkarna görs beräkningen för en balk där lasterna halveras. Spåret ses med en excentricitet på $r/18$ mot den beräknade balken enligt Svensk Standard SS-EN 1991-2 (2003) för att försäkra att den har bärförmåga för det värsta lastfallet, där r är spårbredd. För tvärsnittet antogs lastspridningen i ballasten vara 4:1 enligt Svensk Standard SS-EN 1991-2 (2003) och att plattan bär mellan cc-avståndet av balkarna, vars egentygnd bortses från då de inte påverkar det totala maxmomentet. En förenkling av beräkningsmodellen har gjorts i och med att ballasten räknas som utbredd över hela plattbredden, vilket ökar den utbredda lastens storlek och kompenserar för de bortsedda balkarnas egentygnd.



Figur 10.1: Illustration av beräkningsmodell för balk och platta. Författarnas egna bild.

10.2 Lastkombinationer

En utförlig beskrivning av de laster som verkar på bron återfinns i Bilaga H. Dimensioneringen delas i brotts- och bruksgränstillstånd, där bron i brottsgräns dimensioneras för sin kapacitet innan kollaps medan den i bruksgräns dimensioneras för normal användning. Vid dimensionering av bron används fyra olika lastkombinationer: brottsgränstillstånd, karakteristiskt, frekvent och kvasipermanent. Dessa baseras på ett uppskattad periodiskt tidsmellanrum och kombineras individuellt ihop med den huvudlast som utgör det värsta fallet. Ekvationerna som används är hämtade från Svensk Standard SS-EN 1990 (2014) och presenteras i Bilaga I, för både brotts- och bruksgränstillstånd. I den svenska tillämpningen ska lasterna för järnvägsbroar avsedda för tung massgodstrafik multipliceras med $\alpha = 1,46$ och för övriga med $\alpha = 1,33$. Detta gäller dock inte denna järnvägsbro då den dimensioneras utifrån SSL:s krav, där $\alpha = 1,0$ (Trafikförvaltningen, 2014).

10.2.1 Brottgränstillstånd

I brottgränstillstånd antas beräkningar i stadium 3 för att bestämma konstruktionsdelarnas bärförmåga. Eftersom egentygden är den överlägset största kraften som verkar i längsled kommer ekvation 6.10a användas vid dimensionering av balkarna. Vid dimensionering av plattan kommer ekvation 6.10b användas då det värsta fallet sker då lasten från loket ses som huvudlast, se Bilaga I.

10.2.2 Brukgränstillstånd

Lastkombinationer som speglar konstruktionens normala lastpåverkan och tar hänsyn till användarnas säkerhet och upplevelse av deformation kommer att användas i bruksgränstillstånd. De motsvarar ekvationerna 6.14b för irreversibla tillstånd som kontrollerar uppsprickning, 6.15b för reversibla tillstånd som kontrollerar nedböjning och 6.16b som kontrollerar långtidseffekter, i Bilaga I.

10.2.3 Sammaställning lastkombination

Laster som verkar på bron är hämtade från Bilaga H och tabellvärden enligt LM71 är hämtade från Svensk Standard SS-EN 1990 (2014). Enligt Trafikförvaltningen (2014) så används för Roslagsbanan en variant av beräkningsmodell LM71, se Bilaga N (TF A.3a).

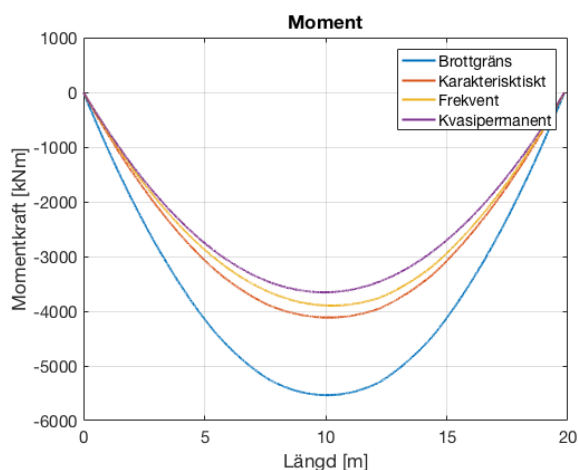
10.2.4 Dimensionerande laster i längsled

I Tabell 10.1 visas den utbredda lasten q_d (egentygd) och punktlasterna P_1 (lok) och P_2 (vagn) som verkar på en balk för varje lastkombination. Värsta fallen sker då egentygden ses som huvudlast i brottgränstillstånd och lasten från loket ses som huvudlast i brukgränstillstånd.

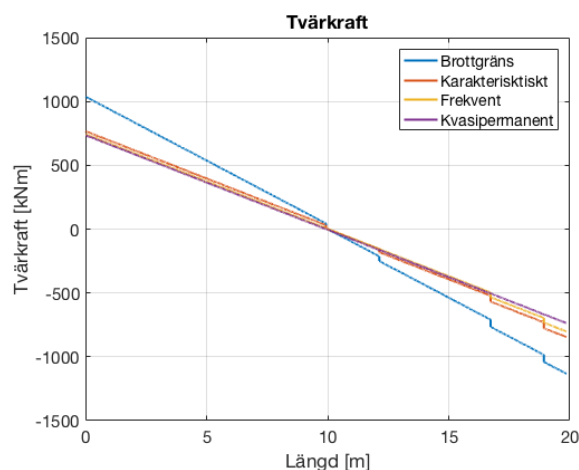
	$G_k \frac{kN}{m}$	$Q_{k,1}$ kN	$Q_{k,i}$ kN	γ_G	γ_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$q_d \frac{kN}{m}$	P_1 kN	P_2 kN
Brottgräns	74,1	45,9	30,6	1,35	1,5	0,8			100,1	55,1	36,7
Karaktäristiskt	74,1	45,9	30,6			0,8			74,1	45,9	24,5
Frekvent	74,1	45,9	30,6				0,8	0	74,1	36,7	0
Kvasi-permanent	74,1	45,9	30,6					0	74,1	0	0

Tabell 10.1: Dimensionerande laster för olika lastkombinationer för balken

Vid friläggning av de olika lastfallen i Bilaga O ges största moment i lastfall 5, största tvärkraften i lastfall 6 och största upplagskraften i lastfall 7. Beräkningar utförs i MATLAB, se Bilaga P. Figur 10.2 och Figur 10.3 visar för värsta fallet de moment- och tvärkrafter som uppstår längs balken med de olika lastkombinationerna från tabell 10.1.



Figur 10.2: Momentkraftsfördelning i balkarna för det minst gynnsamma fallet



Figur 10.3: Tvärkraftsfördelning i balkarna för det minst gynnsamma fallet

Tabell 10.2 visar de moment- och tvärkrafter som balken kommer att dimensioneras efter och de upplagskrafter som kommer tas hänsyn till vid val av lager samt dimensionering av ändstöd.

	M_{Ed} [kNm]	V_{Ed} [kN]	Upplagskraft [kN]
Brottgräns	5534	1133	1142
Karaktäristiskt	4115	846	852
Frekvent	3898	802	805
Kvasi-permanent	3655	736	736

Tabell 10.2: Dimensionerande krafter för balken

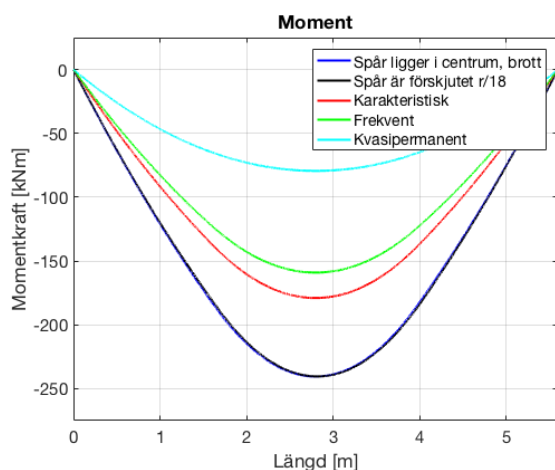
Dimensionerande laster i tvärlängd

Tabell 10.3 visar de utbredda lasterna $q_{d,1}$ (egentyngd) och $q_{d,2}$ (lok) som verkar på plattan för varje lastkombination. Värsta fallen sker då loket ses som huvudlast i både brottgränstillstånd och brukgränstillstånd. Beräkningarna görs i MATLAB, se Bilaga N.

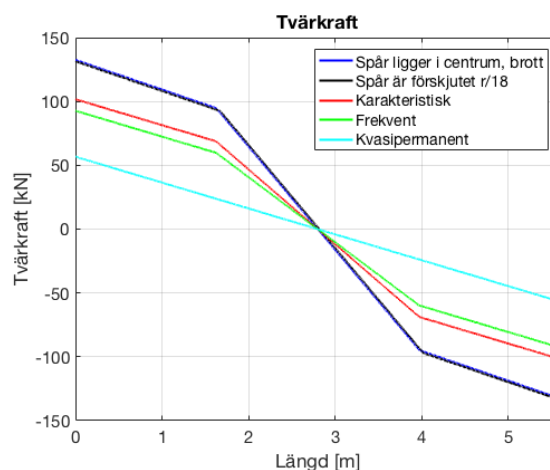
	G_k $\frac{kN}{m}$	$Q_{k,1}$ kN	ξ kN	γ_G	γ_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$q_{d,1}$ $\frac{kN}{m}$	$q_{d,2}$ $\frac{kN}{m}$
Brottgräns	20,3	38,3	0,85	1,35	1,5				23,2	57,5
Karaktäristiskt	20,3	38,3							20,3	38,3
Frekvent	20,3	38,3					0,8		20,3	38,3
Kvasi-permanent	20,3	38,3						0	20,3	0

Tabell 10.3: Dimensionerande laster för olika lastkombinationer för plattan

Figur 10.4 och Figur 10.5 visar de moment- och tvärkrafter som verkar längs plattan. Förskjutningen $r/18$ var endast 49.5 mm vilket inte gav någon större förändring, därför slutfördes beräkningar i bruksgränstillstånd endast för centrerat spår.



Figur 10.4: Momentkraftsfördelning i plattan för det minst gynnsamma fallet



Figur 10.5: Tvärkraftsfördelning i plattan för det minst gynnsamma fallet

Tabell 10.4 visar de moment- och tvärkrafter som plattan kommer att dimensioneras efter.

	M_{Ed} [kNm]	V_{Ed} [kNm]
Brottgräns	240,3	132,6
Brottgräns r/18	233,8	132,6
Karaktäristiskt	173,9	131,4
Frekvent	154,4	92,7
Kvasi-permanent	76,6	55,7

Tabell 10.4: Dimensionerande krafter för plattan

10.3 Dimensionering av platta och balkar

Utförliga uträkningar på både balk och platta återfinns i Bilaga S. Enligt krav från Trafikförvaltningen (2014) får nedböjningen max vara $L/400$ och enligt Trafikverket (2018b) är maximal tillåten sprickbredd 0,3 mm. Utöver detta måste konstruktionsdelen ha tillräckligt hög moment- och tvärkraftskapacitet för att klara av de belastningar som uppkommer under brottgränsstadiet. Plattan och balkarna dimensioneras utifrån de antaganden som återfinns i kapitel 10.1. Beräkningsgången utgår ifrån de som återfinns för armerade tvärsnitt i Bärande konstruktioner, del 1 (Emrani m. fl., 2013) och del 2 (Emrani m. fl., 2011). Eftersom inga horisontella laster antas verka på bronns överbyggnad görs beräkningarna utifrån att det enbart påverkas i ren böjning. Beräkningen börjar i framtagandet av moment- och tvärkraftsfördelningen i plattan och balkarna som presenteras i Tabell 10.2 och Tabell 10.4.

10.3.1 Tryck- och dragarmering i tvärläng

Utifrån det värsta momentsnittet i brottgräns beräknas erforderlig dragarmeringsmängd i plattan. För att krafterna som verkar på plattan ska kunna föras ut i balkarna läggs lika många drag- som tryckarmering. Eftersom det redan finns ett tvärsnittsmått på plattan bestäms därefter minsta betongskikt och cc-avstånd mellan stängerna. Avståndet måste bestämmas att det både klarar av minimikraven enligt

Bärande konstruktioner del 1, (B4-27) (Emrani m. fl., 2013) med hänsyn till vibrationsutrustning och att det korrelerar med avstånden i balkarnas tvärkraftsarmering då de ska sammanlänkas.

10.3.2 Kritiskt moment i plattan

För att försäkra att plattan är uppsprucken och alltså befinner sig i stadium II, beräknas det kritiska momentet, M_{cr} . Enligt Bärande konstruktioner del 1, kap B2.1.3 (Emrani m. fl., 2013) används f_{ctm} 's medelvärde för att göra en realistisk bedömning av sprickbildningen. Då konstruktionen ska vara slakarmerad är det önskvärt att tvärsnittet är uppsprucket kontra en spännarmerad konstruktion. M_{cr} med detta f_{ctm} beräknas till 136,7 kNm, vilket är mindre än det dimensionerande momentet och ger en hög sannolikhet att tvärsnittet är uppsprucket.

10.3.3 Tvärkraftkapacitet i plattan

För att studera plattans tvärkraftsbehov gjordes först en kontroll av kapaciteten utan tvärkraftsarmering. Trycksträvans lutning valdes till 45 ° och i det kritiska snittet, där den kritiska tvärkraften verkar, visade beräkningarna att betongens kapacitet klarade tvärkraftsbehovet, och alltså krävs ingen tvärkraftsarmnering i plattan.

10.3.4 Kontroll av betong- och stål påkänning i bron

Långtidseffekter p.g.a. krympning och krypning studerades för att kunna undersöka om tvärsnittets materialpåkänningar uppnådde kraven enligt Eurokod 2, från Bärande konstruktioner del 2, B212 (Emrani m. fl., 2011). Beräkningarna visar att spänningarna med god marginal klarar kraven.

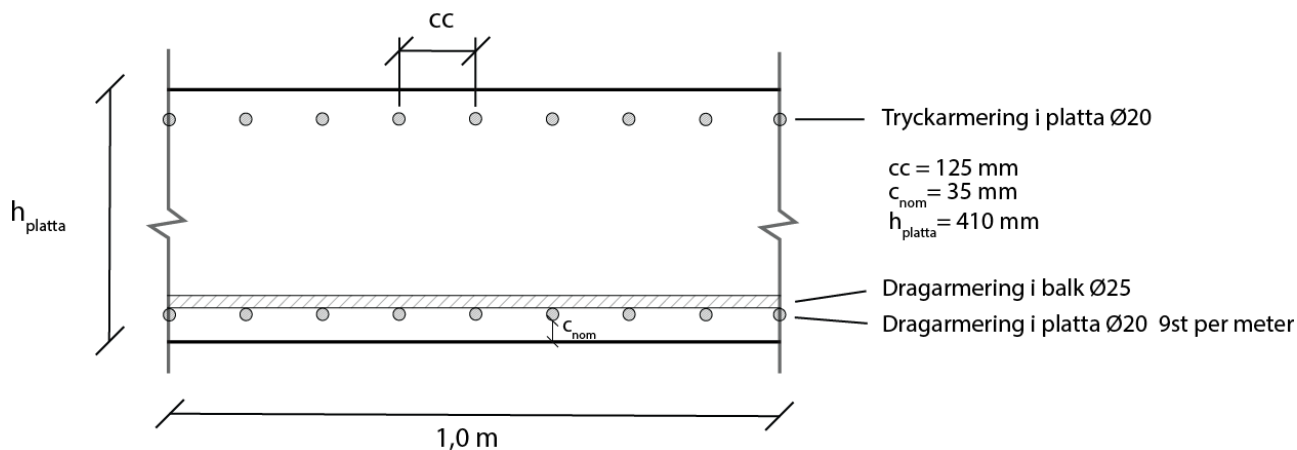
10.3.5 Nedböjning och sprickbredd för bron

De två mest kritiska kraven som ställs på bron, förutom bärförmågan, är sprickbredd och nedböjning. P.g.a. sitt utsatta läge, alltså att det är en utomhuskonstruktion som utsätts för väder och vind med en hög relativ fuktighet, är kravet på maximal sprickbredd av största vikt för att konstruktionens tekniska livslängd på 120 år ska kunna säkras. Max sprickavstånd, w_{max} , ges enligt kapitel 10.3 och baseras på exponeringsklassen för bron. Det som skiljer balkarnas beräkning från plattans är att huvudlasten för balkarna är egentygnden av bron medan det för plattan är tåglasten. Det gör att balkarnas sprickbredd beräknas med antagandet att lasten är en långtidslast medan plattans last antas vara en korttidslast. Uträkningarna visar att sprickbredden klarar sig i båda fallen enligt tabell 10.5 och 10.6.

Plattans nedböjning är aldrig särskilt dimensionerande då den verkar på en kort spännvidd och har liten inverkan på utformningen. För balken är nedböjningen däremot mer påtagbar då spännvidden är betydligt längre och tvärsnittets utformning dikterar yttroghetsmomentet. Vi ser att vi klarar kraven enligt tabell 10.5, men att noggrannare beräkningar i ett eventuellt antagande av brokonceptet bör göras för att säkerhetsställa att nedböjningen klaras.

	Moment [kNm]	Tvärkraft [kN]	Sprickbredd [mm]	Nedböjning [mm]
Kapacitet	425	258	0,142	3,6
Krav	240	122	0,3	14
Utnyttjandegrad	36,6 %	36,6 %		

Tabell 10.5: Beräknad kapacitet för plattan



Figur 10.6: Slutgiltigt tvärsnitt för plattan, per breddmeter. Författarnas egna bild.

10.3.6 Tryck- och dragarmering i balken

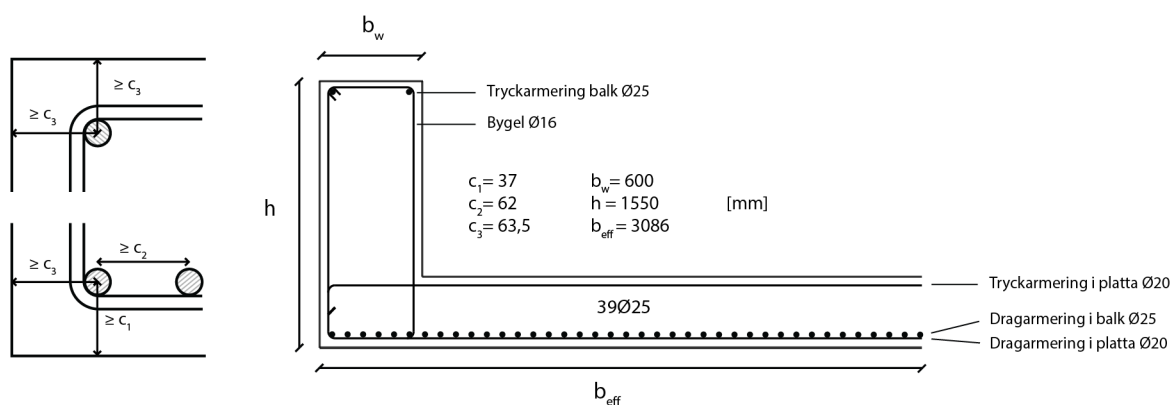
Erforderlig dragarmeringsmängd beräknades som för plattan och placeras ut ovanpå den tvärdragna dragarmeringen fördelat över den effektiva bredden som sträcker sig ut i plattan. Krav på minsta täckande betongskikt och avstånd mellan stänger beräknades som för plattan och eftersom alla stänger fick plats inom den effektiva bredden erfordrades endast ett lager dragarmering. Tryckarmeringen placerades i överkant balk vars huvuduppgift är infästningspunkt för byglarna.

10.3.7 Tvärkraftskapacitet i balken

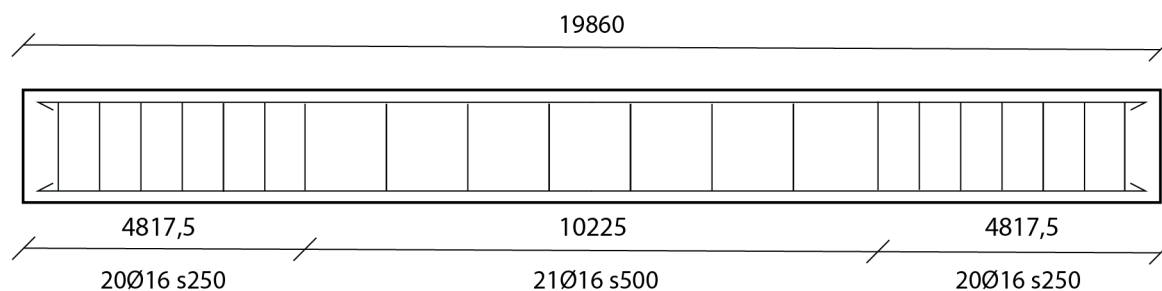
Erforderlig tvärkraftsarmering vid upplag beräknades enligt Bärande konstruktioner del 1, kap B6.2 (Emrani m. fl., 2013). För att effektivisera och undvika överdimensionering beräknades erforderlig minimiarmering som placerades in i mittenområdet där dess kapacitet var högre än behovet.

	Moment [kNm]	Tvärkraft [kN]	Sprickbredd [mm]	Nedböjning [mm]
Kapacitet	10711	1112	0,16	49,00
Krav	5534	876	0,3	49,65
Utnyttjandegrad	52 %	79 %		

Tabell 10.6: Beräknad kapacitet för balken



Figur 10.7: Slutgiltigt tvärsnitt för balken. Författarnas egna bild.



Figur 10.8: Inläggning byglar för balken. Författarnas egna bild.

11 Diskussion

Den huvudsakliga uppgiften var att utreda, analysera och slutligen dimensionera en järnvägsbro som ingår i Roslagsbanan. Den bakomliggande tanken var att driftsäkra kollektivtrafiken samt att skapa en planskild korsning för ökad trafiksäkerhet. Uppgiften är väldigt bred vilket öppnar för flertalet infallsvinklar och ingen förbestämd lösning, mer än att uppgiften ska lösas enligt de krav som föreligger bron. Diskussionskapitlet nedan kommer att belysa synen på använt källmaterial, tillvägagångssätt och svårigheter vid analysering av lämplighet, den problematik och antaganden som förekommit under dimensioneringsprocessen och till slut den återstående dimensionering som krävs för att upprätta järnvägsbron över Ullna-kvarnväg.

11.1 Förstudie och analys av källmaterial

Under det första skedet då arbetet utgjordes av en litteraturstudie inhämtades material och fakta från flertalet skilda källor. De största delarna har hämtats ur validerad litteratur som använts under flertalet tidigare kurser vid Chalmers tekniska högskola samt av rapporter från myndigheter i Sverige (till exempel Trafikverket). När spektrat minskat och mer specifika delar inom brobyggnad studerades visade det sig vara ytterst svårt att finna helt oberoende och trovärdiga källor. Inom den smalare domänen är det oftast sakkunniga företag som delar sin kunskap, vilket kan ses som problematiskt då det allt som oftast föreligger viss ekonomisk vinning med att dela sina kunskaper och således marknadsföra sina idéer. Dock måste det understrykas att det är företag som dagligen arbetar i branschen och besitter gedigen kunskap och erfarenhet inom ämnet. Vi har därför studerat olika företagsidéer för att finna och gradera dess trovärdighet.

Under dimensioneringsprocessen har litteratur och styrande dokument från myndigheter i Sverige samt styrande dokument från den europeiska kommissionen och Efta (den europeiska frihandelssammanslutningen) använts, vilket stärker och validerar den dimensionering som tagits fram.

11.2 Urvalsprocess och det valda konceptet

Att urvalsprocessen skulle vara uppdelad i två delar stod klart relativt tidigt under arbetets gång, detta eftersom det finns en mängd olika brotyper som behövde utvärderas. Den första urvalsprocessen syftade främst till att urskilja vilka brotyper som lämpade sig för den geografiska platsen och som kan konstrueras för spännvidden. Urval 1 var således inte speciellt tankekrävande, utan krävde enbart ett strukturerat och analytiskt tillvägagångssätt för att finna ett fåtal potentiella kandidater till urval 2.

I urval 2 sattes relevanta utvärderingskriterier upp och viktades mot varandra för att sedan utvärdera och poängsätta varje koncept och på så sätt finna det koncept som erhöll högst poäng. Tillvägagångssättet var relativt nytt för alla inblandade i gruppen men det uppfattades som väldigt kraftfullt då det blev konkret, transparent samt lämnade ett entydigt resultat. Det problematiska med arbetssättet var att avgöra vilken kategori som vägde tyngst och hur hög poäng vardera konceptet skulle erhålla. Då det är personlig bedömning som betygsätter och rankar ansåg vi att det förelåg risk att koncept favoriseras, vilket kunde ge utslaget att ett koncept värderas högst trots att det inte är det bästa alternativet. Gruppen beslutade att genomföra processen med alla deltagare på plats för att minimera och begränsa inblandandet av den enskilda individens inflytande och åsikt. På så vis kunde urvalet baseras på en kollektiv bedömning.

Det koncept som först togs fram var balkrambron. Bron svarade till alla de kriterier som satts upp

och lämpade sig väldigt bra på platsen. Då den fria höjden på 4.7 meter måste säkerställas ställer det krav på en slank konstruktion som inte har för stor underbyggnad och därför beslutade vi oss för att överlägga beslutet av bro med gruppens olika handledare. Efter samtal där vi blev informerade om preliminära dimensioner för vår konstruktion valde vi att exkludera balkrambron, detta för att konstruktionen krävde en grövre underbyggnad än vad som var möjligt. Balkrambron uteslöts, vilket gjorde att en ny bro fick ta plats i urval 2. Slutligen valde vi att gå vidare med trågbalkbron, detta efter poängsättning, men också efter överslagsräkningar som verifierade konceptet som lämpligt.

11.3 Dimensioneringsprocess

Det som framför allt styr dimensioneringen och utformningen av bron är som sagt kraven ställda i projektbeskrivning A, se Bilaga A.

I den preliminära dimensioneringen av plattan görs antagandet att axellasten från tåget sprids jämt över en breddmeter, vilket är en förenklad syn. Tåglasten sprids i verkligheten 4:1 genom ballasten på alla sidor av slipersen vilket skulle innebära att det skulle finnas sektioner av bron som inte påverkas av den. Med antagandet att lasten sprids jämt ökar vi påverkan av lasten vilket ökar den maximala moment- och tvärkraftsfördelningen. Detta ses därav som ett konservativt antagande som medför en större tillförlitlighet av plattans bärförmågan. Förenklingen att ballastlagret är jämt fördelat över hela plattans spännvidd, 5,6 m, kompenserar för den bortsedda egentygnden av balkarna som skulle verkat i plattans ändar. Den totala påverkan som inkluderingen av dessa skulle bidragit med är liten till marginell och ballastens egentygnd över dessa sektioner uppväger detta.

Plattan är kraftigt överdimensionerad när det kommer till tryckarmeringsmängd. Detta är en praktisk detalj för att kunna fästa tryck- och dragarmeringen kontinuerligt som möjliggör att plattans krafter kan föras ut till balkarnas tvärkraftsarmering som sedan för upp dem i balkarna. Snittet i vilket tryckarmering ligger något kritiskt sett till vart tryck- och dragzon för plattan ligger i stadium III. Det tillsammans med dess överdimensionering föranleder antagandet av att tryckarmeningen inte flyter. Detta kan ses som något oekonomiskt men nödvändigt för att kunna få ett fungerande system även om det resulterar i en dålig utnyttjadgrad av moment- och tvärkraftskapaciteten.

I verkligheten kommer balkarnas och plattans armeringar ha viss interaktion och höja varandras kapaciteter. Även längsgående armering i båda elementen besitter tvärkraftskapacitet som gör att tvärkraftsbehovet egentligen minskas. Detta har inte tagits i beaktning vilket höjer dimensioneringsgraden.

Vid dimensionering av bron användes samma förenklade ballastmodell som för plattan samt att spåret var förskjutet $r/18$ mot beräknad balk. Utifrån Bilaga N skapades sju stycken lastfall som ansågs kritiska och de dimensionerande krafterna beräknades.

Dimensioneringen av balken var beroende av dimensioneringen av plattan då dragarmeringen längsled placerades ovanpå dragarmeringen tvärlängs för att underlätta monteringen. Byglarna fästs under dragarmeringen i balken och i sidan av den kontinuerligt bundna tryck- och dragarmeringen i plattan vilket medför att byglarna måste placeras med en multipel av avståndet mellan tryck- och dragarmeringen i plattan.

Vid beräkningar i bruksgränsstadiet antar vi att balkarna är uppspruckna då vi inte använt oss av förspänd armering tillsammans med den långa spännvidden. De kritiska faktorerna under dimensioneringen av balkarna var att klara sprickbredden och nedböjningen som främst effektiviseras genom en förhöjningen av balkliven. För att undvika för stor egentygnd ökades livet något samtidigt som antalet armeringsstänger ökades vilket ledde till en tätare sprickfördelning och mindre sprickbredd och ett högre yttröghetsmoment som minimerade nedböjningen.

11.4 Återstående dimensionering

Den preliminära dimensioneringen av bron har koncentrerats till brobanan och den bärande konstruktionen, plattan och balkarna. Tillvägagångssättet har således utelämnat betydande delar och studier som krävts för att trågbalkbron över Ullna-kvarnväg skulle bli verklighet. I denna del kommer den återstående dimensioneringen att övergripande diskuteras och offentliggöras, särskilt kommer lastfall, armeringshantering, landfästen, grundläggning samt brodetaljer att överläggas.

Då brobanan och överbyggnaden studeras och dimensioneras är det ett flertal laster som inte tas hänsyn till med argumentet att de inte ingår i den preliminära dimensioneringen. De horisontella lasterna (broms- och accelerationskrafter) hanteras och beaktas enbart då lagren till bron och landfästet dimensioneras, vilket är en förenkling och om den inte gjordes skulle en kompletterande lastkombination behövt tas fram. En ytterligare horisontell kraft som vi avgränsar oss ifrån är temperaturlaster, där antagandet om tillräcklig övergångskonstruktion förhindrar uppkomsten av temperaturrelaterade spänningsfenomen.

För att minska användandet av byggmaterial och således minska det ekologiska avtrycket, bör tvärsnittet och de bärande komponenterna optimeras för att inte bruka mer än vad som krävs. Samma resonemang är applicerbart på armeringen, där beräkningar beträffande avkortningar kan göras för att optimera användandet av stål. För att finna lämplig position på avkortningarna beräknas dragkraftsbehovet för plattan och balkarna baserat på moment- och tvärkraftsfördelningen i de båda elementen. Genom att analysera dragkraftsbehovet visualiseras dragarmeringsbehovet och således var armeringen kan kortas. För att erhålla tillräcklig kapacitet vid avkortning måste erforderlig förankringslängd beräknas för att säkerställa att kapaciteten svarar mot behovet enligt kurvan för dragkraftsbehovet. Som nämns i kapitel 2.2.2 är mekanisk utmattning ett problem när stål brukas, vilket måste beaktas och vidare utredas för att säkerställa brons kapacitet under den tekniska livslängden (120 år).

Grundläggningsmetod nämns enbart principiellt, där en potentiell metod beskrivs. Dimensionering av pågrundläggningen skulle vidare behöva utredas, likaså gäller landfästernas grundplatta som måste konstrueras för att överföra krafter till de spetsburna pålarna och vidare till fast berg. Avgränsning för att dimensionera pålarna görs helt och hållet, med undantaget att beskriva hur pålarna bör anläggas. Landfästena består av en frontmur och vingmurar, frontmuren har preliminärt dimensionerats i brottgränstillstånd för tillräcklig momentkapacitet, mot livtrycksbrott och skjuvglydsbrott. Vidare bör också vingmurarna konstrueras och dimensioneras för att klara jordtrycket från järnvägsbanken.

Vidare är det tekniska brodetaljer som kräver djupare utredning. Räcken nämns enbart principiellt och redovisar enbart vilka höjdkrav som finns. Skyddsräckena behöver dimensioneras för de föreliggande olyckslasterna som kan förekomma, samt att påkörningsräcken som skyddar landfästena i marknivå bör projekteras. Övergångskonstruktionen är framtagen och antagen utifrån de lager som används samt i samråd med handledare. Ingen grundlig utredning ligger till grund för förslaget, vilket därför vidare behöver utredas för att konfirmera en spänningsfri övergångskonstruktion. Hänsyn har heller inte tagits till elförsörjning, vare sig det gäller konstruktions- eller utformningsmässigt.

12 Slutsats

För att svara till syftet resulterade den första delen av rapporten i en litteraturstudie och urvalsprocess, där fördjupning inom brobyggnad lade grund till den sista delen av arbetet, den preliminära dimensioneringen av järnvägsbron över Ullna-kvarnväg. Järnvägsbron ska frambringa en säker korsning mellan järnväg och biltrafik, en planskild korsning. Fördjupning inom brobyggandets olika skeden, tillsammans med beställarkrav och riskanalys åskådliggjorde den mest lämpliga bron för platsen, balktrågbron.

Balktrågbron som genom urvalsprocessen var den mest lämpliga bron för den geografiska platsen kommer att uppföras helt i armerad betong, med undantaget ett skyddande tätskikt för att öka dess beständighet. Brobanan har formen av ett tråg, där den primära bärande konstruktionen är två rektangulära balkar som samtidigt agerar kantbalkar. De två primära balkarna sammankopplas med ett sekundärt bärverk, en gjuten platta. Genom utformningen och verkningssättet kan last från plattan överföras till huvudbalkarna och således kan underbyggnaden av bron minimeras för att svara mot kravet på den fria höjden. Brobanan placeras på pot-lager som angjorts på platsgjutna landfästen, vilket i sin tur är anlagda på en stabil pålgrundläggning som dimensionerats för de geotekniska krav som föreligger konstruktionen.

Den preliminära dimensioneringen av bron bärande konstruktion bygger på Eurokoder och SSL:s ändringar av TRVK Bro 11. Då det enbart är en förenklad och preliminär beräkningsgång som följer har avgränsningar och förenklingar gjorts. Med samma resonemang är tvärsnittet inte helt optimerat, utan består av helt rektangulära former och samma form längs med hela spännvidden. Det valda konceptets preliminära dimensionering är således enbart en utvärdering av de beställar- och hållfasthetskrav som råder.

Produkten av arbetet blev en ändamålsenlig bro, som verkar för ökad trafiksäkerhet och driftsäkerhet för kollektivtrafiken på Roslagsbanan. Genom en lyckad urvalsprocess och ett effektivt utformat koncept, svarar järnvägsbron mot de krav och syftet som föreligger byggnationen. Genom måluppfyllnad och genomförbarhet kan den preliminära dimensioneringen ses som ett förstadium till mer avancerade beräkningar och därmed en potentiell framtida bro.

Referenser

- Arbetsmiljöverket. (utan år). Byggnadsställningar. Hämtad 7 mars 2019, från <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/broschyrer/byggnadsställningar-broschyr-adi512.pdf>. (Se sidan 10)
- Arbetsmiljöverket. (2014). Byggnads- och anläggningsarbete. Hämtad 15 februari 2019, från https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/byggnads-och-anlaggningsarbete-foreskrifter-afs1999-3.pdf?fbclid=IwAR2jIn9Vkymgxl02AodaYS-k8llxqUZvJ-5tiyOvc_NDCYIY80RP-Q807H0. (Se sidorna 10, 14)
- Arbetsmiljöverket. (2017). Fysiska risker vid byggnads- och anläggningsarbeten. Hämtad 13 februari 2019, från <https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/bygg/risker-vid-byggnad--och-anlaggningsarbeten/fysiska-risker-vid-byggnads--och-anlaggningsarbete/#3>. (Se sidorna 12, 14)
- Arbetsmiljöverket. (2018a). Arbetsmiljölagen. Hämtad 13 februari 2019, från <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/bocker/arbetsmiljölagen-bok-h008.pdf>. (Se sidan 11)
- Arbetsmiljöverket. (2018b). Kemiska risker och luftföroreningar. Hämtad 13 februari 2019, från <https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/kemiska-risker-och-luftfororeningar/>. (Se sidan 12)
- Banverket. (2007). *Broprojektering Handbok BVH 583.20*. (Se sidorna 8, 24, 26).
- Betongindustri. (utan år). Platsgjutet byggande. Hämtad 13 februari 2019, från <https://www.betongindustri.se/sv/Betongindustri-platsgjutet-byggande>. (Se sidan 9)
- BPAB. (2018). Kombination av fiber och plastmatris. Hämtad 9 april 2019, från <https://www.bpabco.com/svenska/om-fiberkomposit/extended/>. (Se sidan 4)
- Burstrom, P.-G. (2007). *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund Studentlitteratur AB. (Se sidorna 3, 4).
- Dahlblom, O. & Olsson, K.-G. (2015). *Strukturmekanik: modellering och analys av ramar och fackverk*. Lund Studentlitteratur AB. (Se sidan 149).
- ELU. (2016). Erik Olsson Doktorerar om Broar i FRP-komposit. Hämtad 9 april 2019, från <http://www.elu.se/2016/08/erik-olsson-doktorerar/>. (Se sidan 4)
- Emrani, M. A., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2011). *Bärande konstruktioner Del 2*. Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Avdelningen för konstruktionsteknik. Göteborg. (Se sidorna 4, 31, 32).
- Emrani, M. A., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner Del 1*. Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Avdelningen för konstruktionsteknik. Göteborg. (Se sidorna 3, 13, 31–33).
- Google. (utan år-a). 59°27'51.5N 18°09'29.2"E. Hämtad 8 maj 2019, från <https://goo.gl/maps/dtxeQVQcatZ81V6M9>. (Se sidan 1)
- Google. (utan år-b). 59°27'51.5N 18°09'29.2"E. Hämtad 8 maj 2019, från <https://goo.gl/maps/ToAmjUageUc2TJhB9>. (Se sidan 1)
- Hercules Grundläggning AB. (2018). Betongpåleboken. Hämtad 6 maj 2019, från https://hercules.se/wp-content/uploads/2174-2004-Brochure_Hercules_Betongp%C3%A5lehandboken_A5_VERS7.pdf. (Se sidan 25)
- MSB. (2012). *Att integrera risk- och säkerhetsfrågor i MKB-processen*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (Se sidan 15).
- Nationalencyklopedin. (utan år). Utmattning. Hämtad 26 februari 2019, från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/utmattning>. (Se sidan 4)

- Pettersson, M. & Hännestrand, S. (2017). *Broförvaltning-En studie av beslutsförfattandet kring brounderhållsarbeten* (examensuppsats, Kungliga tekniska högskolan, byggteknik och design). (Se sidan 4).
- Region Stockholm. (2018). Österskärslinjen på Roslagsbanan. Hämtad 4 februari 2019, från <https://www.sll.se/verksamhet/kollektivtrafik/aktuella-%20projekt/Roslagsbanan/Roslagsbanans-Osterskarslinje/>. (Se sidorna 1, 13)
- Stålbyggnadsinstitutet. (2016). Brobyggnad. Hämtad 16 februari 2019, från <https://sbi.se/om-stal/brobyggnad>. (Se sidan 3)
- StoScandinaviaAB. (2019). Kolfiberförstärkning. Hämtad 9 april 2019, från http://www.sto.se/sv/produkter_system/betong/kolfiberfoerstaerkning/oerversikt.html. (Se sidan 12)
- Strängbetong. (utan år). Broar. Hämtad 13 februari 2019, från <https://www.strangbetong.se/byggsystem/broar/>. (Se sidan 9)
- Svensk Standard SS-EN 10088-4. (2009). *Rostfria stål - Del 4: Tekniska leveransbestämmelser för plåt och band för byggprodukter av korrosionshårdiga stål*. Svensk Standard. (Se sidan 27).
- Svensk Standard SS-EN 1990. (2014). *Eurocode-Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. Svensk Standard. (Se sidorna 28, 29).
- Svensk Standard SS-EN 1991-2. (2003). *Eurokod 1: Laster på bärverk-Del 2: Trafiklast på broar*. Svensk Standard. (Se sidan 28).
- Teknikens-Värld. (2015). Nu byggs Sveriges första bro i plast. Hämtad 7 mars 2019, från <https://teknikensvarld.se/nu-byggs-sveriges-orsta-bro-i-plast-185354/>. (Se sidan 3)
- Trafikförvaltningen. (2014). *SSÄ SÄK-0288 LASTFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SL:s SPÅRBÄRANDE BYGGNADSVÄR*. Trafikförvaltningen. (Se sidorna 24, 28, 29, 31).
- Trafikverket. (2008). *BaTMan Bro och tunnel management*. Sektionen för bro- och tunnelteknik. (Se sidorna 5–7).
- Trafikverket. (2015). *BaTMan (Bro och tunnel management - Handbok)*. Hämtad 7 mars 2019, från <https://batmanhandbok.trafikverket.se/forvaltning/forvaltningsaktiviteter/inspektion/genomforande/planering/>. (Se sidorna 11, 12, 15)
- Trafikverket. (2016). *Råd Brobyggande*. (Se sidan 27).
- Trafikverket. (2018a). *Broprojekteringshandbok förhandsutgåva*. (Se sidorna 5, 11, 15, 26).
- Trafikverket. (2018b). *Krav Brobyggande*. (Se sidorna 26, 31).
- Transportstyrelsen. (2017). *Säkerhetsrapport Järnväg*. Avdelningen Väg och Järnväg. (Se sidan 1).
- Vägverket. (1994). *Allmän teknisk beskrivning för broar BRO 94 7. Brounderhåll*. (Se sidan 3).
- Vägverket. (1996). *BROPROJEKTERING-En handbok*. Hämtad 13 februari 2019, från https://www.trafikverket.se/contentassets/2d3974dd742a48b1af8df0345a5d56b3/broprojektering_en_handbok_kap_1_4.pdf. (Se sidan 12)
- Vägverket/Banverket. (2009). *TK Bro*. Hämtad 13 februari 2019, från <https://trafikverket.ineko.se/se/tk-bro>. (Se sidan 11)

A Projektbeskrivning A

REF: ml_5559-620531.dwg, Skarvingsplan, utsk.dwg, ml_5559-630004-18.dwg, ml_5559-630003-21.dwg, ml_5559-630001.dwg, ml_5559-630001-18.dwg

ALLMÄNNA ANVISNINGAR

FIX: PKT NR. 9183W
X-KOORD: 6594403.085
Y-KOORD: 158965.453
Z-KOORD: +17.575

HÖJDSYSTEM: RH 2000
KOORDINATSYSTEM: SVEREF99 18 00

LASTER: BRON SKALL VARA DIMENSIONERADS ENLIGT SAK-0288 LASTFÖRSÄTTNINGAR FÖR SL:s SPÄRBÄRANDE BYGGNADEVERK INK. X60 TÅG.
REGELVERK: ÅR BERÄKNAD ENLIGT TRVK BRO 11 (TRV PUBL. NR 2011:085) OCH SUPPLEMENT (TRV 2014/82131) SAMT EKS 9 (PUBL. 2013:10).
BRON SKALL UTFÖRAS ENLIGT TEKNISK BESKRIVNING HANDLING 11.5, PÅLAR ENLIGT HANDLING 11.1.

KONSTRUKTIONSTYP: KODFÖRTECKNING OCH BESKRIVNING
INKL. KONSTRUKTIONSMATERIAL ENLIGT BaTMAN 2008.
GRUPP:
KOD:
BROTYP:
BROTYA:

LIVSLÄNGDSKLASS: TEKNISK LIVSLÄNGD L100 (20 ÅR).
SÄKERHETSKLASS: SK3 / GEOTEKNISK KATEGORI 2.
BELÄGGNING: 500mm BALLAST UNDER RUK.

GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDE: SE TEKNISK BESKRIVNING 11.5
UPPRÄTTAD AV COWI DATERADE 2017-09-19.
BOTTENPLATTOR GRUNDLÄGGS PÅ BORRADE STÅLRÖRSPÅLAR.

FYLLNING MOT BRO UTFÖRS AV GRUSKROSSMATERIAL ENLIGT CEB 5201.
TÄTSKIKT: BRON FÖRSES MED TÄTSKITSMATT 5mm ENLIGT JB.E.111 OCH 40mm PGA ENLIGT DCF-121.

KVALITETSYSTEM: HANDLINGARNA ÄR UPPRÄTTADE OCH HAR GENOMGÅTT KONTROLL OCH VERIFIERING ENLIGT COWI ABS VERKSAMHETSSYSTEM IMPROVE.

LAGERBYTJE: SE RITNING -5011 OCH -5021

ÖVRIG INFORMATION: AVVATTNING ÅSTADKOMS GENOM ÖVERBYGGNADES LUTNING I SPÅRENS LÅNGRIKTNING 0.75% OCH TVÄRLUTNING 1.50

ÖVRIG INFORMATION FINNS ATT FINNA I TILLHÖRANDE BÄMUK, HANDLING 11.5

FÖRKLARINGAR

- AVVÄGNINGSDUBBAR SKALL UTFÖRAS ENLIGT TB, DEP. 1831.
- EXP-DUBB ENLIGT TB, DEP. 185.
- GRÄNS MELLAN BROARBETE HANDLING 11.5 OCH MARKARBETE HANDLING 11.1.



Telefon: 010-250 10 00
E-post: cowi.se
Webbplats: cowi.se

Uppdragsnr	Uppdragsnamn	Revidering	Revidering	Revidering
A65201	A. Egerlind	Rev	Jarl	Revidering
Gransad	D. Thorell	Gransad	H. Johansson	Gransad
Gransad	G. Johansson	Gransad	H. Johansson	Gransad
Gransad	G. Johansson	Gransad	H. Johansson	Gransad

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

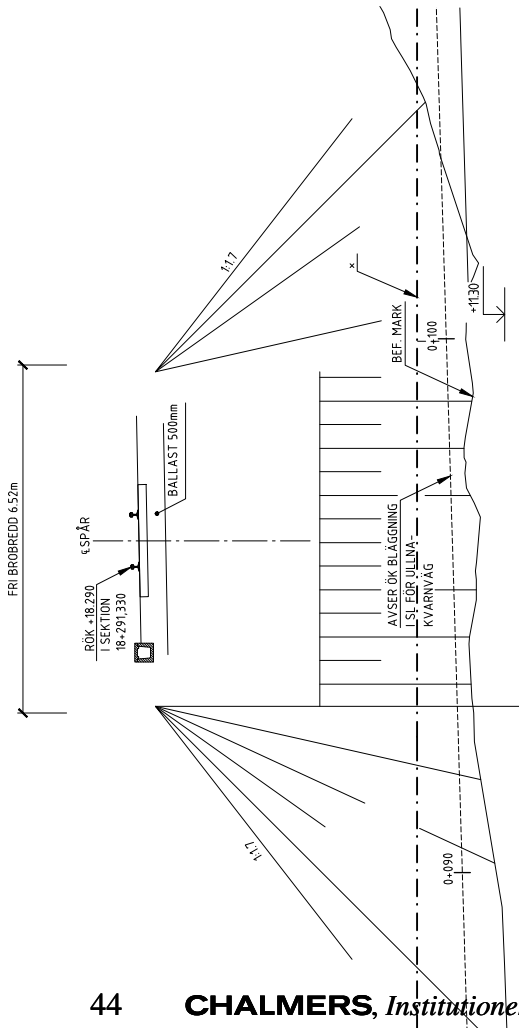
Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

Revidering	Revidering	Revidering	Revidering	Revidering
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20
2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20	2017-03-20

B Projektbeskrivning B



SECTION B-B

AVSER GRÄNSDRAGNINGSLINJE MELLAN PÅLDÄCK OCH HANDLING 11.1

MATERIALPARAMETER BROLÄGE

MATERIAL	HÅLLFASTHETSPARAMETER	DEFORMATIONSEGENSKAPER	TUNGHET ÖVER/UNDER VÄTTEN
BETÄTTNING FYLNING (+11.3 - +10.0m)	Φ 30° Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	E _w SMPa Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	18/11 kN/m ³
ORGANISK JORD (+11.5 - +11.0m)	CuK-SKPpa Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	E _w 0.5MPa Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	14/4 kN/m ³
TÖRSKORPELLERA (+11.0 - +9.5m)	CuK-20Kpa Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	E _w 10MPa Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	18/8 kN/m ³
LERA (+9.5 - +6.0m) (+9.5 - +8.0m)	CuK-C-PROFIL Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	E _w 2MPa Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	17.5/7.5 kN/m ³
SILT (+6.0 - +6.0m)	Φ 26° Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	E _w SMPa Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	17/9 kN/m ³
FRIKTIONSMATERIAL (+6 - +5.5 TILL 16.5)	Φ 37° Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	E _w 20MPa Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	20/12 kN/m ³
BERGTYP 1 (-16.5M) (-15.5 TILL 16.5)	Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	f _w 8MPa Υ _{Pa} .13 (BROTT) Υ _{Pa} .10 (BRUK)	26/16 kN/m ³

BRONS START- OCH SLUTPUNKT

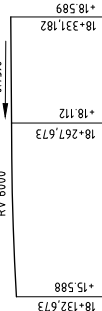
PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM.
STARTPUNKT	18+264,865	6594,385,330	158901,775	
SLUTPUNKT	18+296,297	6594,399,679	158930,301	Lr=70



PLANDATA U-SPÅR

SECTION	X	Y	ANM.
18-092,084	6594.317,725	15874.2.873	R=1500
18-251,545	6594.379,475	158889.811	L=70
18-321,545	6594.410,961	158952.329	RL
18-482,424	6594.487,578	159095.713	

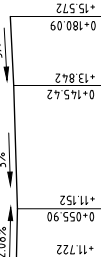
PROFILDATA U-SPÅR



PLANDATA ULLNA KVARNVÄG

SECTION	X	Y	ANM.
0+087.360	6594398.164	158913.197	RL
0+113.571	6594374.738	158939.859	

PROFILDATA ULLNA KVARNVÄG



ALLMÄNNA ANVISNINGAR

SE RITNING -5001 OCH TEKNISK BESKRIVNING HANDLING 11.5,
PÅLÅR ENLIGT HANDLING 11.1.

ANVISNINGAR BETONG

FORM: FORMÅTTNING OCH AVFORMNING UTFÖRS ENLIGT BARKU EBB 1.
ERFÖRDLIG TRYCKHÅLLFASTHET VID FORMGIVNING, STÖDJANDE FORM 60% AV f_{cm,cube}.
MPa OCH BÄRANDE FORM 36 MPa.
EXPONERINGSKLASS:
BRÖ

HÅLLFASHETSKLASS:
-HÅLLFASTHETSKLASS: C35/45.
VCT:
VCT < 0.40

TEMPERATURSPRICKRISK:
ENLIGT BaMUK YCC

ANVISNINGAR ARMERING

BRÖ ARMERAS MED ARMERINGSSTÅL K500C-T
ARMERINGSPECIFICERING:
SKARVARNA FÖRSKUTS SÅ ATT AVSTÅNDET MELLAN TVÅ INTILLGÅNDE
SKARVAR BLIR STÖRRE ÄN 0,3 x SKARVLÅNGDEN. HÖGST VARANNAN
STÅNG FÅR SKARVAS I SAMMA SNITT.

SKARVLÄNGDER - OM INGET ANNAT FRAMGÅR AV ARMERINGSFIGUR:

STÅNGDIAMETER	SKARVLÄNGD	AVSTÅND MELLAN FÖRSKUTJUNA SKARVAR UK/ØK
16mm	600mm/900mm	180mm/270mm
20mm	800mm/1200mm	240mm/360mm
25mm	1100mm/1600mm	330mm/480mm

TÄCKSKIKTETS BASMÅTT, TB (INKLUSIVE TOLERANS):

ANM. 1) TB RÄKNAS FRÅN PAP (PÅLARNAS INGÅT 200mm).
BASMÅTT ÄR TÄCKANDE BETONGSKIKT, INKLUSIVE EN UTFÖRANDETOLERANS PÅ 10mm. ANGIVET MÅTT GÄLLER ÄVEN TILL MONTERINGSJÄRN OCH DROPPNÄSA.

FÖRKLARINGAR

— — — — — GRÄNS MELLAN BROARBETE HANDLING 11.5
OCH MARKARBETE HANDLING 11.1

[illegible]

C Horisontella laster

Beräkning av vindlast tvärs brobanas längdriktning

[1] - SS-EN 1991-1-4:2005

$$F_{w,i} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,i} \quad [1] \text{ Ekvation (8.2)}$$

$$v_b = 24 \frac{m}{s} \quad \text{Enligt Boverkets karta med vindlastzoner}$$

$$C_e = 1,3 \quad [1] \text{ figur 4.2, terrängtyp 3 och } z = 5 \text{ m}$$

$$C_{fx} = 2,0 \quad [1] \text{ figur 8.3 med } d/b = 1,4$$

$$C = C_e \cdot C_{fx} = 2,6 \quad [1] \text{ Avsnitt 8.3.2}$$

$$A_{ref,x} = A_{ref} + 4 \cdot L \quad [1] \text{ Avsnitt 8.3.1 Tillägg för höjd av tåg enligt (3) b)}$$

$$A_{ref,x} = (1,7 + 0,6) \cdot L + 4 \cdot L \quad [1] \text{ Avsnitt 8.3.1 } A_{ref} = \text{balkens höjd} + 0.6 \text{ m}$$

$$A_{ref,x} = 132,3 \text{ m}^2 \quad \text{Med } L = 21,0 \text{ m (Längden för brobanan)}$$

$$\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3} \quad [1] \text{ Avsnitt 4.5 rekommenderat värde}$$

$$F_{w,x} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 24^2 \cdot 2,6 \cdot 132,3 = 123,8 \text{ kN}$$

Beräkning av vindlast längs brobanas längdriktning

$$F_{w,y} = 0,25 \cdot F_{w,x} = 30,96 \text{ kN} \quad [1] \text{ Avsnitt 8.3.4 rekommenderat värde}$$

Beräkning av broms- och accelerationskraft

[2] - SSÄ SÄK-0288

$$q_{broms} = 8 \text{ kN/m}, \quad [2] \text{ 6.5.3(6) Roslagsbanan}$$

$$F_{broms,max} = 870 \text{ kN}$$

$$q_{acceleration} = 5 \text{ kN/m} \quad [2] \text{ 6.5.3(6) Roslagsbanan}$$

$$F_{acceleration,max} = 480 \text{ kN}$$

$$F_{broms} = q_{broms} \cdot L = 168 \text{ kN} \quad \text{Med } L = 21,0 \text{ meter för brobanans längd}$$

$$F_{acceleration} = q_{acceleration} \cdot L = 105 \text{ kN}$$

D Spänntechnik TOBE FR4 Potlager



TOBE® FR4 potlager



Generellt

Nya TOBE®, potlager, typ FR 4 är en vidareutveckling av det tidigare FR 3. TOBE® har varit det ledande brolagret i Skandinavien sedan 1970-talet. Lagret är konstruerat enligt EN 1337-5 och är CE-märkt.

Användning

TOBE®, potlager används som flexibel upplagring för väg- och järnvägsbroar, offshorekonstruktioner och större byggnadskonstruktioner, där stora laster och rörelser ska upptas.

Uppbyggnad

TOBE®, potlager är utformat som en cylinder (pot) med kolv (pistong). Mellan pot och pistong ligger en gummiplatta i köldresistent gummi. Gummiplattan är fullständigt omsluten och kan betraktas som ett flytande medium under tryck, vilket tillåter rotation mellan lagerdelarna.

TOBE® lager delas in i tre typer efter funktion:

1. TOBE® F, fast lager
2. TOBE® A, allsidigt rörligt lager
3. TOBE® E, ensidigt rörligt lager

Beskrivning av de olika lagertyperna finns på nästa sida.

Fördelar med TOBE® potlager

- Tillåter stora vertikala och horisontella laster
- Tillåter stor rotation (tippvinkel)
- Tillåter stora rörelser
- Rörliga lager (A,E) har mycket låg friktionskoefficient
- Låg bygghöjd
- Kan bytas ut/demonteras och eventuellt shimsas
- Kan kontrolleras under användning
- Enkel och säker montering
- Konstruerade enligt EN1337-5 och är CE-märkta
- Produceras i Norge enligt NS-EN ISO 9001
- Kort leveranstid
- Speciallösningar utförs på förfrågan

Kvalitetskontroll

Spännteknik AB har utvecklat ett omfattande kvalitetsprogram för produktion av TOBE®, potlager och är sedan 1994 certifierat enligt NS-EN ISO 9001.

Laster och rörelser

Lagrens standarddimensioner är beräknade för följande laster i brottgränstillstånd:

Vertikalt, $V_{\max}$ fra 520–33400 kN

Horisontalt, $H_{\max}$ fra 0–3260 kN

Gränsvärden för belastningskombinationer, rörelser och dimensioner för de olika lagertyperna finns i tabellerna på sidan 9–11.

TOBE®, lager är som standard dimensionerade för en rotations-/tippvinkel på 20%. De rörliga lagren har i standardutförandet en rörelsekapacitet på +/- 50 mm eller +/- 100 mm. För allsidigt rörliga lager är rörelsen i tvärriktningen +/- 20 mm.

TOBE®, potlager kan dimensioneras och produceras för betydligt större belastning och rörelser på förfrågan.

Ytbehandling

Alla stålkomponenter i vårt TOBE®, program genomgår en ytbehandling enligt följande.

- Sandblåsning till Sa 2,5
- Metallisering till 85 mm med Zn/Al = 85/15
- Försegling med Epoxysealer 15–25 mm
- Täckmålning med epoxyfärg 100 mm vid montering mot stålkonstruktioner < 60 mm

Andra specifikationer kan utföras på förfrågan.

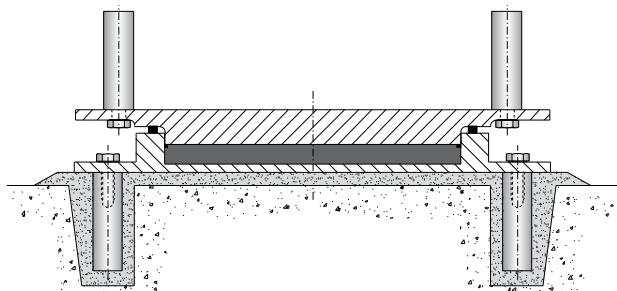
Utbyten/justering

Samtliga TOBE®, lager går att byta ut, utan övriga ändringar i konstruktionen. För att förenkla utbyten och justering av lagerhöjden kan lagren utrustas med en justeringsplåt över/under lagret.

Avläsning av rörelseindikator

För avläsning och kontroll av verklig position för rörliga lager har TOBE®, en skala med visare. Rörelsen kan läsas av på avstånd med kikare, om skalan och visaren placeras synliga från utsidan av konstruktionen. Placering kan bestämmas vid beställning av lager.

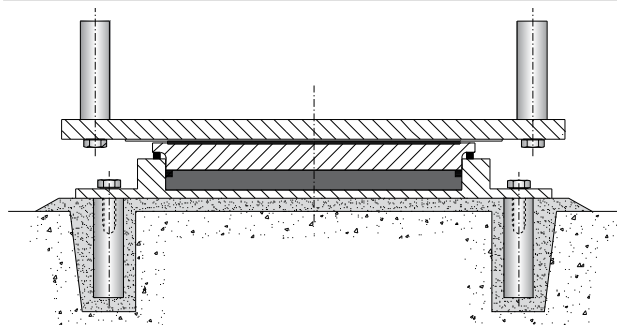
Fast lager, typ F



TOBE®, fast lager är sammansatt av två lagerplattor som förankras i över- respektive underkonstruktionen med förankringsdubbar. För stålkonstruktioner levereras lagren utan förankringsdubbar (bultar är inte inkluderade).

Mellan lagerplattorna ligger en köldresistent gummiplatta som tillåter lagren att rotera runt z-axeln. Lagrets utformning medför att lagerplattorna är låsta för rörelse i horisontalplanet.

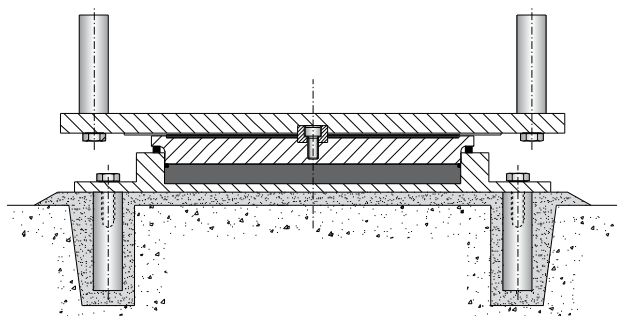
Allsidigt rörligt lager, typ A



TOBE®, allsidigt rörligt lager består av tre lagerplattor, där den övre och nedre lagerplattan fästs till den omkringliggande konstruktionen enligt beskrivningen för fast lager.

Rörelse i horisontalplanet uppnås med hjälp av ett glidskikt mellan pistongen och den övre lagerplattan. Glidskiktet består av en PTFE-platta behandlad med silikonfett. PTFE-plattan är nedfälld i pistongen. En rostfri stålplåt är fäst till den övre lagerplattan för att säkra minimal friktion vid rörelse.

Ensidigt rörligt lager, typ E



TOBE®, ensidigt rörligt lager har samma uppbyggnad som det allsidigt rörliga, bortsett från att pistongen är utrustad med en styrkil, infälld i lagrets övre lagerplatta, som förhindrar ena

För konstruktören

TOBE®, potlager är konstruerat enligt EN 1337-5. Konstruktören måste ta hänsyn till krav på dimensionering av intilliggande konstruktioner enligt gällande standarder, EN 1992-1-1:2004 och EN 1337-11.

1. Val av lagertyp

Följande kriterier måste vara kända:

1. Totala vertikala laster (ULS)
2. Totala horisontella laster (ULS)
3. Horisontella rörelser som lagret ska ta upp
4. Rotation/tippvinkel som lagret utsätts för

Vid val av lagertyp måste brokonstruktören avgöra om lagret ska vara fast eller om det ska vara rörligt i en eller alla riktningar horisontellt. På sidan 6 ges förslag till lagerkombinationer för olika typer av brokonstruktioner.

Det måste också definieras om omkringliggande konstruktioner är i betong eller stål.

Vid val av lager bör man se till att lagren placeras horisontellt eller i ett plan normalt på primärrörelseplanet så att rörelsen sker parallellt med brobanan.

2. Bestäm lagerdimension

Lagrens dimension bestäms av total vertikal belastning, som vanligtvis är egenvikt plus trafiklast inklusive lastfaktorer. Lager kan väljas i tabellen för aktuell lagertyp på sid 9–11. Det måste också kontrolleras att det valda lagret uppfyller kravet på de beräknade horisontallasterna. De angivna maximala horisontallasterna förutsätter att minimum vertikal last tillgodoses enligt tabellerna.

OBS! Tabellvärdena för lagren är baserade på betongkvalitet C40/50 enl. SS-EN 206-1.

För lastkombinationer som ligger utanför standardvärdena i tabellerna, vänligen kontakta oss för speciallösningar.

3. Dimensionering av fundament

För att beräkna lokalt tryck i fundamentet måste man känna till tryck och area där lasten verkar. Följande metod används:

a) Beräkning av höjd på undergjutning (H_U) enligt EN 1337-11 pkt 6.6

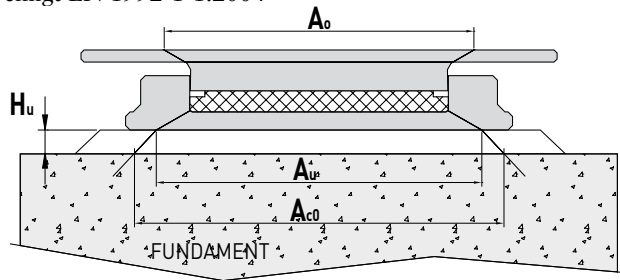
Tjockleken på den oarmerade undergjutningen (H_U) ska inte överstiga 50 mm, eller:

$$H_U = 0,1 \frac{A_U}{2\pi \sqrt{A_U/\pi}} + 15 \quad [\text{mm}]$$

- där den minsta av dessa två tjocklekar ska användas, men om höjden på undergjutningen måste ökas, måste konstruktören ta hänsyn till detta. Detta gäller både armering og förankringsdubbar.

b) Beräkna area mot fundament (A_{c0})

enligt EN 1992-1-1:2004



A_u och A_0 är angivna i tabellerna på sidan 9–11.

$$A_{c0} = \pi (\sqrt{A_U/\pi} + H_U)^2$$

c) Kontrollera lokalt tryck i fundament

enligt EN 1992-1-1:2004 pkt 6.7

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \leq 3,0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$$

För brokonstruktioner i Sverige begränsas den lokala tryckspänningen till $2,0 \cdot f_{cd}$ tillsvidare.

För dimensionering av fundament måste det tas hänsyn till de totala vertikala och horisontella lasterna, samt uppträdande moment till följd av rotation av lagret. Motsvarande lokalt tryck måste kontrolleras för konstruktionen över lagret.

4. Reaktionsmoment

Reaktionsmomentet som påverkar över- och underliggande konstruktion orsakas av:

1. Horisontalkraft
2. Vinkeländring av lagrets överdel
3. Friktion mellan pot-vägg och pistong

Reaktionsmomentet beräknas enligt följande:

$$M_{TOT} = M_H + M_{emax} + M_{\mu max}$$

M_{emax} och $M_{\mu max}$ kan adderas vektoriellt vid behov. En ren addition är dock alltid på den säkra sidan.

M_H , M_{emax} och $M_{\mu max}$ beräknas enligt följande:

i) Beräkning av M_H

$$M_H = H \times h \quad [\text{Nmm}]$$

M_H = Moment från horisontalkraft

H = Horisontalkraft i Newton [N]

h = Avstånd mellan kraftens angreppspunkt på pot-väggen och lagrets underkant [mm], (Se tabell för fast lager på sid 9 för värden av h för de olika lagerstorlekar som gäller både F-, A- och E-lager)

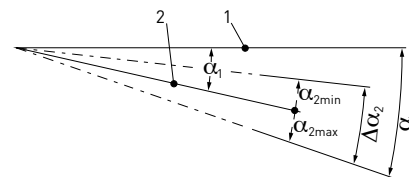
ii) Beräkning av M_{emax} (empirisk formel)

$$M_{emax} = 32 \cdot D^3 (F_0 + (F_1 \cdot \alpha_1) + (F_2 \cdot \alpha_{2max}))$$

M_{emax} = reaktionsmoment i [Nmm] från gummiplattan

D = gummiplattans diameter (se tabell sid 9)

α_1 , α_{2max} – se figur



1. Startposition efter montering av lager

2. Position pga α_1 av permanenta laster

α_{2min} = Negativ rotation av variabla laster

α_{2max} = Positiv rotation av variabla laster

$\Delta\alpha_2$ = Vinkel pga extrema positioner av variabla laster

$\alpha_{max} = \alpha_1 + \alpha_{2max}$

$F_0 = 0,00263$, $F_1 = 0,3255$, $F_2 = 2,02$

F_0 , F_1 och F_2 är dimensionslösa koefficienter som är fastställda vid fysiska tester och gäller för TOBE®, potlager.

iii) Beräkning av $M_{\mu max}$

$$M_{\mu max} = 0,07 \times H \times D$$

$M_{\mu max}$ = friktion mellan pot-vägg och pistong

H , D = se ovan

5. Vid avvikelser från tabellvärden

Horisontalkraftkapacitet är angiven i tabellerna på sid 9–11.
Om $V_{\min \text{ aktuell}} < V_{\min \text{ tabell}}$ reduceras $H_{\max}$ enligt följande formel:

$$H_{\max \text{ aktuell}} = H_{\max \text{ tabell}} - 0,2 (V_{\min \text{ tabell}} - V_{\min \text{ aktuell}})$$

$H_{\max}$ kan dock ökas till tabellvärde, om lagrets förankringskapacitet ökas. Kontakta oss för hjälp vid avvikelser från tabellvärden.

6. Lagrets rörelseområde

De rörliga lagrens totala rörelseområde fastställs utifrån behovet för rörelse i den aktuella konstruktionen. Rörelse kan vara orsakad av temperatursvängningar, krympning, krypning, sättningar och byggtekniska förhållanden, som t ex tillbakafyllning av massor och förspänning av konstruktionen.

Lagret ska beräknas för att ta upp alla rörelser som konstruktionen kan utsättas för. Vid rörelser utöver standardrörelser bör detta uppges vid förfrågan eller vid kontakt med oss.

7. Friktion vid rörelse

Friktionskraften som uppstår är beroende av den specifika ytbelastningen mot teflonplattan. Friktionskoefficienten reduceras vid ökande belastning och beräknas enligt EN 1337-2:2004.

$$\mu_{\max} = \frac{1,2 \cdot k}{10 + \sigma_{PTFE}} \quad \text{Hvor: } 0,03 < \mu_{\max} < 0,08$$

$k = 1,0$ för teflonplattan [MPa]

σ_{PTFE} = Tryck på teflonplattan [MPa]

Area teflonplattan (A_{PTFE}) är angiven i tabellerna sid. 10 och 11 [mm²]

8. Förinställning av lager

Vid beräkning av lagerkrav är det viktigt att ta hänsyn till rörelser i konstruktionen. Avsikten med förinställning är att långtidsrörelsen ska föregå symmetriskt över lagrets centerlinje. Genom att förinställa lagret kan man jämma ut tillfälliga rörelser, orsakade av förhållanden beskrivna i kapitel 6.

Exempel på beräkning av förinställning:

$$e = K + BM - B_{TOT}/2$$

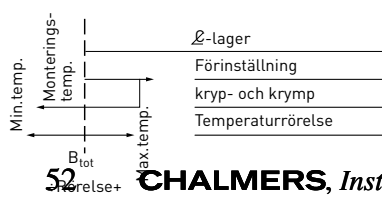
e = Lagrets förinställning

K = Beräknad kryp- och krymp rörelse

BM = Temperaturrörelser pga ändrad temperatur i förhållande till temperatur vid installation

B_{TOT} = Total temperaturrörelse

Exempel på rörelseschema:



9. Förfrågan på lager

I förfrågningsunderlag eller vid direkt förfrågan eller beställning av lager, kan det i många fall vara lämpligt att beskriva kraven på lagret utan att bestämma lagerdimensionen fullt ut. Spännteknik kan då välja en lagertyp som uppfyller de givna kraven. Detta ger möjlighet att skräddarsy den bästa lösningen för kunden, med hänsyn till kostnad, funktion och utförande.

Följande krav bör definieras:

- Maximal vertikallast med tillhörande horisontallast i brottgränstillstånd
- Minimum vertikallast med tillhörande horisontallast
- Maximal horisontallast med tillhörande vertikallast i brottgränstillstånd
- Krav på rotationskapacitet
- Krav på rörelse
- Speciella geometrikrav i förhållande till omkringliggande konstruktion (interface etc)

Tilläggsplåtar

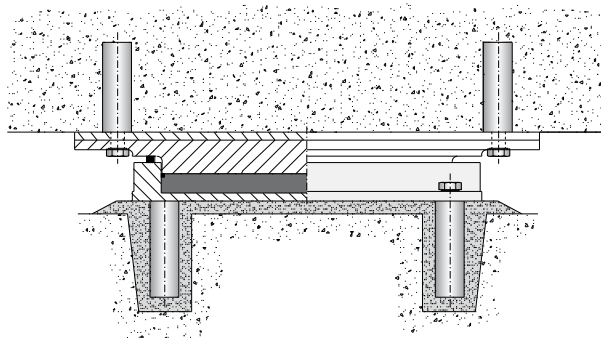
Alla TOBE®, lager är utbytbara i standardutförandet. Det kan i vissa situationer, t ex vid risk för sättningar, vara fördelaktigt att använda tilläggsplåtar över och/eller under lagret. Montering av justeringsplåtar och byte av lager blir därmed enklare. Standard tilläggsplåtar levereras i 10 mm tjocklek.

Tilläggsplåtar och justeringsplåtar levereras på beställning.

Förenklad procedur för montering av justeringsplåtar:

- Bultar i övre lagerplattan avlägsnas
- Överbyggnad justeras motsvarande sättningen + 10–20 mm
- Justeringsplåtar läggs in
- Överbyggnad sänks ned kontrollerat
- Bultarna monteras och dras åt

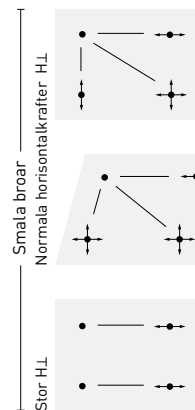
Vid sättningar över 20 mm bör speciella justeringsplåtar användas. Kontakta oss för assistans.



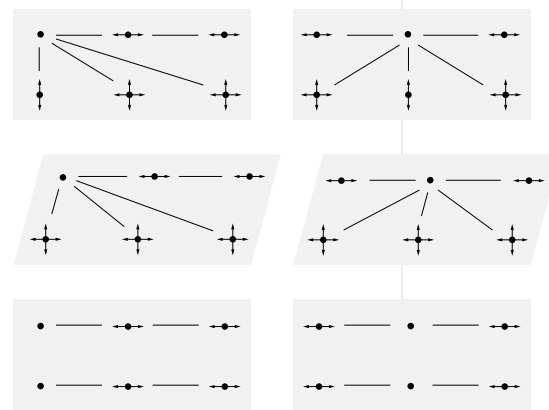
Exempel på användning av TOBE® lager

Teckenförklaring: ● TOBE® F Fast lager  TOBE® A Allsidigt lager  TOBE® E Ensidigt lager

Ett spann



Två spann

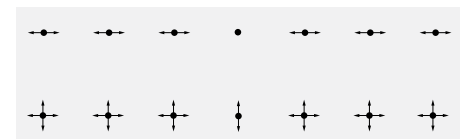


Flera spann (rak bro)

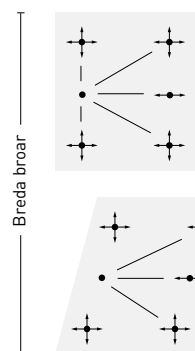
Mycket säkra grundförhållanden



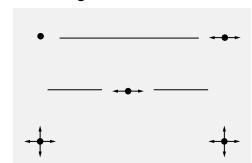
Säkra grundförhållanden



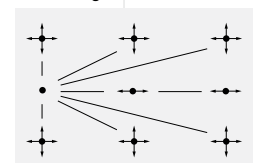
Osäkra grundförhållanden



Säkra grundförhållanden

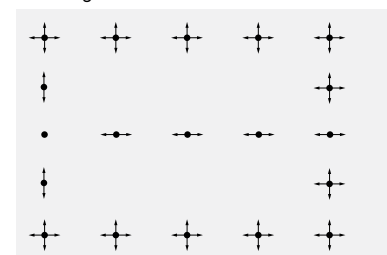


Osäkra grundförhållanden

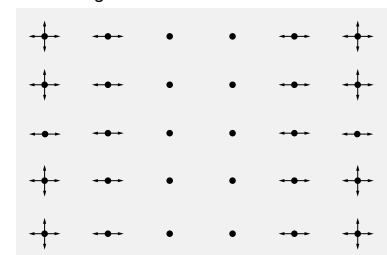


Flera spann (rak bro)

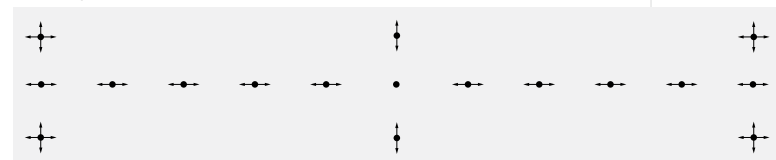
Säkra grundförhållanden



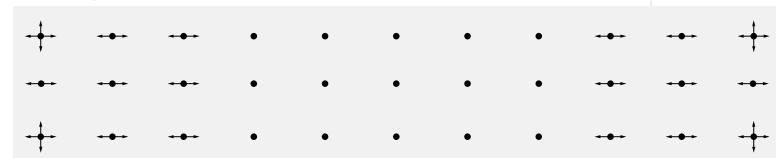
Osäkra grundförhållanden



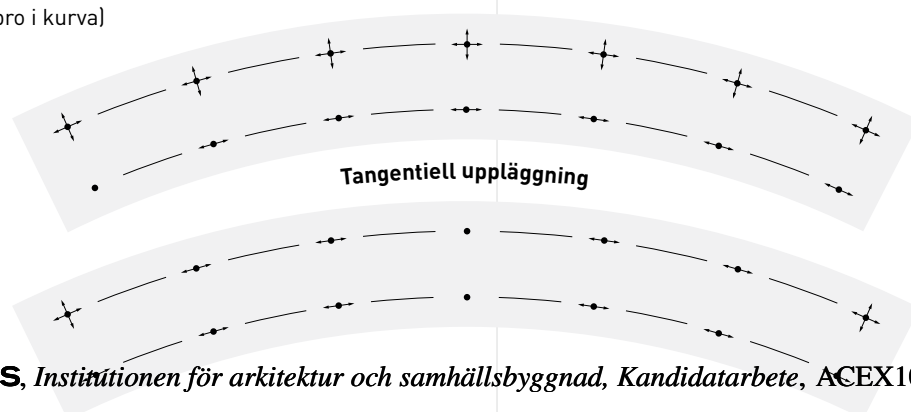
Säkra grundförhållanden



Osäkra grundförhållanden



Flera spann (bro i kurva)



För entreprenör/beställare

Vid beställning av brolager bör följande information finnas med:

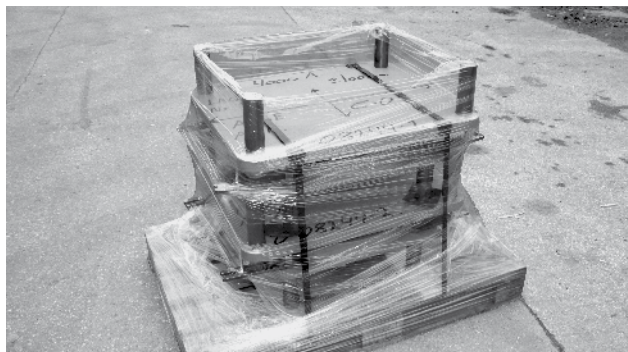
1. Specifik lagertyp, eventuella krav på laster och rörelser
2. Eventuell förinställning och riktning
3. Önskad märkning på lagrets övre lagerplatta
4. Placering av lagret (stöd, position etc)

Om denna information saknas, levereras lagren i neutral position och med standardmärkning.

Beställningsformulär finns på www.spannteknik.se

Leverans av lager

Vid leverans är lagren packade på pallar, fästa med spännband och täckta med krympplast. Vid leverans till byggsplats måste mottagaren ha tillgänglig utrustning för internttransport av pallarna till tillfällig lagerplats. Om det är lång tid från leverans till montering, bör lagren förvaras under tak.

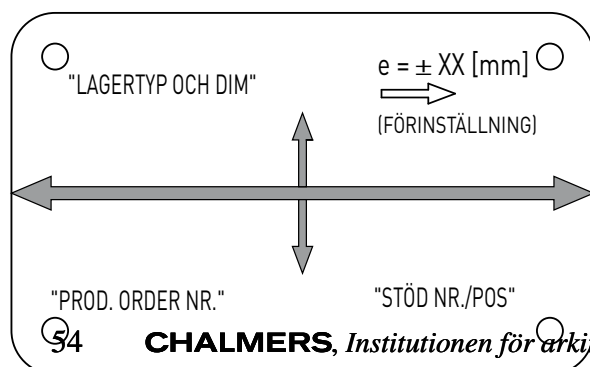


Märkning

Som standard märks lagren på den övre lagerplattan med följande information:

- Primär och sekundär rörelseriktning
- Eventuell förinställning och riktning av denna markerad med pil
- Lagertyp och rörelsekapacitet
- Vårt ordernummer
- Stödnummer (om uppgett vid beställning)
- Lagrets position på stödet (om uppgett vid beställning)

Figuren nedan visar ett exempel på märkning av ett allsidigt rörligt TOBE®.



Montering av lager

Monteringsanvisning medföljer alla lagerleveranser.

Monteringsinformation

TOBE® potlager ska monteras enligt brokonstruktörens anvisningar utarbetade på monteritningar för konstruktionen.

Ritningen ska ange:

- Måttangivna ursparningar för förankringsdubbar
- Inritad måttsatt övre lagerplatta som visar riktning för lagret
- Snitt av lagret med angiven förinställning inklusive riktning
- Plushöjd-överkant lager
- Krav på undergjutning och utförande
- Eventuell annan väsentlig information för montering av lagret

Generell beskrivning

TOBE® lagren är utrustade med 4 st 150 mm långa, Ø50/55 mm, förankringsdubbar på ovan- och undersidan. För stålkonstruktioner levereras lagren utan förankringsdubbar (bultar är inte inkluderade). Förankringsdubbarnas placering är angiven i tabellerna på sidan 9–11 för respektive lager.

Lagrens riktning vid montage

De fasta lagren (F) kan orienteras oberoende av konstruktionen, såvida inte brokonstruktören har angett en speciell riktning.

Ensidiga (E) och allsidiga (A) lager har glidplattor orienterade i lagrets rörelseriktning. Rörelseriktningarna är utmärkta på lagrets ovalsida, med primärriktning som en längsgående pil över hela glidplattan (A och E) och sekundärriktning som en kort pil på tvären (gäller endast A). Rörelseriktningarna är beskrivna av brokonstruktören och kan vara i brons längd- såväl som tvärriktning.

För transport och montage är lagren tillfälligt fästa med 4 st transportsäkringar, en i varje hörn (Typ A och E). När lagret är färdigmonterat och fastgjutet avlägsnas dessa och bultarna dras åt. De fasta lagren (F) är tillfälligt säkrade med 3 st M6 aluminiumbultar mellan pot och pistong. Dessa kan antingen kapas eller sitta kvar, de knäcks då vid första rotationsrörelsen.

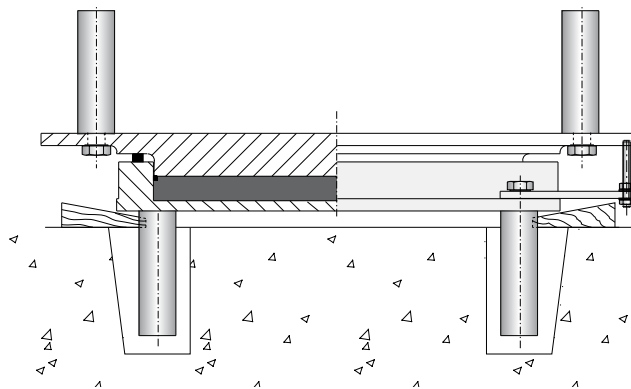
Förinställningen är utmärkt på lagren. Kontrollera att förinställningen är positionerad i rätt riktning i förhållande till konstruktörens anvisningar.

Ursparningar

Vid gjutning av fundament för lagren formsätts ursparningar för förankringsdubbarna, antingen med rör Ø100 och djup 150–200 mm, eller kvadrat 150X150 mm.

Montering

Före fastgjutning sätts lagret i korrekt position med hjälp av uppkilning i fyra punkter. Lagret ska vara vågrätt, alternativt orienterat i brons lutning, stabilt och med rätt höjd. För dimensionering av undergjutning se beskrivning tidigare i broschyren. Kontakta konstruktören om något är oklart.



Figur av lager justerat med kilar

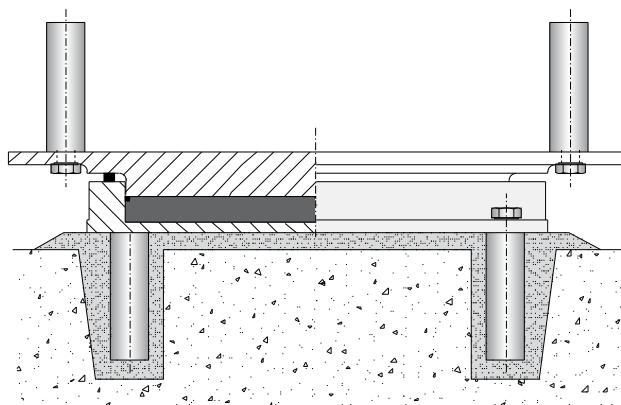
Fastgjutning

Undergjutningen ska utföras med högvärdigt expanderande bruk, enligt producentens anvisning. Vid köldgrader används ett frostbeständigt bruk.

Följande procedur ska följas för undergjutning av lagret:

1. Ursparningar för förankringsdubbarna fylls nästan helt upp
2. Efter att bruket har härdat avlägsnas kilarna
3. Runt lagret formsätts med överhöjd
4. För lager mindre än TOBE® FR 50, stampas eller injiceras bruket in för att undvika luftfickor. För lager större än TOBE® FR 50, hålls eller injiceras bruket in från ena sidan så att luften trängs undan

Se EN 1337-11 för fullständiga krav på undergjutning samt ev krav från Vägverket.



Figur av lager efter undergjutning

Förinställning av glidlager

Förinställning av glidlager bör företrädesvis utföras på fabriken. Eventuellt kan förinställning utföras på byggsplatsen genom att lossa monteringsbultarna och därefter förskjuta glidplattan (övre lagerplattan) i angiven riktning och position.

OBS! Undvik att lyfta lagerplattan vid förskjutningen, eftersom teflonplattan kan förskjutas ur position.

Det bör avgöras på vilken sida av lagret rörelseindikator och pil ska placeras för att kunna avläsas. Detta uppges vid beställning av lager.

Obs! Förinställningens position måste kontrolleras före montering av lagret.

Överbyggnaden

Vid gjutning av överbyggnaden ingår den övre lagerplattan som en del av formsättningen. Spalten mellan lagrets sidokanter och form måste vara tät, så att man undviker betongspill på lagret vid gjutningen. Betongen gjuts direkt mot lagret samtidigt som gjutningen av överbyggnaden.

Efter gjutning

Efter att överbyggnaden är gjuten och har uppnått tillräcklig fasthet, avlägsnas formsättningen runt lagret och de tillfälliga transport/monteringsanordningarna. Kom ihåg att till sist dra åt bultarna. Betongspill och smuts avlägsnas från lagret.

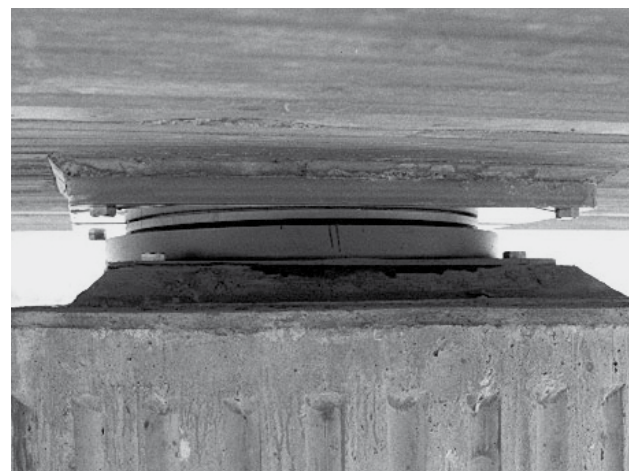
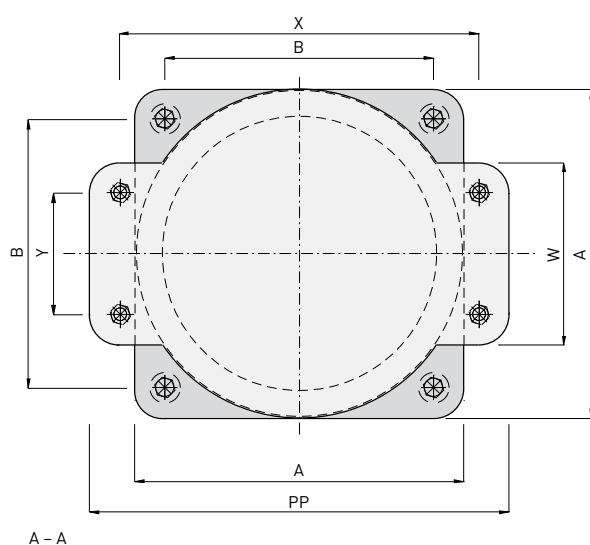
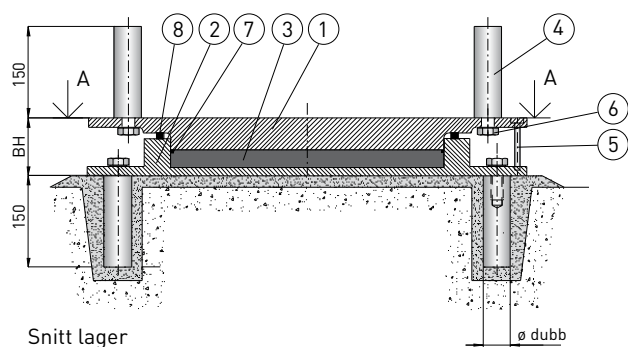


Bild av färdig gjutet lager.

Justering av konstruktionen

Under projekteringen bör det tas hänsyn till möjligheten för justering av konstruktionen. Det bör göras plats till domkrafter i närheten av upplagringspunkterna, stora nog för domkrafter som klarar att lyfta konstruktionen.

Spännteknik kan utföra reparationer och utbyten av lager med egna montörer.



Fast lager Typ: F

1. Pistong
2. Pot
3. Gummielement
4. Förankringsbult (dubb)
5. Transportsäkring
6. Bult
7. Tätningsring
8. Gummipackning

Definitioner

$V_{\max}$ = Maximal vertikal last kN

$H_{\max}$ = Maximal resulterande horisontell last kN

$V_{\min}$ = Nödvändig minimum vertikal last vid $H_{\max}$ kN

Maximal tippvinkel (rotation): 20‰

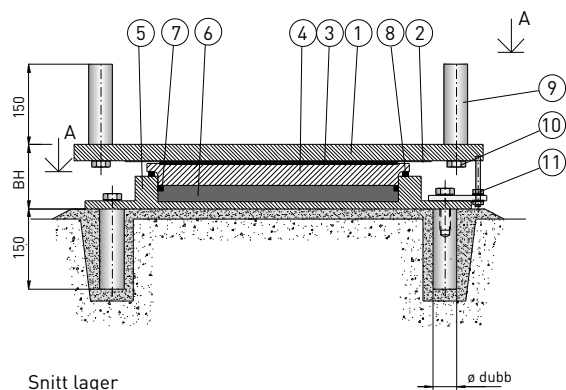
Lager för upptagning av större vertikal- och horisontallaster samt lager med större tippvinkel kan levereras.

Belastningstabell fast lager i brottgränstillståndet

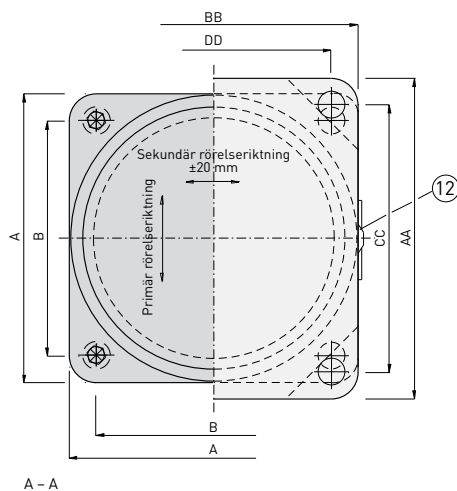
Type		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$V_{\max}$	kN	520	1590	3040	4690	6090	7670	9060	10570	13480	16250	21450	27400	33400
$V_{\min}$	kN	60	380	1210	2070	2790	3400	4070	4670	5670	6830	8110	9830	11360
$H_{\max}$	kN	220	420	720	950	1130	1280	1450	1600	1850	2140	2460	2890	3260

Dimensionstabell fast lager (alla mått i mm)

A	mm	200	295	390	470	535	590	640	685	770	840	955	1070	1170
B	mm	149	232	315	386	440	470	510	540	600	650	730	810	880
W	mm	115	165	200	250	300	300	350	375	425	450	500	550	600
X	mm	230	335	440	520	595	655	700	745	830	910	1015	1135	1230
Y	mm	64	102	125	166	205	205	255	280	330	355	405	455	505
BH	mm	56	56	67	72	81	90	93	101	108	118	130	145	161
PP	mm	281	398	515	604	690	750	795	840	925	1005	1110	1230	1325
Ø	mm	35	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Bult dim		M16	M20	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24
h	mm	29,5	29,9	36,2	42,2	47,6	52,0	55,5	58,8	66,0	71,2	79,2	88,8	97,0
Gummielement	mm	120	210	290	360	410	460	500	540	610	670	770	870	960
Ao	mm ²	17671	45239	80425	119459	152053	188574	220618	255176	321699	384845	502655	636173	769769
Au	mm ²	20503	49706	86345	126652	162621	200323	236287	275218	347768	417267	544134	692919	837679
Lagrets vikt	kg	20	43	70	96	129	164	193	236	301	384	529	722	955



Snitt lager



Allsidigt rörligt Typ: A

Rörelse

Primär

± 50 mm

±100 mm

Sekundär

±20 mm

±20 mm

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| 1. Glidplatta | 7. Tättningsring |
| 2. Rostfri glidplatta | 8. Gummielement |
| 3. PTFE-platta | 9. Förankringsbult (dubb) |
| 4. Pistong | 10. Bult |
| 5. Pot | 11. Transportsäkring |
| 6. Gummielement | 12. Visare/millimeterskala |

Definitioner

$V_{\max}$ = Maksimal vertikal last kN

Maksimal tippvinkel (rotation): 20%

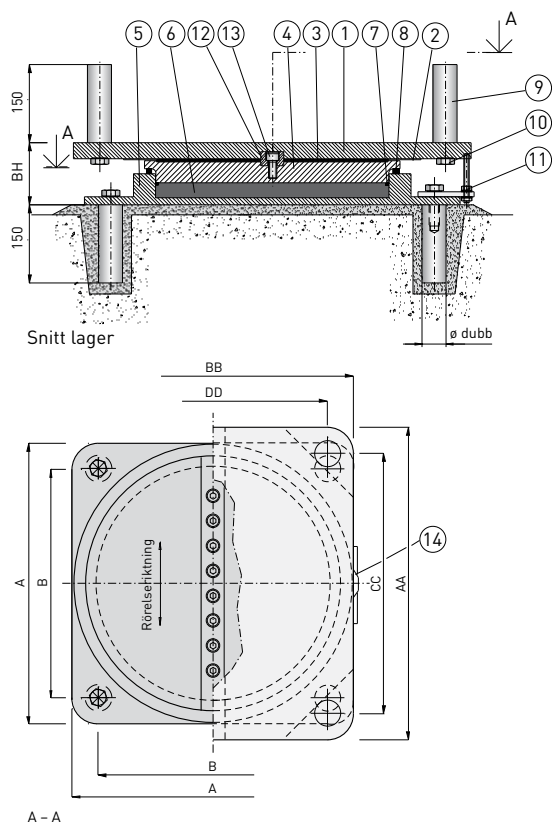
Lager för upptagning av större vertikallaster samt lager med större tippvinkel och rörelse kan levereras.

Belastningstabell allsidigt rörligt lager i brottgränstillståndet

Type		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$V_{\max}$	kN	520	1590	3040	4690	6090	7670	9060	10570	13480	16250	21450	27400	33400

Dimensionstabell allsidigt rörligt lager (alla mått i mm)

A	mm	200	295	390	470	535	590	640	685	770	840	955	1070	1170
B	mm	149	232	315	386	440	470	510	540	600	650	730	810	880
AA ± 50	mm	300	420	495	560	635	675	710	745	805	855	945	1025	1105
CC ± 50	mm	249	357	420	476	540	580	615	650	710	760	850	930	1010
AA ± 100	mm	400	520	595	660	735	775	810	845	905	955	1045	1125	1205
CC ± 100	mm	349	457	520	576	640	680	715	750	810	860	950	1030	1110
BB	mm	200	300	380	450	500	550	590	630	700	760	860	960	1050
DD	mm	149	237	305	366	405	455	495	535	605	665	765	865	955
BH	mm	72	78	88	97	102	111	114	118	129	139	151	165	177
Ø	mm	35	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Bult dim	mm	M16	M20	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24
A_{PTFE}	mm ²	14314	33979	57256	98980	132025	173494	204282	237583	301907	363168	477836	608212	738981
A_o	mm ²	27964	59634	89488	140232	179113	226949	261981	299526	371278	438905	564184	705171	845490
A_u	mm ²	20503	49706	86345	126652	162621	200323	236287	275218	347768	417267	544134	692919	837679
Vikt ± 50	kg	25	60	94	134	170	213	248	287	376	468	636	847	1103
Vikt ± 100	kg	28	65	100	141	178	221	257	297	387	480	649	862	1119



Ensidigt rörligt Typ: E

Rörelse (ingen rörelse i tvärriktningen):

± 50 mm

± 100 mm

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Glidplatta | 7. Tätningsring |
| 2. Rostfri glidplatta | 8. Gummielement |
| 3. PTFE-platta | 9. Förankringsbult (dubb) |
| 4. Pistong | 10. Bult |
| 5. Pot | 11. Transportsäkring |
| 6. Gummielement | |

Definitioner

$V_{\max}$ = Maximal vertikal last kN

$H_{\max}$ = Maximal resulterande horisontell last kN

$V_{\min}$ = Nödvändig minimum vertikal last vid $H_{\max}$ kN

Maximal tippvinkel (rotation): 20‰

Lager för upptagning av större vertikal- och horisontallaster samt lager med större tippvinkel kan levereras.

Belastningstabell ensidigt rörligt lager i brottgränstillståndet

Type		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$V_{\max}$	kN	520	1590	3040	4690	6090	7670	9060	10570	13480	16250	21450	27400	33400
$V_{\min}$	kN	80	380	1170	1910	2630	3130	3530	3950	4650	5250	6250	7010	8000
$H_{\max}$	kN	160	420	720	910	1090	1210	1310	1410	1590	1740	1990	2180	2400

Dimensionstabell ensidigt rörligt lager (alla mått i mm)

A	mm	200	295	390	470	535	590	640	685	770	840	955	1070	1170
B	mm	149	232	315	386	440	470	510	540	600	650	730	810	880
AA ± 50	mm	300	420	495	560	635	675	710	745	805	855	945	1025	1105
CC ± 50	mm	249	357	420	476	540	580	615	650	710	760	850	930	1010
AA ± 100	mm	400	520	595	660	735	775	810	845	905	955	1045	1125	1205
CC ± 100	mm	349	457	520	576	640	680	715	750	810	860	950	1030	1110
BB	mm	160	260	340	410	460	510	550	590	660	720	820	920	1010
DD	mm	109	197	265	326	365	415	455	495	565	625	725	825	915
BH	mm	84	99	98	108	113	121	124	132	139	149	161	175	187
Ø	mm	35	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Bult dim	mm	M16	M20	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24
A_{PTFE}	mm ²	9859	25451	46168	84425	115215	154224	183372	215033	276487	335288	445856	572132	699211
A_o	mm ²	27964	61143	98908	151964	192342	241810	277930	316563	390220	459480	587479	731187	873954
A_u	mm ²	20503	49706	86345	126652	162621	200323	236287	275218	347768	417267	544134	692919	837679
Vikt ± 50	kg	25	66	99	145	185	229	268	318	405	501	680	903	1139
Vikt ± 100	kg	27	70	106	153	194	239	278	329	417	515	696	921	1159

Sverige

Spännteknik SLF AB
Sjöängsvägen 10
192 72 Sollentuna
Telefon +46 (0)8 510 678 10
Telefax +46 (0)8 510 678 19
info@spannteknik.se
www.spannteknik.se

Norge

KB Spennteknik AS
Postboks 1213
N-2206 Kongsvinger
Telefon +47 62 81 00 30
Telefaks +47 62 81 00 55
spennteknikk@spennteknikk.no
www.spennteknikk.no

NS-EN ISO 9001

Cert. no. 007
Certified Quality System

spännteknik 



Produkter

• BBR Spännsystem

BBR VT CONA CMX spännlinesystem
BBR VT CONA bergförankring
BBR VT Cona Single spännlinesystem
BBRV trådsystem
BBR snedstag system
Macalloy stångsystem med gängade höghållfasta stänger

• Lager för broar och byggnader

TOBE® potlager
ELASTO® BLOCK lagersystem
ELASTO® FLON lagersystem
LASTO-Strip lager för husbyggnad
SB-lager för husbyggnad
Stållager för broar
Speciallager

• Övergångskonstruktioner för broar och byggnader

TENSA-LASTIC
TENSA-GRIP
ETIC fingerfog
TRANSFLEX
ACME för broar och husbyggnad

• Offshore produkter

Elastomerlager för offshoreindustrin
TOBE® potlager för stora laster och rörelser
Lager för kranfundament
Glidlager

• Tunga lyft och nedsänkningar

Lyft och nedsänkningar av broar och andra tunga konstruktioner utförs med domkrafter

• Komplet mekanisk verkstad

Stål- och aluminiumprodukter

• ELASTO® pål-lager

Reducerar antal pålar vid fundamenteringen

E Dimensionering: Ändstöd

```

clear all
close all
clc

% Ändstöd
% b = 6200 mm, h = 900 mm, l = 6000 mm.
% Betongklass N C30/37.
% Armering: Kamstång B500B, diameter 20 mm 33 stänger i respektive
% överkant och underkant
% Byglor: Kamstång B500B, diameter 16 mm, cc avstånd 74 mm

% MEd ≤ MRd (I både x och y riktning)
% Inplacering och anordning av armeringar
% Antal armeringar
% Byglor

% Mått
b = 6.2; % [m]
h = 0.9; % [m]
l = 6; % [m] höjd (antag: 4 meter)
b_lager = 0.295; % [m]
L1 = 19.86; % [m] längd för spännvidd
L = 21; % [m] brobanans längd

% Material egenskaper, betong
E_cm = 33e9; % [Pa]
f_ck = 30e6; % [Pa]
alpha_cc = 1;
alpha_ct = 1;
y_c = 1.5;
gamma_c = 1.5;
f_cd = alpha_cc * f_ck / gamma_c;
f_cm = f_ck + 8e6;
f_ctm = 2.9e6;
f_ctk005 = 2e6;
f_ctd = f_ctk005*alpha_ct/y_c;

% Material egenskap, Armering B500B
d_arm = 20e-3;
A_si = d_arm^2*pi/4
f_yk = 500e6;
y_s = 1.15;
f_yd = f_yk/y_s;
E_s = 200e9;

% Material egenskaper, byglor
d_byglor = 16e-3;

% laster
q = 18e3*h*b; % tunghet av fyllning CEB 5201
q_btg = 25e3;

```

```

F_egenvikt = q_btg*l*b*h;
N_Ed = 1143.3e3 + F_egenvikt; % med egentygnd
F_broms = 168000;
F_wx = 124000;
F_h = F_broms + F_wx;

M_Ed Initiallutning för ändstöd (theta_i)

theta_0 = 0.005; % grundvärde, nationell parameter (0.005<k<0.01)
alfa_h = 2/sqrt(l); % B11-4
m = 1;
alfa_m = sqrt(0.5*(1+1/m)); % B11-5
theta_i = theta_0 * alfa_h * alfa_m; % B11-3

% Excentricitet pga formfel hos konstruktionsdel (e_i)
l_0 = 2 * l; % knäcklängd fall b) [m]
e_i = theta_i * l_0 / 2; % B11-6

% Slankhet (lambda)
I_c = b * h^3 / 12; % [m4] tröghetsmoment
A_c = h * b; % [m2] tvärsnittsarea
i = sqrt(I_c / A_c);
lambda = l_0 / i; % B11-10

% Nominell styvhet (EI)
k_1 = sqrt(f_ck/(10e5) / 20);
k_2 = N_Ed / (f_cd * A_c) * lambda/170;
y_cE = 1.2;
E_cd = E_cm / y_cE;
beta_fcm = 2.73;
beta_t0 = 0.488; % Logaritmisk skala, t0 = ålder ivd pålastning
RH = 80;
u = 2 * (b + h);
h_0 = 2 * A_c / u;
fi_RH = (1 + (1-RH/100)/(0.1*h_0^(1/3))) * (35/(f_cm/10e5))^0.7 * (35/
(f_cm/10e5))^0.2; % för f_cm > 35 MPa
fi = fi_RH * beta_fcm * beta_t0;

% Nominell styvhet
e_0 = 0;
M_jord = q*l/2*l/3;
M_bro = l * F_h;
M_z = M_bro + M_jord;
M_0Ed = (l * (1.35*F_wx + 1.5*F_broms) + 1.35*q*l/2*l/3) + 1.35 * N_Ed
* (e_0 + e_i);
M_0Eqp = M_z + N_Ed * (e_0 + e_i);
fi_ef = fi * M_0Eqp / M_0Ed; % Eurocode 2 5.8.4

% Inplacering och anordning
C_min_dur = 25e-3;
C_min_b = d_arm;
A = [C_min_b, C_min_dur, 10e-3];
C_min = max(A);
delta_C_dev = 10e-3;

```

```

C_nom = C_min + delta_C_dev; % täckande betongskikt 35 mm

% I_s = 0; % första iteration: antagande I_s = 0
I_s = 34*2*(d_arm)^2*pi/4*(h/2-d_byglor-C_nom-d_arm/2)^2; % Korrigera
    enligt n nedan
EI = k_1 * k_2 / (1 + fi_ef) * E_cd * I_c + E_s * I_s; % B11-15

% Knäcklast (N_B)
N_B = pi^2 * EI / l_0^2;

% Dimensionerande moment enligt andra ordningen M_Ed
beta = 1;
M_Ed = abs((1 + beta/((N_B/N_Ed) - 1)) * M_0Ed); % B11-16
e_min = h / 30; % B11-7
M_Ed_min = N_Ed * e_min;
if M_Ed < M_Ed_min
    M_Ed = M_Ed_min ;
elseif M_Ed >= M_Ed_min
    M_Ed = M_Ed;
end

% M_Rd
% Avstånd mellan stänger
k1 = 1;
k2 = 5e-3;
dg = 5e-3;
B = [k1*d_arm, dg+k2, 20e-3];
d_min_avs = max (B); % minsta avtånde mellan stänger är 20 mm

% z
z = h - 2*(C_nom + d_byglor + d_arm/2);

% Uppskattning av armeringsarea
A_s = M_Ed / (f_yd * z); % B4-19
d = h - (C_nom + d_byglor + d_arm/2);
A_smin = 0.26 * f_ctm * b * d / f_yk; % B4-21
if A_smin > 0.0013 * b * d
    A_smin = 0.26 * f_ctm * b * d / f_yk;
elseif A_smin < 0.0013 * b * d
    A_smin = 0.0013 * b * d;
end
A_smax = 0.04 * A_c; % B4-22
if A_s > A_smax
    A_s = A_smax;
elseif A_s < A_smin
    A_s = A_smin;
else A_s = A_s;
end
A_si = d_arm^2 * pi / 4;
n = A_s / A_si;
n = ceil(n) % antal armering (ungefärlig)
d_arm_avs = (b - 2*(C_nom - d_arm/2 - d_byglor)) / n; % avstånd mellan
    armeringar
A_s = d_arm^2 * pi / 4 * n;

```

```

A_sprim = A_s; % Bärande Konstruktion Del 2 B11.5

%
%  $\alpha * f_{cd} * b * x + E_s * ((x-d_{prim})/x) * \epsilon_{cu} * A_{sprim} =$ 
%  $(E_s * \epsilon_{cu} * (d-x)/x) * A_s + N_{Ed}$ 
% Antag: armering i underkant flyter inte, överkant flyter inte heller
% x
alpha = 0.81; beta = 0.416; epsilon_cu = 3.5e-3; d_prim = C_nom +
d_arm/2+ d_byglor;
x = 0.21378;
% M_Rd
M_Rd = alpha * f_cd * b * x * (d - beta * x) + E_s * ((d-x)/x) *
epsilon_cu * A_s;
% Villkor M_Rd > M_Ed
if M_Rd > M_Ed
    Momentkapacitet_langriktning = 'OK'
else Momentkapacitet_langriktning = 'Ej OK'
end
M_Ed/M_Rd % Momentkapacitetsgrad

% Livstryckbrott
% Enligt krav ska pelare förses med byglor för att undvika armeringar
knäcker
% ut.
sigma_cp = N_Ed/A_c; % B193
if 0 < sigma_cp < 0.25*f_cd
    alpha_cw = 1 + sigma_cp / f_cd;
elseif 0.25*f_cd < sigma_cp < 0.5*f_cd
    alpha_cw = 1.25;
else alpha_cw = 2.5*(1-sigma_cp/f_cd);
end
b_w = b;
v_l = 0.6*(1- (f_ck*10^-6)/250); % f_ck i[MPa]
theta = 30*pi/180;
V_Rdmax = alpha_cw * b_w * z * v_l * f_cd /
(tan(theta)+cot(theta)); %B6-19
V_Edmax = 593.1528e3; % erhålls från skripten: tvarsnitt
if V_Rdmax > V_Edmax
    Kraftkapacitet_livtryckbrott = 'OK'
else Kraftkapacitet_livtryckbrott = 'Ej OK'
end
V_Edmax/V_Rdmax

% Skjugglidbrott
f_ywd = f_yd;
A_sw = 2 * (d_byglor)^2*pi/4;
rou_wmin = 0.000876; % Tabell B6.1
V_Edred = (-5e4*z*cot(theta).^2 - F_h) + (2*d-z*cot(theta))^2/
(4*d)*(q)/2;
s = A_sw * z * cot(theta) * f_ywd / abs(V_Edred); %B6-29
s_lmax = 0.75*d; % B6-26 för breda konstruktionsdelar
if s_lmax <= 600e-3
    s_lmax = s_lmax;
else s_lmax = 600e-3;

```

```
end
if s <= s_lmax
    s = A_sw * z * cot(theta) * f_ywd / abs(V_Edred);
elseif s > s_lmax
    s = s_lmax;
end
s_lmin = A_sw/rou_wmin/b; % för att uppfylla krav s måste vara mindre
än s_lmin
s = 0.074;
rou_w = A_sw/(s*b_w*sin(90*pi/180)); % B6-25
if rou_w >= rou_wmin
    armeringinnehall = 'OK'
else armeringinnehall = 'Ej OK'
end

V_Rds = z * cot(theta) * f_ywd * A_sw / s; % B6-21
if V_Rds >= V_Edmax
    Kraftkapacitet_Skjuvglibdbrott = 'OK'
else Kraftkapacitet_Skjuvglibdbrott = 'Ej OK'
end

publish('andstod.m', 'format', 'pdf', 'evalCode', false);
```

Published with MATLAB® R2017b

F Tvärkraft: Ändstöd

```

clear all
close all
clc

% Tvärsnittkraft
% Tvärsnitt
l = 6; % [m]
L = 21; % [m]
b = 6.2; % [m]
h = 0.9; % [m]
% Last
tunghet = 18; % [kN/m3]
q = tunghet * h * b; % [kN/m]
q_acce = 5; % [kN/m]
q_broms = 8; % [kN/m]
q_btg = 25; % [kN/m3]
F_acce = q_acce * L;
if F_acce < 1000
    F_acce = q_acce * L;
elseif F_acce >= 1000
    F_acce = 1000;
end
alpha = 1;
F_acce = F_acce * alpha;
F_broms = q_broms * L * alpha;
F_h = max( F_broms, F_acce);
F_egenvikt = q_btg*l*b*h;
N_Ed = 1143.3 + F_egenvikt; % med egentyngd

v_b = 24;
C_e = 1.3;
C_f = 2;
C = C_e*C_f;
A_refx = (1.7+0.6)*L + 4*L; % Aref = balkens höjd + 0.6 m
rou = 1.25;
F_wx = 0.5 * rou * v_b^2 * C * A_refx * 1e-3;
F_h = F_h + F_wx;

% Reaktionskraft
R_h = F_h + q*l/2 ; % [kN]
% Reaktionsmoment
M = F_h*l + q*l/2*l/3 ; % [kNm]

subplot (2,1,1);
x = linspace(0,6);
V = -F_h - q*x/2;
plot(x,V)
subplot (2,1,2)
M = (-F_h - q*x/2).*x + q*x.^2/3;
plot(x,M)

publish('tvarsnitt.m', 'format', 'pdf', 'evalCode', false);

```

Published with MATLAB® R2017b

G Elementarfall fritt upplagd balk

H Laster

Laster

Brons bärande delar måste först dimensioneras för de laster som verkar på bron för att utifrån dessa kunna ta fram en moment- och tvärkraftsfördelning för elementen. Lasterna delas in beroende på deras verkningstid på bron enligt kapitel nedan.

Permanent laster, G

Till permanenta laster räknas de laster som verkar under hela brons livslängd och inte varierar över tid. Egentyngden av bron räknas som permanenta laster d.v.s. den armerade betongens, ballastens, räcketts, slipers egentyngd är konstanta över tid (ballasten varierar något men en förenkling görs där även ballasten räknas som konstant).

Denna post kommer skilja sig de olika beräkningarna åt då balkarna tar hänsyn till alla brons egentyngder medan betongbanan enbart tas hänsyn till plattans och ballastens egentyngd.

Variabla laster, Q

Variabla laster varierar över tid d.v.s. laster som uppkommer och sedan upphör i mer eller mindre oregelbundna cykler. Lasterna kan variera i storlek för varje cykel men dimensioneras med en approximativ konstant storlek för att förenkla beräkningarna.

På den valda bron är den mest självklara variabla lasten tåglasten men även vindlast räknas som en variabel, horisontell last. I beräkningarna antas de horisontella lasterna upptas av lagren och tas hänsyn till vid dimensionering av stöd.

För tåglasten har lastmodell enligt [1] för tåg X10p använts och utifrån denna tas kritiska lastfall fram för moment, tvärkraft och reaktionskrafter i stöd, redovisas i kapitel 10.4.

Olyckslaster

Det kan även ske extrema händelser som påverkar bron med laster som inte ligger inom dess normala belastning. Påkörningslaster och urspårningslaster är exempel på sådana laster och vid sådana händelser är det viktigt att säkerhetsställa att bron kan uppta dessa och även att det inte påverkar brons tekniska livslängd.

Övriga laster

Temperaturlaster, dvs laster som uppkommer i bron p.g.a. temperaturbetingade rörelser är en parameter som måste tas hänsyn till. Stora spänningar kan uppkomma i bron om dessa rörelser inte ges tillräckligt med utrymme, vilket gör övergångskonstruktionen och lagrens funktion vital. Dessa försäkrar att brons funktion och bärighet inte äventyras.

Rörelser i och med horisontella laster p.g.a. inbromsning och acceleration av tåget tas även de upp av lager och till viss del av övergångskonstruktionen.

I Lastkombinationer

I.0.1 Brottgränstillstånd

Följande ekvationer används för beräkning i stadium 3 för att bestämma konstruktionsdelarnas bärförmåga.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{k,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

I.0.2 Brukgränstillstånd

I bruksgränstillstånd används lastkombinationer som speglar konstruktionens normala lastpåverkan.

Karaktäristisk – Irreversibla tillstånd

Karaktäristiska lastkombinationen används för beräkningar i stadium 1 för att kontrollera uppsprickning.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} P_k + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

Frekvent – Reversibla tillstånd

Frekvent lastkombination används för beräkningar i stadium 2 vid för att beräkna nedböjningen.

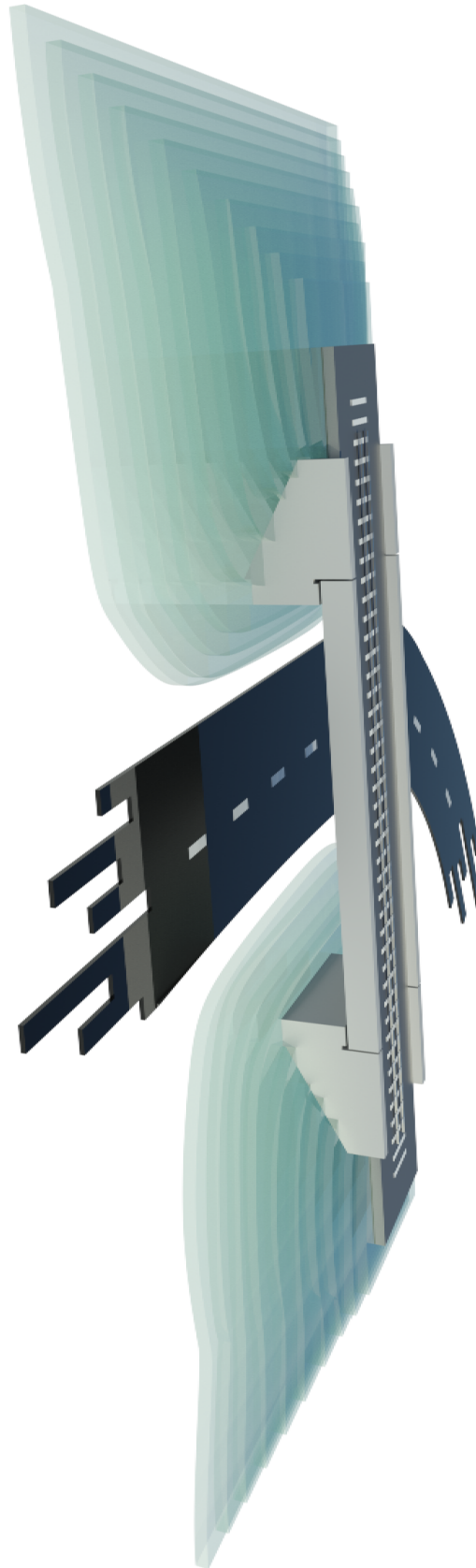
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

Kvasipermanent

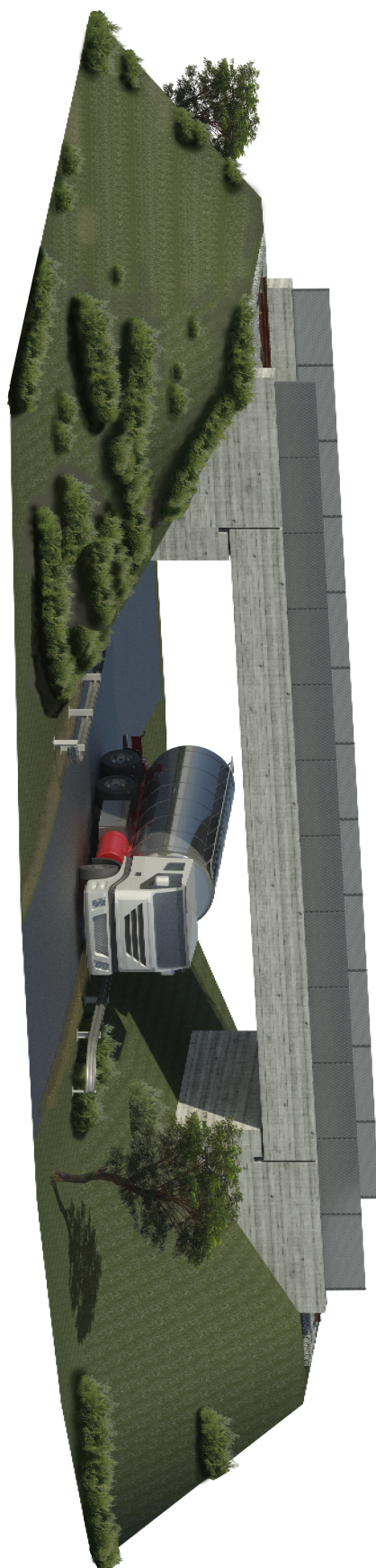
Kvasipermanent lastkombination används för beräkningar i stadium 2 av långtidseffekter för att beräkna stål- och betongpåkänningar samt sprickbredd.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

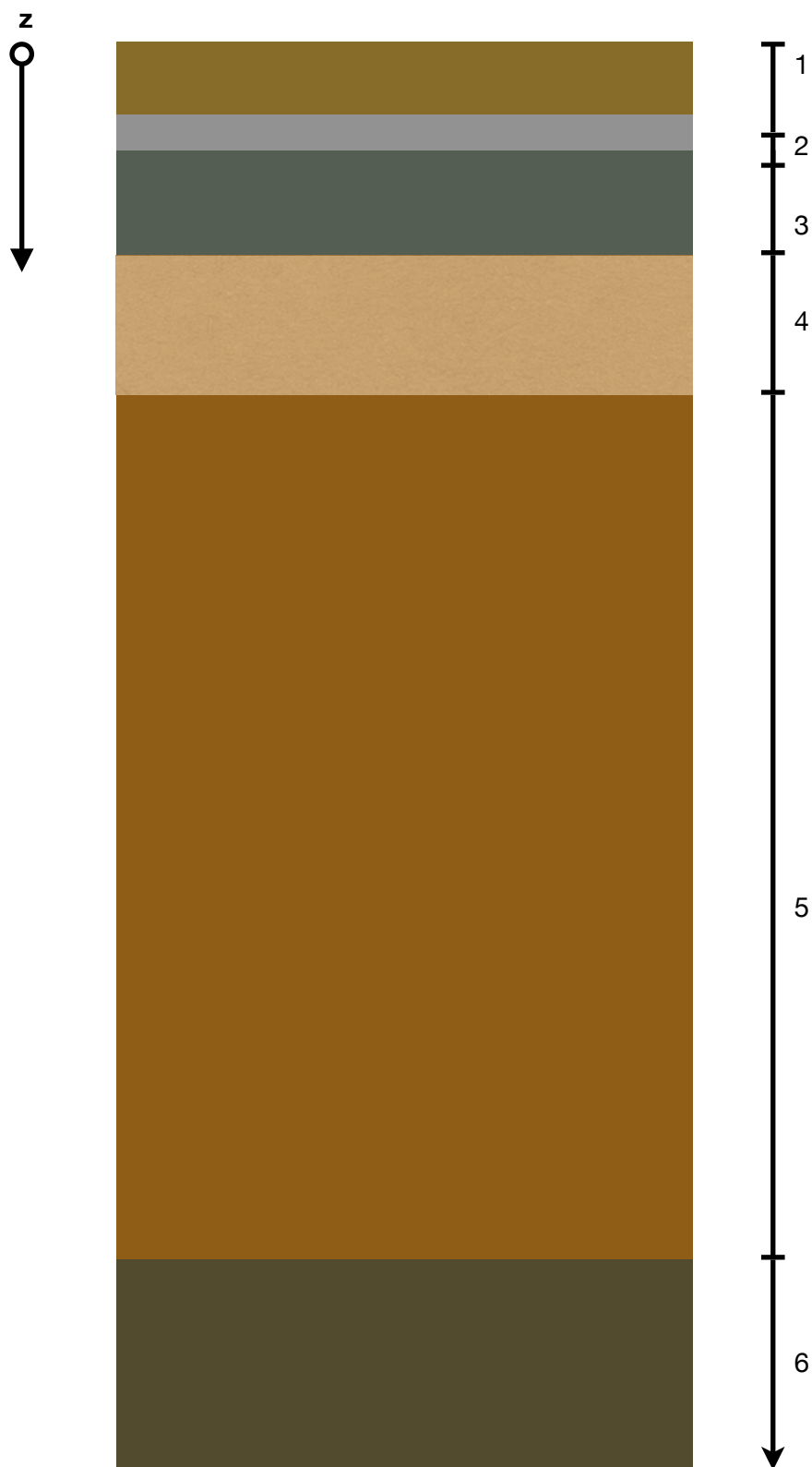
J Illustration framsida



K Illustration valt koncept



L Jordlagerföljd för platsen enligt Projektbeskrivning B



z [m]	Jordart	Tunghet kN/m ³
0 – -1.3	Befintlig fyllning	18
-1.3 – -1.8	Torrskorpelera	18
-1.8 – -2.3	Lera	17.5
-2.3 – 4.3	Silt	17
-4.3 – -26.8	Friktionsmaterial (Morän)	20
-26.8 –	Berg	26

Jordlagerföljden är antagen enligt Projektbeskrivning B se appendix B.

M Preliminär dimensionering Platta MATLAB

Table of Contents

DIMENSIONERING PLATTA	1
Brottsgräns	2
Brott förskjuten (ser att det inte blir värsta moment, gör enbart 1 fall i senare beräkningar)	3
Karakteristiskt	4
Frekvent	5
Kvasipermanent	6
Dimensionering av tvärkraftsarmering	13

DIMENSIONERING PLATTA

```
clc
clear all
% INDATA
h=0.41;
b=1;
Ltot=5.6;

Ecm=37e9;
fck=50e6;
fcm=58e6;
fctm=4.1e6;

fi_drag=20e-3;
fi_tryck=20e-3;
fi_bygel=16e-3;
Es=200e9;
fyk=500e6;
alpha_bygel=45;

RH=0.8;
gamma_s=1.15;
gamma_c=1.5;
alpha=0.81;
alpha_cc=1;
beta=0.416;
k1=1;
k2=5e-3;
dg=32e-3;
bt=b;
ecu=3.5e-3;
eca=0.1e-3;
ecdi=0.28e-3;
beta_RH=0.756;
beta_fcm=2.21;
beta_t0=0.488;
k1=0.8;
k2=0.5;
k3=3.4;
k4=0.425;
```

```

kt=0.6;
gG=1.35;
gQ=1.5;
siP=0.85;
g1=0.8;
g2=0;
h_bal=0.5;
h_btg=0.41;
L_slip=2.1;

P=90e3;
q_bal=(20e3*1*h_bal);
q_btg=(25e3*1*h_btg);
q_tag=(P/(L_slip+2*(0.5/4)));

```

Brottsgräns

```

G=(q_bal+q_btg)*gG*siP;
Q=q_tag*gQ;

L_2=2.35;
L1=(Ltot-L_2)/2;
L2=L1+L_2;
L3=L1+L2;

Rb=(Ltot*G+Q*L_2)/2;
Ra=Rb;

x=linspace(0,Ltot,25000);
x1=linspace(0,L1,25000);
x2=linspace(L1,L2,25000);
x3=linspace(L2,L3,25000);
M=linspace(3,length(x));
M1=zeros(1,length(x1));
M2=zeros(1,length(x2));
M3=zeros(1,length(x3));
T=linspace(3,length(x));
T1=zeros(1,length(x1));
T2=zeros(1,length(x2));
T3=zeros(1,length(x3));

for i=1:25000
    M1(i)=Ra*x1(i)-G*x1(i)^2/2;
    M(1,i)=M1(i);
    T1(i)=Ra-G*x1(i);
    T(1,i)=T1(i);
end

for i=1:25000
    M2(i)=Ra*x2(i)-G*x2(i)^2/2-Q*(x2(i)-L1)^2/2;
    M(2,i)=M2(i);

```

```

    T2(i)=Ra-G*x2(i)-Q*(x2(i)-L1);
    T(2,i)=T2(i);
end

for i=1:25000
    M3(i)=Ra*x3(i)-G*x3(i)^2/2-Q*L_2*(x3(i)-L1-0.5*L_2);
    M(3,i)=M3(i);
    T3(i)=Ra-G*x3(i)-Q*L_2;
    T(3,i)=T3(i);
end
n=zeros(1, length(x));

M1max=max(M(2,:))
T_1=[T(1,:),T(2,:),T(3,:)];
Tmax=(max(abs(T_1)))

[difference, index_At_V_Equals_0] = min(abs(T(2,:)));
xmin = x(index_At_V_Equals_0)

M1max =

    2.4043e+05

Tmax =

    1.3256e+05

xmin =

    2.8001

```

Brott förskjuten (ser att det inte blir värsta moment, gör enbart 1 fall i senare beräkningar)

```

e=0.891/18;
L4=L1+e;
L5=L4+L_2;

Rd=(G*(Ltot^2/2)+Q*L_2*(L4+L_2/2))/Ltot;
Rc=G*Ltot+Q*L_2-Rd;

x4=linspace(0,L4,25000);
x5=linspace(L4,L5,25000);
x6=linspace(L5,L3,25000);
M4=Rc*x4-G*x4.^2/2;
T4=Rc-G*x4;
M5=Rc*x5-G*x5.^2/2-Q*(x5-L4).^2/2;

```

```

T5=Rc-G*x5-Q*(x5-L4);
M6=Rc*x6-G*x6.^2/2-Q*L_2*(x6-L4-0.5*L_2);
T6=Rc-G*x6-Q*L_2;
M_2=[M4; M5; M6];
T_2=[T4; T5; T6];

M2max=max(M_2(2,:))
TE2=[T_2(1,:),T_2(2,:),T_2(3,:)];
T2max=(max(abs(TE2)))

[difference, index_At_V_Equals_0]= min(abs(T_2(2,:)));

M2max =

    2.4038e+05

T2max =

    1.3376e+05

```

Karakteristiskt

```

Gk=(q_bal+q_btg);
Qk=q_tag;

Rbk=(Ltot*Gk+Qk*L_2)/2;
Rak=Rbk;

x1=linspace(0,L1,25000);
x2=linspace(L1,L2,25000);
x3=linspace(L2,L3,25000);
Mk=linspace(3,length(x));
M1k=zeros(1,length(x1));
M2k=zeros(1,length(x2));
M3k=zeros(1,length(x3));
Tk=linspace(3,length(x));
T1k=zeros(1,length(x1));
T2k=zeros(1,length(x2));
T3f=zeros(1,length(x3));

for i=1:25000
    M1k(i)=Rak*x1(i)-Gk*x1(i)^2/2;
    Mk(1,i)=M1k(i);
    T1k(i)=Rak-Gk*x1(i);
    Tk(1,i)=T1k(i);
end

```

```

for i=1:25000
    M2k(i)=Rak*x2(i)-Gk*x2(i)^2/2-Qk*(x2(i)-L1)^2/2;
    Mk(2,i)=M2k(i);
    T2k(i)=Rak-Gk*x2(i)-Qk*(x2(i)-L1);
    Tk(2,i)=T2k(i);
end

for i=1:25000
    M3k(i)=Rak*x3(i)-Gk*x3(i)^2/2-Qk*L_2*(x3(i)-L1-0.5*L_2);
    Mk(3,i)=M3k(i);
    T3f(i)=Rak-Gk*x3(i)-Qk*L_2;
    Tk(3,i)=T3f(i);
end

M1kmax=max(Mk(2,:))
T_1k=[Tk(1,:),Tk(2,:),Tk(3,:)];
Tkmax=(max(abs(T_1)))

M1kmax =

    1.7894e+05

Tkmax =

    1.3256e+05

```

Frekvent

```

Gf=(q_bal+q_btg);
Qf=q_tag*g1;

Rbf=(Ltot*Gf+Qf*L_2)/2;
Raf=Rbf;

x1=linspace(0,L1,25000);
x2=linspace(L1,L2,25000);
x3=linspace(L2,L3,25000);
Mf=linspace(3,length(x));
M1f=zeros(1,length(x1));
M2f=zeros(1,length(x2));
M3f=zeros(1,length(x3));
Tf=linspace(3,length(x));
T1f=zeros(1,length(x1));
T2f=zeros(1,length(x2));
T3f=zeros(1,length(x3));

```

```

for i=1:25000
    M1f(i)=Raf*x1(i)-Gf*x1(i)^2/2;
    Mf(1,i)=M1f(i);
    T1f(i)=Raf-Gf*x1(i);
    Tf(1,i)=T1f(i);
end

for i=1:25000
    M2f(i)=Raf*x2(i)-Gf*x2(i)^2/2-Qf*(x2(i)-L1)^2/2;
    Mf(2,i)=M2f(i);
    T2f(i)=Raf-Gf*x2(i)-Qf*(x2(i)-L1);
    Tf(2,i)=T2f(i);
end

for i=1:25000
    M3f(i)=Raf*x3(i)-Gf*x3(i)^2/2-Qf*L_2*(x3(i)-L1-0.5*L_2);
    Mf(3,i)=M3f(i);
    T3f(i)=Raf-Gf*x3(i)-Qf*L_2;
    Tf(3,i)=T3f(i);
end

Mfmax=max(Mf(2,:))
Tf_1=[Tf(1,:),Tf(2,:),Tf(3,:)];
Tfmax=(max(abs(Tf_1)))

Mfmax =

    1.5903e+05

Tfmax =

    92700

```

Kvasipermanent

```

Gkv=(q_bal+q_btg);
Qkv=q_tag*g2;

Rbkv=(Ltot*Gkv+Qkv*L_2)/2;
Rakv=Rbkv;

x1=linspace(0,L1,25000);
x2=linspace(L1,L2,25000);
x3=linspace(L2,L3,25000);
Mkv=linspace(3,length(x));
M1kv=zeros(1,length(x1));

```

```

M2kv=zeros(1, length(x2));
M3kv=zeros(1, length(x3));
Tkvl= linspace(3, length(x));
T1kv=zeros(1, length(x1));
T2kv=zeros(1, length(x2));
T3kv=zeros(1, length(x3));

for i=1:25000
    M1kv(i)=Rakv*x1(i)-Gkv*x1(i)^2/2;
    Mkv(1,i)=M1kv(i);
    T1kv(i)=Rakv-Gkv*x1(i);
    Tkvl(1,i)=T1kv(i);
end

for i=1:25000
    M2kv(i)=Rakv*x2(i)-Gkv*x2(i)^2/2-Qkv*(x2(i)-L1)^2/2;
    Mkv(2,i)=M2kv(i);
    T2kv(i)=Rakv-Gkv*x2(i)-Qkv*(x2(i)-L1);
    Tkvl(2,i)=T2kv(i);
end

for i=1:25000
    M3kv(i)=Rakv*x3(i)-Gkv*x3(i)^2/2-Qkv*L_2*(x3(i)-L1-0.5*L_2);
    Mkv(3,i)=M3kv(i);
    T3f(i)=Rakv-Gkv*x3(i)-Qkv*L_2;
    Tkvl(3,i)=T3f(i);
end
n=zeros(1, length(x));

M1kvmax=max(Mkv(2,:))
T_1kv=[Tkvl(1,:),Tkvl(2,:),Tkvl(3,:)];
Tkvlmax=(max(abs(T_1kv)))
figure(1)
plot(x1,-M(1,:), 'blue', x2, -M(2,:), 'blue', x3, -M(3,:), 'blue', x4, -
M_2(1,:), 'black', x5, -M_2(2,:), 'black', x6, -M_2(3,:), 'black', x1, -
Mk(1,:), 'r', x2, -Mk(2,:), 'r', x3, -Mk(3,:), 'r', x1, -Mf(1,:), 'g', x2, -
Mf(2,:), 'g', x3, -Mf(3,:), 'g', x1, -Mkv(1,:), 'c', x2, -Mkv(2,:), 'c', x3,
-Mkv(3,:), 'c')
hold on
plot(x,n, 'black')
hold on
p1=plot(x1,-M(1,:), 'blue', x4, -M_2(1,:), 'black', x1, -Mk(1,:), 'r', x1, -
Mf(1,:), 'g', x1, -Mkv(1,:), 'c');
legend([p1],{'Spår ligger i centrum, brott','Spår är förskjutet
r/18', 'Karakteristisk', 'Frekvent', 'Kvasipermanent'})
set(legend, 'Location', 'southeast')
ylabel('Momentkraft [kNm]')
xlabel('Längd [m]')

figure(2)

plot(x1,T(1,:), 'blue', x2, T(2,:), 'blue', x3,
T(3,:), 'blue', x4, T_2(1,:), 'black', x5, T_2(2,:), 'black', x6,

```

```

T_2(3,:), 'black', x1, Tk(1,:), 'r', x2, Tk(2,:), 'r', x3, Tk(3,:), 'r', x1,
Tf(1,:), 'g', x2, Tf(2,:), 'g', x3, Tf(3,:), 'g', x1, Tkv(1,:), 'c', x2,
Tkv(2,:), 'c', x3, Tkv(3,:), 'c')
hold on
plot(x,n, 'black')
hold on
p1=plot(x1,T(1,:), 'blue', x4,T_2(1,:), 'black', x1, Tk(1,:), 'r', x1, Tf(1,:), 'g', x1, Tkv(
legend([p1], {'Spår ligger i centrum, brott', 'Spår är förskjutet
r/18', 'Karakteristisk', 'Frekvent', 'Kvasipermanent'}))
ylabel('tvärkraft [kN]')
xlabel('längd [m]')

```

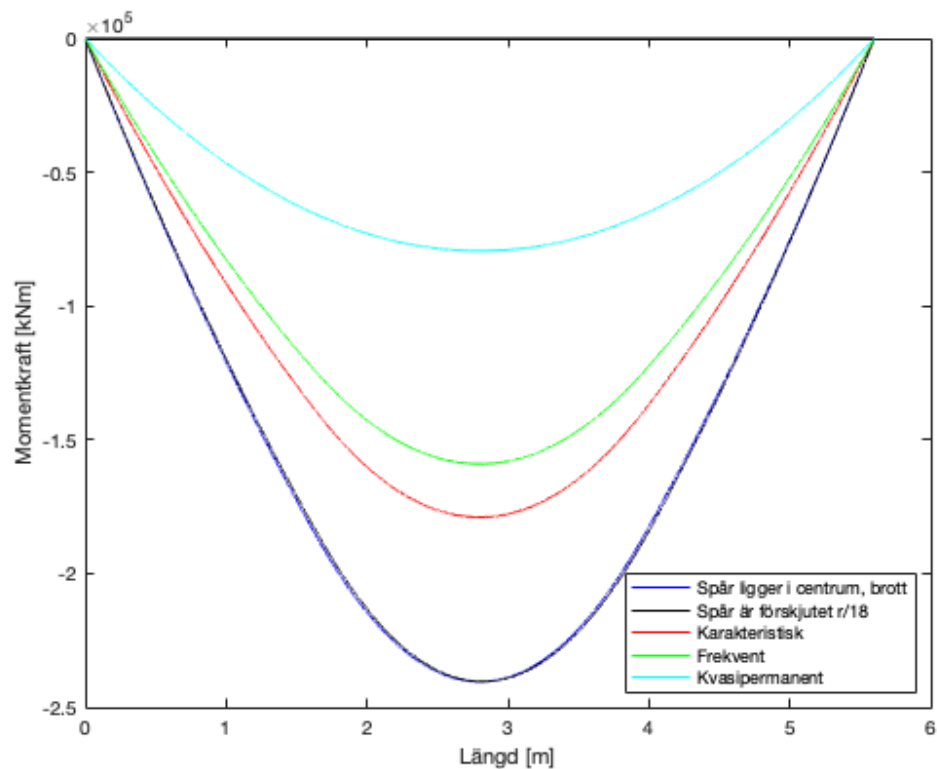
hold on

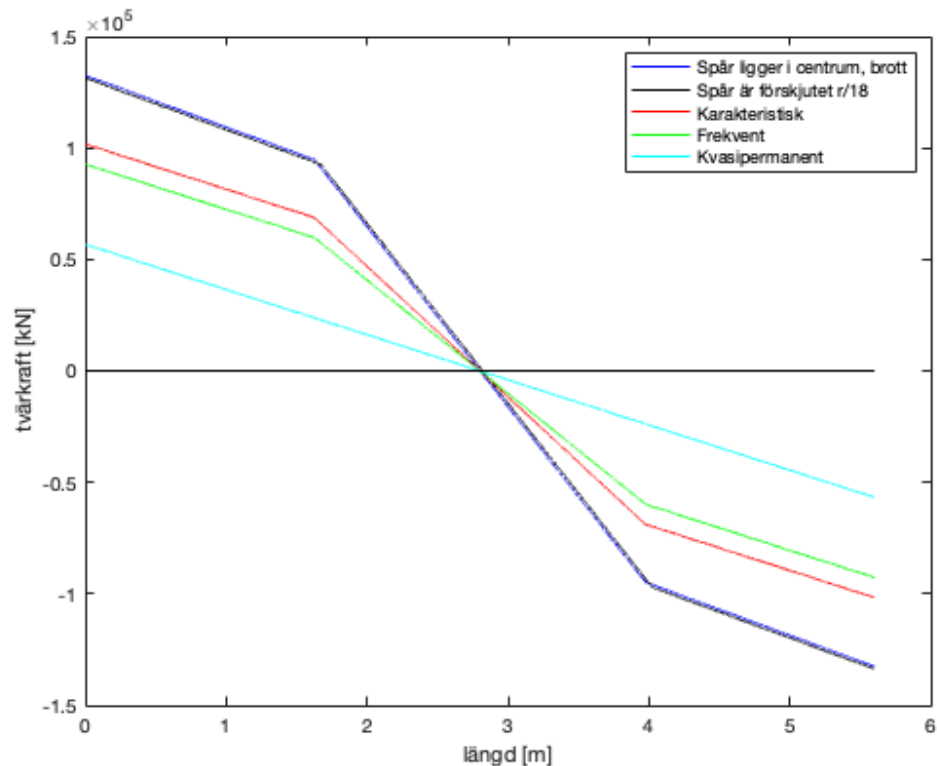
$M1kvmax =$

$7.9380e+04$

$Tkvmax =$

56700





```
V_brott=T2max;
V_kar=Tkmax;
V_frek=Tfmax;
V_kvasi=Tkvmax;
M_brott=M1max;
M_kar=M1kmax;
M_frek=Mfmax;
M_kvasi=M1kvmax;
```

```
% UPPSKATTA AMERINGSMÄNGD
```

```
fyd=fyk/gamma_s;
d_antag=h-0.1;
z_antag=0.9*d_antag;
As_antag=M_brott/(fyd*z_antag);
As_drag_stang=((fi_drag)^2*pi)/4;
n_drag_antag=ceil(As_antag/As_drag_stang);
n_drag=n_drag_antag+2; % KAN BEHÖVA ÖKAS
As=n_drag*As_drag_stang;
```

```
% TÄCKANDE BETONGSKIKT, AVSTÅND STÄNGER
```

```
Cmin_b=fi_drag/1000;
Cmin_dur=25e-3;
Cmin=max(Cmin_b,Cmin_dur);
Cdev=10e-3;
Cnom=Cmin+Cdev;
```

```

C1=Cnom+(fi_drag/2);
A=k1*fi_drag;
B=k2+dg;
C=[A;
    B;
    20e-3];
Cmellan=max(C);
C2=Cmellan+fi_drag;

% KONTROLLER ARMERINGSMÄNGD
d=h-C1;
As_min=0.26*(fctm/fyk)*bt*d*d;
Ac=h*b;
As_max=0.04*Ac;
if As>As_min && As<As_max
    disp('OK armeringsmängder')
else
    disp('Ej OK armeringsmängder')
end

% BERÄKNA MOMENTKAPACITET
n_tryck=n_drag;
As_tryck_stang=((fi_tryck^2)*pi)/4;
As_prim=n_tryck*As_tryck_stang;
d_prim=C1;
fcd=alpha_cc*(fck/gamma_c);
esy=fyd/Es;
f=@(x)(alpha*fcd*b*x^2)+((Es*ecu*As_prim-fyd*As)*x)-
(Es*ecu*As_prim*d_prim);
D=vpa(solve(f),4);
x=vpa(max(D),4);
if C1<x && x<(h-C1)
    disp('OK x')
else
    disp('Ej OK')
end

% KONTROLL STÅL FLYTER
es=((d-x)/x)*ecu;
es_prim=((x-d_prim)/x)*ecu;
if es>esy
    disp('Ok dragarmering flyter')
else
    disp('Ej OK, dragarmering flyter ej')
end

if es_prim<esy
    disp('Ok tryckarmering flyter ej')
else
    disp('Ej OK, tryckarmering flyter ')
end

% MOMENTKAPACITET

```

```

Mrd=vpa((fyd*As*(d-d_prim)-alpha*fcd*b*x*((beta*x)-d_prim)),3);
if Mrd>M_brott
    disp('OK Momentkapacitet')
else
    disp('Ej OK Momentkapacitet')
end

% KONTROLL SEGNET
if x<0.35*d
    disp('OK segt brott')
else
    disp('Ej OK sprött brott')
end

% KONTROLL UPPSPRICKNING
E=1.6-((h*1000)/1000);
k=max(E,1);
fct_fl=k*fctm;
I=(b*h^3)/12;
Mcr=(I*fct_fl)/(h/2);
if Mcr<M_kar
    disp('Uppsprucket tvärsnitt')
else
    disp('Ej Uppsprucket tvärsnitt')
end

% KRYPMNING
u=2*b;
h0=(2*Ac)/u;
kh=0.7+((0.05/200)*110);
ecd=kh*beta_RH*ecdi;
ecs=ecd+eca;
Fcs=Es*ecs*As;
Fcs_prim=Es*ecs*As_prim;

% KRYPNING
kryp_RH=(1+(((1-RH)/(0.1*(h0*1000)^(1/3)))*(35/(fcm/1000000))^0.7))...
*(35/(fcm/1000000))^0.2;
kryp=kryp_RH*beta_fcm*beta_t0;
alpha_eff=(Es/Ecm)*(1+kryp);

% TVÄRSNITTSKONSTANTER
F=b/2;
G=alpha_eff*As_prim-As_prim+alpha_eff*As;
H=alpha_eff*(As_prim*d_prim+As*d);
f=@(x)(F*x^2)+G*x-H;
x_1=solve(f);
x_2=max(x_1);
x_tp=vpa(x_2,3);
if d_prim<x_tp && x_tp<d
    disp('OK x_tp')
else
    disp('Ej OK x_tp')

```

```

end
A_eff=vpa(b*x_tp+alpha_eff*(As_prim+As)-As_prim,3);
I=(b*x_tp^3)/3;
J=(alpha_eff-1)*As_prim*(x_tp-d_prim)^2;
K=alpha_eff*As*(d-x_tp)^2;
I_eff=vpa(I+J+K,3);

% STÅL- OCH BETONGPÅKÄNNING
es1=vpa((d-x_tp),3);
es1_prim=vpa((x_tp-d_prim),3);
z_max=-x_tp;
z_tryck=-es1_prim;
z_drag=es1;
sigma_btg_max=vpa(((Fcs+Fcs_prim)/A_eff)...
+((Fcs+es1-Fcs_prim*es1_prim+M_kvasi)/I_eff)*z_max,3);
sigma_btg_tryck=vpa(((Fcs+Fcs_prim)/A_eff)...
+((Fcs+es1-Fcs_prim*es1_prim+M_kvasi)/I_eff)*z_tryck,3);
sigma_arm_tryck=vpa((-Fcs_prim/As_prim)+alpha_eff*sigma_btg_tryck,3);
sigma_btg_drag=vpa(((Fcs+Fcs_prim)/A_eff)...
+((Fcs+es1-Fcs_prim*es1_prim+M_kvasi)/I_eff)*z_drag,3);
sigma_arm_drag=vpa((-Fcs_prim/As_prim)+alpha_eff*sigma_btg_drag,3);
if sigma_btg_max<0.6*fck
    disp('OK tryckt btg')
else
    disp('Ej OK tryckt btg')
end
if sigma_arm_tryck<0.6*fyk
    disp('OK tryckt arm')
else
    disp('Ej OK tryckt arm')
end
if sigma_arm_drag<0.6*fyk
    disp('OK dragen arm')
else
    disp('Ej OK dragen arm')
end

% KONTROLL SPRICKBREDD
c=Cnom;
L=2.5*(h-d);
M=(h-x_tp)/3;
N=h/2;
O=[L;
    M;
    N];
hc_eff=vpa(min(O),3);
Ac_eff=vpa((hc_eff*b),3);
ra_eff=vpa((As/Ac_eff),3);
Sr_max=vpa((k3*c+k1*k2*k4*(fi_drag/ra_eff)),3);
alpha_1=Es/Ecm;
P=[(sigma_arm_drag-kt*(fctm/ra_eff)*(1+alpha_1*ra_eff))/Es
    (0.6*sigma_arm_drag)/Es];
esm_ecm=vpa(max(P),3);
Wk=vpa((Sr_max*esm_ecm),3);

```

```

if Wk<0.0003
    disp('OK sprickbredd')
else
    disp('Ej OK sprickbredd')
end

% NEDBÖJNING
Ec_eff=Ec/(1+kryp);
rf=M_frek/(Ec_eff*I_eff);
Xcf=(5*Ltot)/(8*2);
Af=(1*L*rf)/(3*2);
yf=Xcf*Af;

rs=(Fcs*es1)/(Ec_eff*I_eff);
Xcs=Ltot/4;
AS=(Ltot*rs)/2;
ys=Xcs*AS;

y_tot=yf+ys;
if y_tot<(Ltot/400)
    disp('OK nedböjning')
else
    disp('Ej OK nedböjning')
end

OK armeringsmängder
OK x
OK dragarmering flyter
OK tryckarmering flyter ej
OK Momentkapacitet
OK segt brott
Uppsprucket tvärsnitt
OK x_tp
OK tryckt btg
OK tryckt arm
OK dragen arm
OK sprickbredd
OK nedböjning

```

Dimensionering av tvärkraftsarmering

```

a=0.295; % Bredd lager
Asl=As;
alphacc=1;
gammac=1.5;
fcd=alphacc*fck/gammac;

% Kontroll livtryckbrott
v=0.6*(1-50/250);

if 0.5*v*fcd*b*d>V_brott
    disp('OK, ingen risk för livtryckbrott')

```

```

else
    disp('Ej OK')
end

% Beräkna reducerad tvärkraft

Ra=133.76; % [kN]
G=23.23; % [kN]
xred=a/2+0.9*d;
Vxred=Ra-G*xred;

Vred=Vxred-(((2*d-xred)^2/(4*d))*G);

% Tvärkraftskapacitet utan tvärarmering

k=1+sqrt(200/(d*1000));

if k<=2
    disp('OK')
else k=2
end

CrdC=0.18/gammac;

ral=Asl/(b*d);

if ral<=0.02
    disp('OK')
else ral=0.02
end

vmin=0.035*k^(3/2)*sqrt(50);
Vmin_kap=vmin*b*d*1000;
VrdC=CrdC*k*(100*ral*50)^(1/3)*b*(d*1000);

if VrdC>=Vmin_kap
    VrdC=VrdC;
else
    VrdC=Vmin_kap;
end

if VrdC>Vred
    disp('Ingen tvärkraftsarmering behövs')
else VrdC<Vred
    disp('Tvärkraftsarmering behövs')
end

OK, ingen risk för livtryckbrott
OK
OK
Ingen tvärkraftsarmering behövs

```

Published with MATLAB® R2018b

N LASTFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SL:s SPÅRBÄ- RANDE BYGGNADSVERK

Strategisk Utveckling
Trafik- och Infrastrukturutveckling

SÄKERHETSBESTÄMMELSE
2014-09-01
Version
6.0

Diarienummer
TN 2014-0187

Infosäk. klass
K1 (Öppen)

Upprättat av:
Emma Selén
Granskat av:
Thomas Sträng
Fastställt av:
Mattias Wäppling

Gäller fr.o.m. Tom
2014-09-01 T.v.

SSÄ SÄK-0288 LASTFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SL:s SPÅRBÄRANDE BYGGNADSVERK

Trafikförvaltningens ändringar och tillägg till avsnitt B.2- B.5 i TRVK Bro 11

Strategisk Utveckling
 Trafik- och Infrastrukturutveckling

 SÄKERHETSBESTÄMMELSE
 2014-09-01
 Version 6.0

 Diarienummer
 TN 2014-0187

 Infosäk. klass
 K1 (Öppen)

Versionshistorik

Datum	Utgåva	Orsak till revidering	Handläggare
2014-09-01	6.0	Utgåvan reviderad avseende TRVK Bro 11. Tillägg av spårvagn A36 för Tvärbanan samt C30 för Tunnelbanan.	Emma Selén
2011-03-23	5.0	Tillägg av spårvagn A35 för Tvärbanan, justering av deformationskrav samt förutsättningar för bärrighetsutredningar.	Björn Hällström
2009-06-09	4.0	Ändring av lastförutsättningar för framtida trafik på Roslagsbanan. Ändring av utmattningsbelastning och tomvagnsvikter. Allmän redigering och mindre justeringar i övrig.	Lars Hansson
2009-01-01	3.0	Utgåvan ersätter Fö-I-288, rev 2. Den har gjorts om till en säkerhetsbestämmelse med beteckningen SÄK-0288.	Lars Hansson
2008-07-11	2.0	Utgåva 2.0 reviderad avseende BV Bro utgåva 9 och anger lastförutsättningar för SL:s Konstbyggnader. Bolagsnamnet ändrat till AB Storstockholms Lokaltrafik.	Lars Hansson
2000-04-28	--	Utgivningsdatum för föreskriften Fö-I-288. Dokumentets titel var: Lastförutsättningar för SLs broar. Dokumentet upprättades av Banavdelningen på SL Infrateknik AB.	Faegh Adelpour

Strategisk Utveckling
Trafik- och Infrastrukturutveckling

SÄKERHETSBESTÄMMELSE
2014-09-01
Version 6.0

Diarienummer
TN 2014-0187
Infosäk. klass
K1 (Öppen)

Förord

SÄK-0288 version 6.0 anger lastförutsättningar för SL:s spårbärande byggnadsverk, till exempel broar, stödmurar, påldäck under järnvägsbank och geokonstruktioner samt i tillämpliga delar även bankpålning, bullerskydd, provisorier, plattformar, stationsstommar, tunnlar och andra byggnadsverk inom Trafikförvaltningens verksamhetsområde som påverkar eller som påverkas av spårburen trafik.

Denna utgåva ska användas tillsammans med lastförutsättningar enligt avsnitt B.2-B.5 i Trafikverkets tekniska krav TRVK Bro 11 (TRV Publ 2011:085) samt tillämpliga krav enligt Riktlinjer Anläggning (Dok. id. 346214).

För tunnlar finns tillämpliga krav redovisade i Trafikverkets tekniska krav TRVK Tunnel 11 (TRV Publ 2011:087).

Vid bärighetsutredning, förbättring eller ombyggnad skall bron kontrolleras för trafiklast enligt denna utgåva enligt de principer som anges i Banverkets standard (BVS 583.11), Bärighetsberäkning av järnvägsbroar. Bärighetberäkning enligt denna standard är en del i en bärighetsutredning vilket även inkluderar inventering, bärighetsbesiktning, provning av materialparametrar och analys. Utmattning skall kontrolleras för både betong- och stålbroar.

Strategisk Utveckling
Trafik- och Infrastrukturutveckling

SÄKERHETSBESTÄMMELSE
2014-09-01
Version 6.0

Diarienummer
TN 2014-0187
Infosäk. klass
K1 (Öppen)

Innehållsförteckning

Versionshistorik	2
Förord.....	3
TF B.2 Verifiering av bärförmåga, stadga och beständighet – allmänt	5
TF B.2.1 Förutsättningar	5
TF B.2.3 Grundläggande dimensioneringsregler	5
TF B.2.3.2 ψ -faktorer.....	5
TF B.3 Varaktiga dimensioneringssituationer	5
TF B.3.1 Permanenta laster	5
TF B.3.1.1 Egentyngd.....	5
TF B.3.2 Variabla laster	5
TF B.3.2.1 Trafiklast	5
TF B.3.2.1.4 Tillägg till SS-EN 1991-2 för järnvägsbroar	6
TFA.1 Tvärbanan, Nockebybanan, Spårväg City och Lidingöbanan	8
TF A.2 Tunnelbanan och Saltsjöbanan.....	9
TF A.3 Roslagsbanan	12
TF B.3.4 Bruksgränstillstånd.....	15
TF B.3.4.2 Deformationer	15
TF B.3.4.2.2 Vertikal deformation av variabel last	15
TF B.4 Tillfälliga dimensioneringssituationer	15
TF B.4.2 Tillämpning av SS-EN 1991-1-6.....	15
TF B.4.3 Dimensionering för byte av lager	16
TF B.5 Exceptionella dimensioneringssituationer	16
TF B.5.2 Påkörning med väg- eller järnvägsfordon	16
TF B.5.2.5 Påkörningskrafter	16

TF B.2 Verifiering av bärförmåga, stadga och beständighet – allmänt

TF B.2.1 Förutsättningar

TRVK Bro 11, B.2.1 andra stycket, ersätts med:

Laster och dimensioneringssituationer enligt SS-EN 1990 – SS-EN 1999 ska tillämpas med tillägg enligt B.2-B.5 samt de ändringar och tillägg till TRVK Bro, B.2-B.5, som framgår av föreliggande säkerhetsbestämmelse, SÄK-0288 (Trafikförvaltningens lastförutsättningar). Ytterligare tillägg anges i TRVK Bro, C-M.

Där ändring häri av en punkt i TRVK Bro kan innebära motstridighet mot annan punkt i TRVK Bro eller SS-EN 1990 – SS-EN 1999 gäller ändringen också den senare punkten även om den inte medtagits i Trafikförvaltningens lastförutsättningar.

Vid motstridiga uppgifter mellan krav angivna i Trafikförvaltningens lastförutsättningar och TRVK Bro eller SS-EN 1990 – SS-EN 1999 ska Trafikförvaltningens lastförutsättningar tillämpas.

Avsnitten numreras i så stor utsträckning som möjligt enligt TRVK Bro, där avsnitten får tillägget TF framför rubriknumret.

TF B.2.3 Grundläggande dimensioneringsregler

TF B.2.3.2 ψ -faktorer

Tillägg till TRVK Bro 11, B.2.3.2:

Trafikförvaltningens lastgrupper ska betraktas som ”verkliga tåg” enligt tabell A2.3 i SS-EN 1990.

TF B.3 Varaktiga dimensioneringssituationer

TF B.3.1 Permanenta laster

TF B.3.1.1 Egentyngd

Tillägg till TRVK Bro 11, B.3.1.1:

Broar med genomgående ballast beräknas för 0,50 m ballast med tunghet 20 kN/m³.

En avvikelse på $\pm 30\%$ från ovan angivet ballastdjup ska beaktas vid dimensionering enligt SS-EN 1991-1-1, 5.2.3 (2).

TF B.3.2 Variabla laster

TF B.3.2.1 Trafiklast

TF B.3.2.1.4 Tillägg till SS-EN 1991-2 för järnvägsbroar

Ändringar och tillägg till TRVK Bro 11, B.3.2.1.4:

	Punkt i SS-EN 1991-2	Val																														
a	1.1(3)	TRVK Bro 11, B.3.2.1.4 a, första meningen ändras till: Stödmurar dimensioneras för laster enligt TRVK Bro med de tillägg och ändringar som framgår av SÄK-0288.																														
b	6.3.2(3)P	Punkten utgår. <i>Trafikförvaltningens lastgrupper ska anses motsvara verkliga tåg, varför $\alpha = 1$ vid alla tillämpningar.</i>																														
c	6.3.3(4)P	Punkten utgår.																														
k	6.5.1(5)P	TRVK Bro 11, B.3.2.1.4 k, ersätts med: Högsta tillåtna hastighet ska framgå av projekteringsförutsättningarna, dock skall minst 80 km/tim förutsättas.																														
l	6.5.1(10)	Punkten utgår.																														
m	6.5.3(6)	TRVK Bro 11, B.3.2.1.4 m, ersätts med: Broms- och accelerationskraft ska antas vara jämnt fördelad på belastad längd och verka i jämnhöjd med RÖK i spårmit i spårets riktning. Broms- och accelerationskraft ska vara kopplad till tillhörande vertikalkraft enligt TF B.3.2.1.4 A. Bromskraften beaktas med värden enligt q i tabell TF B.3-1 och begränsas till angivna $F_{\max}$ -värden. <table><tr><th>Bana</th><th colspan="2">Bromskraft</th><th colspan="2">Accelerationskraft</th></tr><tr><th></th><th>q</th><th>$F_{\max}$</th><th>q</th><th>$F_{\max}$</th></tr><tr><th></th><th>(kN/m)</th><th>(kN)</th><th>(kN/m)</th><th>(kN)</th></tr><tr><td>Tvärbanan, Nockebybanan, Spårväg City och Lidingöbanan</td><td>5</td><td>720</td><td>3</td><td>400</td></tr><tr><td>Tunnelbanan och Saltsjöbanan</td><td>8</td><td>1540</td><td>5</td><td>860</td></tr><tr><td>Roslagsbanan</td><td>8 8¹⁾</td><td>870 2180¹⁾</td><td>5 5¹⁾</td><td>480 1000¹⁾</td></tr></table> <i>Tabell TF B.3-1 Broms- och accelerationskraft.</i> ¹⁾ Värden gäller då det enligt projekteringsförutsättningarna ska beaktas framtida pendeltågstrafik på Roslagsbanan.	Bana	Bromskraft		Accelerationskraft			q	$F_{\max}$	q	$F_{\max}$		(kN/m)	(kN)	(kN/m)	(kN)	Tvärbanan, Nockebybanan, Spårväg City och Lidingöbanan	5	720	3	400	Tunnelbanan och Saltsjöbanan	8	1540	5	860	Roslagsbanan	8 8 ¹⁾	870 2180 ¹⁾	5 5 ¹⁾	480 1000 ¹⁾
Bana	Bromskraft		Accelerationskraft																													
	q	$F_{\max}$	q	$F_{\max}$																												
	(kN/m)	(kN)	(kN/m)	(kN)																												
Tvärbanan, Nockebybanan, Spårväg City och Lidingöbanan	5	720	3	400																												
Tunnelbanan och Saltsjöbanan	8	1540	5	860																												
Roslagsbanan	8 8 ¹⁾	870 2180 ¹⁾	5 5 ¹⁾	480 1000 ¹⁾																												

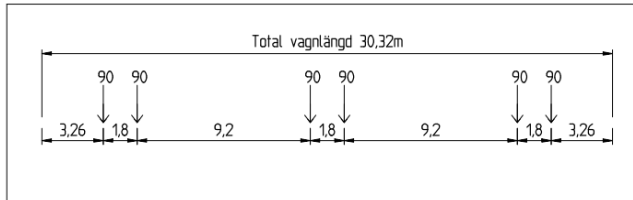
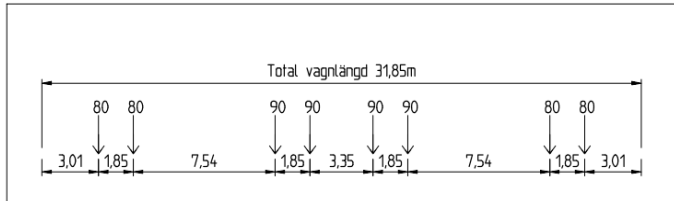
Strategisk Utveckling
 Trafik- och Infrastrukturutveckling

 SÄKERHETSBESTÄMMELSE
 2014-09-01
 Version 6.0

 Diarienummer
 TN 2014-0187
 Infosäk. klass
 K1 (Öppen)

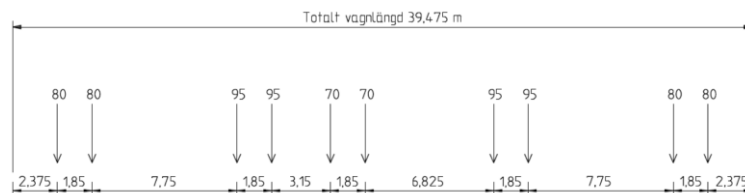
		<i>Vid bestämning av broms- och accelerationskrafter har upp till två bromsande respektive accelererande tågsätt förutsatts.</i> Bro med fler än ett spår ska beräknas för bromskraft på ett spår och accelerationskraft på ytterligare ett spår. Vid beräkning av broms- och accelerationskraft mot frontmur ska lastfördelningsbredden sättas till 1,71 m för Roslagsbanan och 2,25 m för övriga banor. Se även figur B.3-1 i TRVR Bro 11.
r	6.7.3(1)P	TRVK Bro 11, B.3.2.1.4 r, första stycket avseende last från spårbytesmaskin utgår.
s	6.8.1(1)P	TRVK Bro 11, B.3.2.1.4 s, andra meningen ändras till: För bro med fler än ett spår och ballast ska spåravståndet minst antas vara 3,8 meter på Roslagsbanan samt 3,3 meter på övriga banor. <i>När det enligt projekteringsförutsättningarna ska beaktas framtida pendeltågstrafik på Roslagsbanan antas spåravståndet vara minst 4,5 meter.</i>
t	6.8.1(2)P	TRVK Bro 11, B.3.2.1.4 t, ersätts med: Det minsta horisontella avståndet mellan spårmitt och brokonstruktion framgår av säkerhetsbestämmelse "Minsta fritt utrymme och minsta skyddsutrymme" för respektive bana (SSÄ SÄK-0338, 0339, 0347, 0347).
v	6.9 (2) 6.9 (3)	TRVK Bro 11, B.3.2.1.4 v, ersätts med: Som utmattningslast skall den ogynnsammaste lasten för respektive bana väljas enligt följande: - Tvärbanan, Nockebybanan och Lidingöbanan - Spårvagn A32, A35 eller A36 - Spårväg City - Spårvagn A36 - Tunnelbanan - Tunnelbanetåg C14, C20 eller C30 - Saltsjöbanan - Tåg C10/C11, tunnelbanetåg C14, C20 eller C30 - Roslagsbanan - Motorvagnståg X10p När det enligt projekteringsförutsättningarna ska beaktas framtida pendeltågstrafik på Roslagsbanan skall även pendeltåg typ X60 och det ogynnsammaste av tunnelbanetåg typ C20 eller C30 användas som utmattningslast. Trafiksammansättning och trafikvolym ska bestämmas särskilt i varje enskilt fall. Trafikvolymen får bestämmas med utgångspunkt från befintlig eller planerad tidtabell på aktuell bansträcka. Arbetståg behöver inte beaktas, såvida annat ej anges av Trafikförvaltningen.

Tillkommande punkter till TRVK Bro 11, B.3.2.1.4:

	Punkt i SS-EN 1991-2	Val						
A	6.3.1 6.3.2 6.3.3 6.3.4 6.3.5	SL:s spårbundna trafik trafikerar 7 st banor – Tvärbanan (TvB), Tunnelbanan (TB), Saltsjöbanan (SB), Nockebybanan (NB), Lidingöbanan (LB), Spårväg City (SPC) och Roslagsbanan (RB). Inverkan av tåglast ska beräknas utgående från aktuella och framtida tåglaster för respektive bana. Lasternas utseende för respektive tågsätt framgår enligt A.1 till A.3 nedan. <i>Tvärbanan, Nockebybanan, Spårväg City och Lidingöbanan benämns spårväg.</i> Spårvidder för de olika banorna framgår av tabell TF B.3-2. <table><tr><th>Bana</th><th>Spårvidd (m)</th></tr><tr><td>Roslagsbanan</td><td>0,891</td></tr><tr><td>Övriga banor</td><td>1,435</td></tr></table> Tabell TF B.3-2 Spårvidder <i>TFA.1 Tvärbanan, Nockebybanan, Spårväg City och Lidingöbanan</i> TF A.1a Spårvagn A32  Figur TF A.1a Spårvagn A32. Axellaster i kN. Antal vagnar per tåg och tåg per spår är obegränsat. Tom vagn beräknas för 60 % av angivna axellaster. Spårvagn A32 trafikerar inte Spårväg City. Max hastighet är 90 km/tim. TF A.1b Spårvagn A35  Figur TF A.1b Spårvagn A35. Axellaster i kN. Antal vagnar per tåg och tåg per spår är obegränsat. Tom vagn beräknas för 70 % av angivna axellaster. Spårvagn A35 trafikerar inte Spårväg City.	Bana	Spårvidd (m)	Roslagsbanan	0,891	Övriga banor	1,435
Bana	Spårvidd (m)							
Roslagsbanan	0,891							
Övriga banor	1,435							

Max hastighet är 90 km/tim.

TF A.1c Spårvagn A36

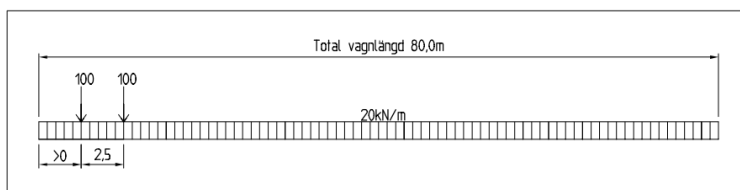


Figur TF A.1c Spårvagn A36. Axellaster i kN.

Antal vagnar per tåg och tåg per spår är obegränsat. Tom vagn beräknas för 70 % av angivna axellaster.

Max hastighet är 90 km/tim.

TF A.1d Arbetståg



Figur TF A.1d Arbetståg. Axellaster i kN.

Tåglasten består av axellaster och jämnt fördelad last. Vid beräkning av en bros konstruktionsdelar ska tåglasten vara uppställd på för varje del och för varje snittstorhet mest ogynnsamma sätt. Härvid kan axellasternas antal minskas och den jämnt fördelade lasten kan kortas av och delas upp. Vid uppdelad last får mellanrummet fyllas ut med lasten 10 kN/m (tomvagnar). Vid uppdelning av den jämnt fördelade lasten behöver inte kortare mellanrum än 10 m förutsättas.

Max hastighet är 50 km/tim.

TF A.1e Enstaka axelgrupper

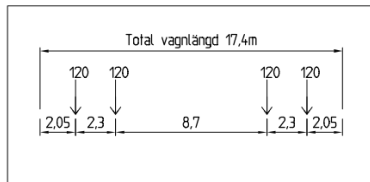
Bro ska även beräknas för en enstaka axelgrupp bestående av två axellaster om vardera 150 kN med axelavståndet 2,5 m.

Max hastighet är 50 km/tim.

TF A.2 Tunnelbanan och Saltsjöbanan

Saltsjöbanan har lastmässigt samma utseende som tunnelbanan med tillägg att tåg C10/C11 enligt TF A.2g enbart trafikerar Saltsjöbanan.

TF A.2a Tunnelbanetåg typ C14

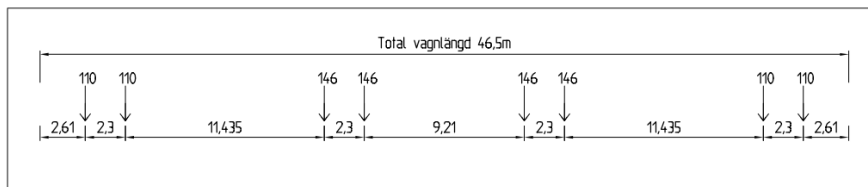


Figur TF A.2a Tunnelbanetåg typ C14. Axellaster i kN.

Ett tågsätt består av upp till 8 vagnar och högst 2 tåg trafikerar samtidigt på varje spår. Tom vagn beräknas för 50 % av angivna axellaster.

Max hastighet är 80 km/tim.

TF A.2b Tunnelbanetåg typ C20

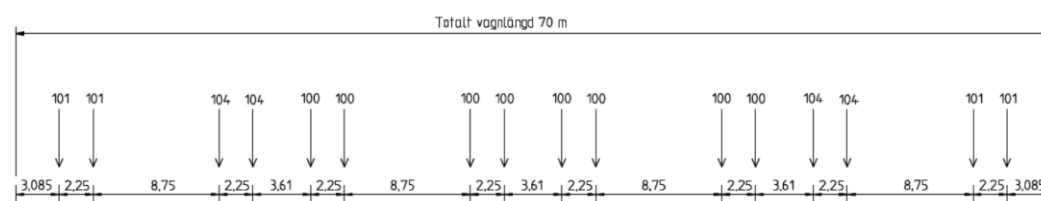


Figur TF A.2b Tunnelbanetåg typ C20. Axellaster i kN.

Ett tågsätt består av upp till 3 vagnar och högst 2 tåg trafikerar samtidigt på varje spår. Tom vagn beräknas för 65 % av ovan angivna axellaster.

Max hastighet är 90 km/tim.

TF A.2c Tunnelbanetåg typ C30

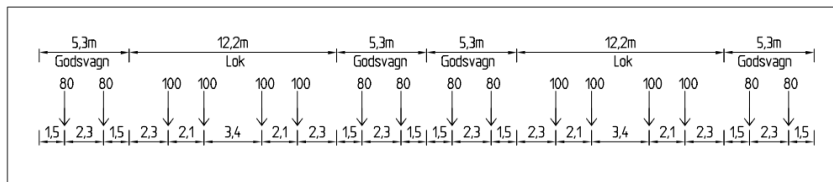


Figur TF A.2c Tunnelbanetåg typ C30. Axellaster i kN.

Ett tågsätt består av upp till 2 vagnar och högst 2 tåg trafikerar samtidigt på varje spår. Tom vagn beräknas för 70 % av ovan angivna axellaster.

Max hastighet är 90 km/tim.

TF A.2d Arbetståg K1

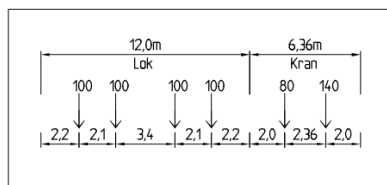


Figur TF A.2d Arbetståg K1. Axellaster i kN.

Ett arbetståg består av 2 lok och 4 godsvagnar och högst 2 tåg trafikerar samtidigt på ett spår. Tom godsvagn beräknas för 30 % av ovan angivna axellaster. Vid fler än ett spår kan övriga spår belastas med annan valfri tåglast C14, C20, C30, K2 eller K3.

Max hastighet är 60 km/tim.

TF A.2e Arbetståg K2

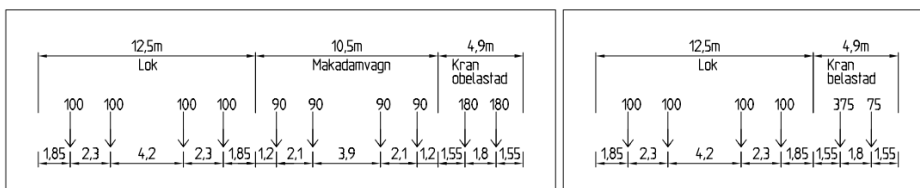


Figur TF A.2e Arbetståg K2. Axellaster i kN.

Arbetståget består av lok och kran där kranens axellaster kan byta plats. Tåget kombineras inte med annan belastning på samma spår. Vid fler än ett spår kan övriga spår belastas med annan valfri tåglast C14, C20, C30 eller K1.

Max hastighet är 30 km/tim.

TF A.2f Arbetståg K3



Figur TF A.2f Arbetståg K3. Axellaster i kN.

Arbetsståg under transport består av lok, med eller utan makadamvagn och obelastad kran där kran och makadamvagn kan byta plats. Tom makadamvagn beräknas för 30 % av ovan angivna axellaster. Tåget kombineras inte med annan belastning på samma spår. Max hastighet är 30 km/tim.

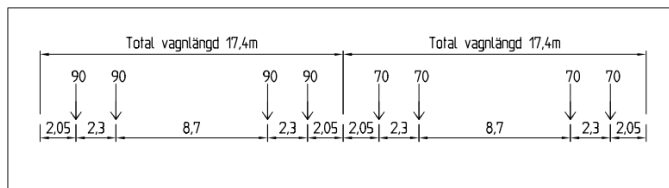
Arbetståg vid arbete består av lok samt belastad kran där kranens axellaster kan byta plats. Tåget kombineras inte med annan belastning på samma spår.

Max hastighet vid belastad kran är 5 km/tim.

Vid fler än ett spår kan övriga spår belastas med annan valfri tåglast C14, C20, C30, K1 eller K2.

TF A.2g Tåg C10/C11

Tåglasten trafikerar enbart Saltsjöbanan.



Figur TF A.2g Tåg C10/C11. Axellaster i kN.

Ett tågsätt består av upp till 6 vagnar och högst 2 tåg trafikerar samtidigt på varje spår. Tom vagn beräknas för 65 % av ovan angivna axellaster.

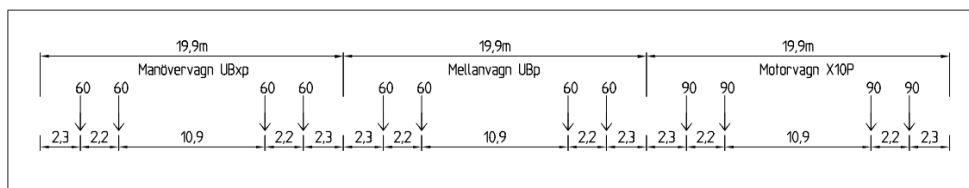
Max hastighet är 80 km/tim.

TF A.3 Roslagsbanan

Aktuella tåglaster för dagens smalspårsbana är laster enligt Tf A.3a tom Tf A.3d.

Broar för framtida pendeltågstrafik på bandelar ombyggd till normalspårvidd skall även beräknas för pendeltåg typ X60 enligt Tf A.3e samt för tunnelbanetåg typ C20 och C30 samt arbetstågen K1 tom K3 enligt SL A.2b tom f.

TF A.3a Motorvagnståg X10p

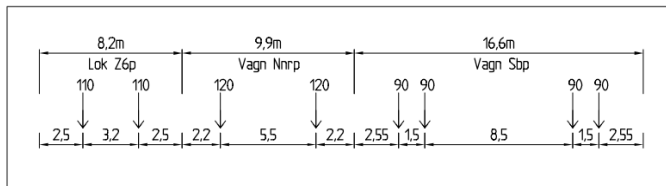


Figur TF A.3a Motorvagnståg X10p. Axellaster i kN.

Ett tågsätt består av upp till 3 vagnar varav en motorvagn (X10p). 2 st tåg kan kopplas samman till en enhet och högst 2 st kopplade enheter trafikerar samtidigt på varje spår. Tom vagn beräknas för 65 % och tom motorvagn för 75 % av ovan angivna axellaster.

Max hastighet är 80 km/tim.

TF A.3b Arbetståg 7a

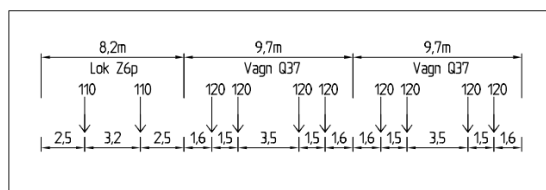


Figur TF A.3b Arbetståg 7a. Axellaster i kN.

Arbetståget består av ett lok (Z6p) och två vagnar (Nnnp) och (Sbp), varav den sista kan kopplas bort. Tom vagn (Nnnp) beräknas för 25 % och (Sbp) för 50 % av ovan angivna axellaster. Tåget kombineras inte med annan belastning på samma spår. Vid fler än ett spår kan övriga spår belastas med motorvagnståg.

Max är hastighet 55 km/tim.

TF A.3c Arbetståg 7b

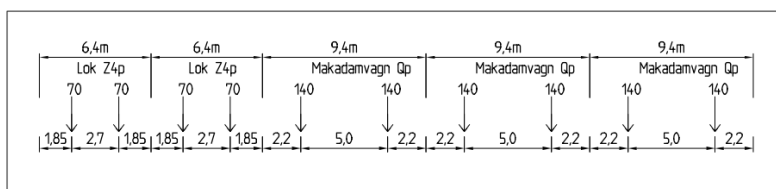


Figur TF A.3c Arbetståg 7b. Axellaster i kN.

Ett arbetståg består av ett lok (Z6p) och två vagnar (Q37). Tom vagn beräknas för 15 % av ovan angivna axellaster. Tåget kombineras inte med annan belastning på samma spår. Vid fler än ett spår kan övriga spår belastas med motorvagnståg.

Max hastighet är 55 km/tim.

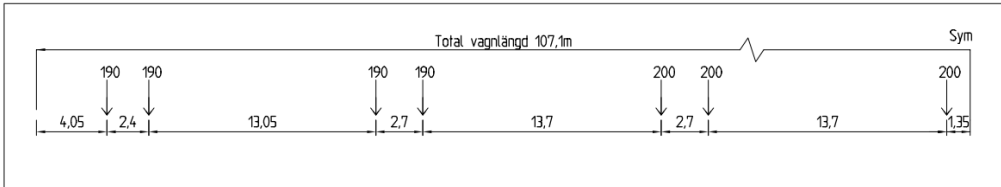
TF A.3d Arbetståg 7c



Figur TF A.3d Arbetståg 7c. Axellaster i kN.

Ett arbetståg består av två lok (Z4p) och upp till 3 makadamvagnar (Qp). Tom makadamvagn beräknas för 25 % av ovan angivna axellaster. Tåget kombineras inte med annan belastning på samma spår. Vid fler än ett spår kan övriga spår belastas med motorvagnståg.

Max hastighet är 40 km/tim.

		TF A.3e Pendeltåg typ X60 Tåglasten trafikerar enbart bana med spårvidd 1,435 m.  Figur TF A.3e Pendeltåg typ X60. Axellaster i kN. Ett tågsätt består av upp till 2 vagnar och högst 2 st tåg trafikerar samtidigt på varje spår. Tom vagn beräknas för 70 % av ovan angivna axellaster. Max hastighet är 120 km/tim.								
B	6.3.6.4 (1)	Beräkning av överlast för bestämning av trafiklast på pålplattor samt horisontalt jordtryck av överlast under järnvägsbank, ska göras utgående från lastvärden i tabell TF B.3-3 motsvarande tillämpad tåglastmodell enligt följande: Överlasten bakom landfäste eller liknande konstruktion ska antas motsvara en jämnt fördelad ytlast p_t. På djupet h m under RUK ska överlasten antas vara jämnt fördelad på en bredd av $h+b_{ef}$ m centriskt under CL spår (lastspridning 2:1). Om ogynnsammare inverkan erhålls, fördelas överlasten på en bredd av $2h+b_{ef}$ m (lastspridning 1:1). Vid bro med fler än ett spår får överlasten spridas på en bredd av högst halva spåravståndet mot intilliggande spår. b_{ef} får sättas till 1,71 m för Roslagsbanan samt 2,25 m för övriga banor. <table border="1"><thead><tr><th>Bana</th><th>Tåglast (kN/m)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Tvärbanan, Nockebybanan och Li-dingöbanan</td><td>65</td></tr><tr><td>Tunnelbanan och Saltsjöbanan</td><td>65¹⁾</td></tr><tr><td>Roslagsbanan</td><td>65²⁾</td></tr></tbody></table> Tabell TF B.3-3 Utbredd last för beräkning av överlast ¹⁾ Inverkan av Arbetståg K3 ska kontrolleras separat. ²⁾ När det enligt projekteringsföresattningarna ska beaktas framtida pendeltågstrafik på Roslagsbanan skall inverkan av Arbetståg K3 kontrolleras separat.	Bana	Tåglast (kN/m)	Tvärbanan, Nockebybanan och Li-dingöbanan	65	Tunnelbanan och Saltsjöbanan	65 ¹⁾	Roslagsbanan	65 ²⁾
Bana	Tåglast (kN/m)									
Tvärbanan, Nockebybanan och Li-dingöbanan	65									
Tunnelbanan och Saltsjöbanan	65 ¹⁾									
Roslagsbanan	65 ²⁾									
C	6.4.5	Dynamikfaktor för tåglasten enligt B.3.2.1.4 A ska beräknas enligt SS-EN 1991-2, Bilaga C, varvid "omsorgsfullt underhållet spår" enligt formel (C.2) får förutsättas.								
D	6.5.1	Centrifugalkraft kan antas verka 1,5 meter över RÖK. Då R är större än 1500 m godtas att inverkan av centrifugalkraft försummas. För vertikala laster Q_{vk} och q_{vk} ska trafiklasten enligt TF B.3.2.1.4 A användas. Faktorn f ska sättas till 1.0 för trafiklasten enligt TF B.3.2.1.4 A.								

Strategisk Utveckling
 Trafik- och Infrastrukturutveckling

 SÄKERHETSBESTÄMMELSE
 2014-09-01
 Version 6.0

 Diarienummer
 TN 2014-0187
 Infosäk. klass
 K1 (Öppen)

E	6.5.2 (2)P	Karakteristiska värdet på sidokraften skall sättas till $Q_{sk} = 80 \text{ kN}$.
F	6.6.1 (4)	Vid beräkning av aerodynamiska laster från passerande tåg ska dimensioneringshastighet $V \text{ [km/h]}$ sättas till lägst 120 km/h.
G	6.7.1	Bro ska beräknas för urspårningslast motsvarande två med spåret parallella vertikala linjelaster 30 kN/m vardera med 10 m längd och på avståndet 1,5 m. Centrumlinjen mellan linjelasterna ska förskjutas 1,5 m från CL spår, dock högst 0,75 m intill kantbalk. I de fall att bron är försedd med skyddsräler ska centrumlinjen förutsättas förskjutas 0,5 m. Övriga delar av bron ska förutsättas vara belastade av aktuell tåglast.

TF B.3.4 Bruksgränstillstånd

TF B.3.4.2 Deformationer

TF B.3.4.2.2 Vertikal deformation av variabel last

Tillägg till TRVK Bro 11, B.3.4.2.2:

Om den tillåtna hastigheten för aktuellt banavsnitt är högst 50 km/h godtas att den beräknade nedböjningen av trafiklast för järnvägsbro inte ska överstiga 1/400 av den teoretiska spännvidden.

TF B.4 Tillfälliga dimensioneringssituationer

TF B.4.2 Tillämpning av SS-EN 1991-1-6

Ändringar och tillägg till TRVK Bro 11, B.4.2:

	Punkt i SS-EN 1991-1-6	Val
i	4.11.1(2)	Tillägg till TRVK Bro 11, B.4.2 i: För trafikförvaltningens spårbarande byggnadsverk gäller att transporter med fordon med en axellast av högst 12 ton och en boggilast av högst 16 ton får framföras utan särskild dimensionering. Fordonen ska framföras i blivande spårmit. <i>Detta krav gäller oavsett konstruktionens utformning och ersätter kraven i avsnitt 4.2.1 och 4.2.2 i TRVK Bro, bilaga 4.</i>

Strategisk Utveckling
 Trafik- och Infrastrukturutveckling

 SÄKERHETSBESTÄMMELSE
 2014-09-01
 Version 6.0

 Diarienummer
 TN 2014-0187
 Infosäk. klass
 K1 (Öppen)

TF B.4.3 Dimensionering för byte av lager

TRVK Bro 11, B.4.3, ersätts med:

En bro med lager ska dimensioneras så att lagren kan avlastas och bytas. För detta ska en tillfällig dimensioneringssituation enligt SS-EN 1991-1-6 tillämpas.

För Trafikförvaltningens broar ska dimensionering utföras för trafiklaster enligt SÄK-0288, B.3.2.1.4 A.

TF B.5 Exceptionella dimensioneringssituationer

TF B.5.2 Påkörning med väg- eller järnvägsfordon

TF B.5.2.5 Påkörningskrafter

Ändringar och tillägg till TRVK Bro 11, B.4.2:

	Punkt i SS-EN 1991-1-7	Val						
b	4.1(1)	Tillägg till TRVK Bro 11, B.5.2.5 b: Påkörningslasterna från järnväg kan för respektive bana reduceras med värden enligt nedanstående tabell: <table><tr><th>Bana</th><th>Reduktion</th></tr><tr><td>Tvärbanan, Nockebybanan och Lidingöbanan</td><td>50%</td></tr><tr><td>Tunnelbanan, Saltsjöbanan och Roslagsbanan</td><td>25%</td></tr></table> Tabell TF B.5-1 Reduktion av påkörningskraft från järnvägsfordon	Bana	Reduktion	Tvärbanan, Nockebybanan och Lidingöbanan	50%	Tunnelbanan, Saltsjöbanan och Roslagsbanan	25%
Bana	Reduktion							
Tvärbanan, Nockebybanan och Lidingöbanan	50%							
Tunnelbanan, Saltsjöbanan och Roslagsbanan	25%							
e	4.5.1.4(1)	Tillägg till TRVK Bro 11, B.5.2.5 e: Påkörningslasterna från järnväg kan för respektive bana reduceras med värden enligt tabell TF B.5-1.						
f	4.5.1.4(2)	Tillägg till TRVK Bro 11, B.5.2.5 f: Påkörningslasterna från järnväg kan för respektive bana reduceras med värden enligt tabell TF B.5-1. Påkörningskraft mot plattform ska sättas till 500 kN fördelat på längden 10 meter. Reduktion enligt tabell ovan ska inte tillämpas.						

O Dimensionerande Lastfall Balken MATLAB

```

clc
clear all

b_tot=6.4;
% ballast
b_ballast=4.6;
h_ballast=0.5;
% balk
bw=0.9;
h=1.7;
% platta
b_platta=b_tot-bw;
h_platta=0.41;

P_lok=90;
P_vagn=60;
btg=25;
ballast=20;

r=0.891;
e=r/18;
A=(b_platta/2)-e;
B=b_platta-A;
C=B/A;

P1=C*(P_lok/(1+C));
P2=C*(P_vagn/(1+C));
q_btg=((btg*b_platta*h_platta)/2)+btg*bw*h;
q_ballast=((ballast*b_ballast*h_ballast)/2);
q_racke=(0.5/2);
q_tot=q_btg+q_ballast+q_racke;

L=19.86;
x=[0:0.001:L];

% Fall 1
L2=2.2;
L1=(L-L2)/2;
L3=L1;

Rv1=(q_tot*L+2*P1)/2;
Rh1=Rv1;

x1=[0:0.001:L1];
x2=[0.001:0.001:L2];
x3=[0.001:0.001:L3];

M1=zeros(1, length(x1));
V1=zeros(1, length(x1));
M2=zeros(1, length(x2));
V2=zeros(1, length(x2));
M3=zeros(1, length(x3));

```

```

V3=zeros(1, length(x3));

for i=1:length(x1)
    Ms=Rv1*x1(i)-q_tot*((x1(i)^2)/2);
    Vs=Rv1-q_tot*x1(i);
    M1(i)=Ms;
    V1(i)=Vs;
end

for i=1:length(x2)
    Ms=Rv1*(L1+x2(i))-q_tot*((L1+x2(i))^2)/2-P1*x2(i);
    Vs=Rv1-q_tot*(L1+x2(i))-P1;
    M2(i)=Ms;
    V2(i)=Vs;
end

for i=1:length(x3)
    Ms=Rv1*(L1+L2+x3(i))-q_tot*((L1+L2+x3(i))^2)/2-P1*(L2+2*x3(i));
    Vs=Rv1-q_tot*(L1+L2+x3(i))-2*P1;
    M3(i)=Ms;
    V3(i)=Vs;
end

M_1=zeros(1, length(x));
V_1=zeros(1, length(x));

M_1(1,1:8831)=M1;
M_1(1,8832:11031)=M2;
M_1(1,11032:19861)=M3;

V_1(1,1:8831)=V1;
V_1(1,8832:11031)=V2;
V_1(1,11032:19861)=V3;

% Fall 2
L5=2.2;
L6=10.9;
L7=2.2;
L4=(L-L6-L7-L7)/2;
L8=L4;

Rh2=(4*P1+q_tot*L)/2;
Rv2=Rh2;

x4=[0:0.001:L4];
x5=[0.001:0.001:L5];
x6=[0.001:0.001:L6];
x7=[0.001:0.001:L7];
x8=[0.001:0.001:L8];

M4=zeros(1, length(x4));
V4=zeros(1, length(x4));
M5=zeros(1, length(x5));
V5=zeros(1, length(x5));

```

```

M6=zeros(1, length(x6));
V6=zeros(1, length(x6));
M7=zeros(1, length(x7));
V7=zeros(1, length(x7));
M8=zeros(1, length(x8));
V8=zeros(1, length(x8));

for i=1:length(x4)
    Ms=Rv2*x4(i)-q_tot*((x4(i)^2)/2);
    Vs=Rv2-q_tot*x4(i);
    M4(i)=Ms;
    V4(i)=Vs;
end

for i=1:length(x5)
    Ms=Rv2*(L4+x5(i))-q_tot*(((L4+x5(i))^2)/2)-P1*x5(i);
    Vs=Rv2-q_tot*(L4+x5(i))-P1;
    M5(i)=Ms;
    V5(i)=Vs;
end

for i=1:length(x6)
    Ms=Rv2*(L4+L5+x6(i))-q_tot*(((L4+L5+x6(i))^2)/2)-P1*(L5+2*x6(i));
    Vs=Rv2-q_tot*(L4+L5+x6(i))-2*P1;
    M6(i)=Ms;
    V6(i)=Vs;
end

for i=1:length(x7)
    Ms=Rv2*(L4+L5+L6+x7(i))-q_tot*(((L4+L5+L6+x7(i))^2)/2)-
P1*(L5+2*L6+3*x7(i));
    Vs=Rv2-q_tot*(L4+L5+L6+x7(i))-3*P1;
    M7(i)=Ms;
    V7(i)=Vs;
end

for i=1:length(x8)
    Ms=Rv2*(L4+L5+L6+L7+x8(i))-q_tot*(((L4+L5+L6+L7+x8(i))^2)/2)-
P1*(L5+2*L6+3*L7+4*x8(i));
    Vs=Rv2-q_tot*(L4+L5+L6+L7+x8(i))-4*P1;
    M8(i)=Ms;
    V8(i)=Vs;
end

M_2=zeros(1, length(x));
V_2=zeros(1, length(x));

M_2(1,1:2281)=M4;
M_2(1,2282:4481)=M5;
M_2(1,4482:15381)=M6;
M_2(1,15382:17581)=M7;
M_2(1,17582:19861)=M8;

V_2(1,1:2281)=V4;

```

```

V_2(1,2282:4481)=V5;
V_2(1,4482:15381)=V6;
V_2(1,15382:17581)=V7;
V_2(1,17582:19861)=V8;

% Fall 3
L12=2.2;
L11=10.9;
L10=2.2;
L9=L-L10-L11-L12;

Rh3=(q_tot*(L^2)*0.5+P1*L9+P1*(L9+L10)+P1*(L9+L10+L11)+P1*L)/L;
Rv3=q_tot*L+4*P1-Rh3;

x9=[0:0.001:L9];
x10=[0.001:0.001:L10];
x11=[0.001:0.001:L11];
x12=[0.001:0.001:L12];

M9=zeros(1,length(x9));
V9=zeros(1,length(x9));
M10=zeros(1,length(x10));
V10=zeros(1,length(x10));
M11=zeros(1,length(x11));
V11=zeros(1,length(x11));
M12=zeros(1,length(x12));
V12=zeros(1,length(x12));

for i=1:length(x9)
    Ms=Rv3*x9(i)-q_tot*(x9(i)^2)*0.5;
    Vs=Rv3-q_tot*x9(i);
    M9(i)=Ms;
    V9(i)=Vs;
end

for i=1:length(x10)
    Ms=Rv3*(L9+x10(i))-q_tot*(((L9+x10(i))^2)/2)-P1*x10(i);
    Vs=Rv3-q_tot*(L9+x10(i))-P1;
    M10(i)=Ms;
    V10(i)=Vs;
end

for i=1:length(x11)
    Ms=Rv3*(L9+L10+x11(i))-q_tot*(((L9+L10+x11(i))^2)/2)-
P1*(L10+2*x11(i));
    Vs=Rv3-q_tot*(L9+L10+x11(i))-2*P1;
    M11(i)=Ms;
    V11(i)=Vs;
end

for i=1:length(x12)
    Ms=Rv3*(L9+L10+L11+x12(i))-q_tot*(((L9+L10+L11+x12(i))^2)/2)-
P1*(L10+2*L11+3*x12(i));
    Vs=Rv3-q_tot*(L9+L10+L11+x12(i))-3*P1;

```

```

        M12(i)=Ms;
        V12(i)=Vs;
    end

    M_3=zeros(1, length(x));
    V_3=zeros(1, length(x));

    M_3(1,1:4561)=M9;
    M_3(1,4562:6761)=M10;
    M_3(1,6762:17661)=M11;
    M_3(1,17662:19861)=M12;

    V_3(1,1:4561)=V9;
    V_3(1,4562:6761)=V10;
    V_3(1,6762:17661)=V11;
    V_3(1,17662:19861)=V12;

    % Fall 4

    L14=2.2;
    L15=4.6;
    L16=2.2;
    L13=(L/2)-L14-L15-L16;
    L17=L-L13-L14-L15-L16;

    Rh4=(q_tot*(L^2)*0.5+P2*(2*L13+L14)+P1*(2*L13+2*L14+2*L15+L16))/L;
    Rv4=q_tot*L+2*P1+2*P2-Rh4;

    x13=[0:0.001:L13];
    x14=[0.001:0.001:L14];
    x15=[0.001:0.001:L15];
    x16=[0.001:0.001:L16];
    x17=[0.001:0.001:L17];

    M13=zeros(1, length(x13));
    V13=zeros(1, length(x13));
    M14=zeros(1, length(x14));
    V14=zeros(1, length(x14));
    M15=zeros(1, length(x15));
    V15=zeros(1, length(x15));
    M16=zeros(1, length(x16));
    V16=zeros(1, length(x16));
    M17=zeros(1, length(x17));
    V17=zeros(1, length(x17));

    for i=1:length(x13)
        Ms=Rv4*x13(i)-q_tot*((x13(i)^2)/2);
        Vs=Rv4-q_tot*x13(i);
        M13(i)=Ms;
        V13(i)=Vs;
    end

    for i=1:length(x14)
        Ms=Rv4*(L13+x14(i))-q_tot((((L13+x14(i))^2)/2)-P2*x14(i);

```

```

        Vs=Rv4-q_tot*(L13+x14(i))-P2;
        M14(i)=Ms;
        V14(i)=Vs;
    end

    for i=1:length(x15)
        Ms=Rv4*(L13+L14+x15(i))-q_tot*(((L13+L14+x15(i))^2)/2)-
        P2*(L14+2*x15(i));
        Vs=Rv4-q_tot*(L13+L14+x15(i))-2*P2;
        M15(i)=Ms;
        V15(i)=Vs;
    end

    for i=1:length(x16)
        Ms=Rv4*(L13+L14+L15+x16(i))-q_tot*(((L13+L14+L15+x16(i))^2)/2)-
        P2*(L14+2*L15+2*x16(i))-P1*x16(i);
        Vs=Rv4-q_tot*(L13+L14+L15+x16(i))-2*P2-P1;
        M16(i)=Ms;
        V16(i)=Vs;
    end

    for i=1:length(x17)
        Ms=Rv4*(L13+L14+L15+L16+x17(i))-
        q_tot*(((L13+L14+L15+L16+x17(i))^2)/2)-P2*(L14+2*L15+2*L16+2*x17(i))-
        P1*(L16+2*x17(i));
        Vs=Rv4-q_tot*(L13+L14+L15+L16+x17(i))-2*P1-2*P2;
        M17(i)=Ms;
        V17(i)=Vs;
    end

    M_4=zeros(1, length(x));
    V_4=zeros(1, length(x));

    M_4(1,1:931)=M13;
    M_4(1,932:3131)=M14;
    M_4(1,3132:7731)=M15;
    M_4(1,7732:9931)=M16;
    M_4(1,9932:19861)=M17;

    V_4(1,1:931)=V13;
    V_4(1,932:3131)=V14;
    V_4(1,3132:7731)=V15;
    V_4(1,7732:9931)=V16;
    V_4(1,9932:19861)=V17;

    % Fall 5

    L19=2.2;
    L20=4.6;
    L21=2.2;
    L18=(L-L19-L20-L21)/2;
    L22=L18;

    Rh5=(q_tot*(L^2)*0.5+P2*(2*L18+L19)+P1*(2*L18+2*L19+2*L20+L21))/L;

```

```

Rv5=q_tot*L+2*P1+2*P2-Rh5;

x18=[0:0.001:L18];
x19=[0.001:0.001:L19];
x20=[0.001:0.001:L20];
x21=[0.001:0.001:L21];
x22=[0.001:0.001:L22];

M18=zeros(1, length(x18));
V18=zeros(1, length(x18));
M19=zeros(1, length(x19));
V19=zeros(1, length(x19));
M20=zeros(1, length(x20));
V20=zeros(1, length(x20));
M21=zeros(1, length(x21));
V21=zeros(1, length(x21));
M22=zeros(1, length(x22));
V22=zeros(1, length(x22));

for i=1:length(x18)
    Ms=Rv5*x18(i)-q_tot*(x18(i)^2)/2;
    Vs=Rv5-q_tot*x18(i);
    M18(i)=Ms;
    V18(i)=Vs;
end

for i=1:length(x19)
    Ms=Rv5*(L18+x19(i))-q_tot*(((L18+x19(i))^2)/2)-P2*x19(i);
    Vs=Rv5-q_tot*(L18+x19(i))-P2;
    M19(i)=Ms;
    V19(i)=Vs;
end

for i=1:length(x20)
    Ms=Rv5*(L18+L19+x20(i))-q_tot*(((L18+L19+x20(i))^2)/2)-
P2*(L19+2*x20(i));
    Vs=Rv5-q_tot*(L18+L19+x20(i))-2*P2;
    M20(i)=Ms;
    V20(i)=Vs;
end

for i=1:length(x21)
    Ms=Rv5*(L18+L19+L20+x21(i))-q_tot*(((L18+L19+L20+x21(i))^2)/2)-
P2*(L19+2*L20+2*x21(i))-P1*x21(i);
    Vs=Rv5-q_tot*(L18+L19+L20+x21(i))-2*P2-P1;
    M21(i)=Ms;
    V21(i)=Vs;
end

for i=1:length(x22)
    Ms=Rv5*(L18+L19+L20+L21+x22(i))-
q_tot*(((L18+L19+L20+L21+x22(i))^2)/2)-P2*(L19+2*L20+2*L21+2*x22(i))-
P1*(L21+2*x22(i));
    Vs=Rv5-q_tot*(L18+L19+L20+L21+x22(i))-2*P2-2*P1;

```

```

        M22(i)=Ms;
        V22(i)=Vs;
    end

    M_5=zeros(1, length(x));
    V_5=zeros(1, length(x));

    M_5(1,1:5431)=M18;
    M_5(1,5432:7631)=M19;
    M_5(1,7632:12231)=M20;
    M_5(1,12232:14431)=M21;
    M_5(1,14432:19861)=M22;

    V_5(1,1:5431)=V18;
    V_5(1,5432:7631)=V19;
    V_5(1,7632:12231)=V20;
    V_5(1,12232:14431)=V21;
    V_5(1,14432:19861)=V22;

    % Fall 6
    L23=L/2;
    L24=2.2;
    L25=4.6;
    L26=2.2;
    L27=L-L23-L24-L25-L26;

    Rh6=(q_tot*(L^2)*0.5+P2*L23+P2*(L23+L24)+P1*(L23+L24+L25)+P1*(L23+L24+L25+L26))/
    L;
    Rv6=q_tot*L+2*P2+2*P1-Rh6;

    x23=[0:0.001:L23];
    x24=[0.001:0.001:L24];
    x25=[0.001:0.001:L25];
    x26=[0.001:0.001:L26];
    x27=[0.001:0.001:L27];

    M23=zeros(1, length(x23));
    V23=zeros(1, length(x23));
    M24=zeros(1, length(x24));
    V24=zeros(1, length(x24));
    M25=zeros(1, length(x25));
    V25=zeros(1, length(x25));
    M26=zeros(1, length(x26));
    V26=zeros(1, length(x26));
    M27=zeros(1, length(x27));
    V27=zeros(1, length(x27));

    for i=1:length(x23)
        Ms=Rv6*x23(i)-q_tot*(x23(i)^2)/2;
        Vs=Rv6-q_tot*x23(i);
        M23(i)=Ms;
        V23(i)=Vs;
    end

```

```

for i=1:length(x24)
    Ms=Rv6*(L23+x24(i))-q_tot*(((L23+x24(i))^2)/2)-P2*x24(i);
    Vs=Rv6-q_tot*(L23+x24(i))-P2;
    M24(i)=Ms;
    V24(i)=Vs;
end

for i=1:length(x25)
    Ms=Rv6*(L23+L24+x25(i))-q_tot*(((L23+L24+x25(i))^2)/2)-
P2*(L24+2*x25(i));
    Vs=Rv6-q_tot*(L23+L24+x25(i))-2*P2;
    M25(i)=Ms;
    V25(i)=Vs;
end

for i=1:length(x26)
    Ms=Rv6*(L23+L24+L25+x26(i))-q_tot*(((L23+L24+L25+x26(i))^2)/2)-
P2*(L24+2*L25+2*x26(i))-P1*x26(i);
    Vs=Rv6-q_tot*(L23+L24+L25+x26(i))-2*P2-P1;
    M26(i)=Ms;
    V26(i)=Vs;
end

for i=1:length(x27)
    Ms=Rv6*(L23+L24+L25+L26+x27(i))-
q_tot*(((L23+L24+L25+L26+x27(i))^2)/2)-P2*(L24+2*L25+2*L26+2*x27(i))-
P1*(L26+2*x27(i));
    Vs=Rv6-q_tot*(L23+L24+L25+L26+x27(i))-2*P1-2*P2;
    M27(i)=Ms;
    V27(i)=Vs;
end

M_6=zeros(1, length(x));
V_6=zeros(1, length(x));

M_6(1,1:9931)=M23;
M_6(1,9932:12131)=M24;
M_6(1,12132:16731)=M25;
M_6(1,16732:18931)=M26;
M_6(1,18932:19861)=M27;

V_6(1,1:9931)=V23;
V_6(1,9932:12131)=V24;
V_6(1,12132:16731)=V25;
V_6(1,16732:18931)=V26;
V_6(1,18932:19861)=V27;

% Fall 7
L29=2.2;
L30=4.6;
L31=2.2;
L28=L-L29-L30-L31;

Rh7=(q_tot*(L^2)*0.5+P2*(2*L28+L29)+P1*(2*L28+2*L29+2*L30+L31))/L;

```

```

Rv7=q_tot*L+2*P2+2*P1-Rh7;

x28=[0:0.001:L28];
x29=[0.001:0.001:L29];
x30=[0.001:0.001:L30];
x31=[0.001:0.001:L31];

M28=zeros(1, length(x28));
V28=zeros(1, length(x28));
M29=zeros(1, length(x29));
V29=zeros(1, length(x29));
M30=zeros(1, length(x30));
V30=zeros(1, length(x30));
M31=zeros(1, length(x31));
V31=zeros(1, length(x31));

for i=1:length(x28)
    Ms=Rv7*x28(i)-q_tot*(x28(i)^2)*0.5;
    Vs=Rv7-q_tot*x28(i);
    M28(i)=Ms;
    V28(i)=Vs;
end

for i=1:length(x29)
    Ms=Rv7*(L28+x29(i))-q_tot*(((L28+x29(i))^2)/2)-P2*x29(i);
    Vs=Rv7-q_tot*(L28+x29(i))-P2;
    M29(i)=Ms;
    V29(i)=Vs;
end

for i=1:length(x30)
    Ms=Rv7*(L28+L29+x30(i))-q_tot*(((L28+L29+x30(i))^2)/2)-
P2*(L29+2*x30(i));
    Vs=Rv7-q_tot*(L28+L29+x30(i))-2*P2;
    M30(i)=Ms;
    V30(i)=Vs;
end

for i=1:length(x31)
    Ms=Rv7*(L28+L29+L30+x31(i))-q_tot*(((L28+L29+L30+x31(i))^2)/2)-
P2*(L29+2*L30+2*x31(i))-P1*x31(i);
    Vs=Rv7-q_tot*(L28+L29+L30+x31(i))-2*P2-P1;
    M31(i)=Ms;
    V31(i)=Vs;
end

M_7=zeros(1, length(x));
V_7=zeros(1, length(x));

M_7(1,1:10861)=M28;
M_7(1,10862:13061)=M29;
M_7(1,13062:17661)=M30;
M_7(1,17662:19861)=M31;

```

```

V_7(1,1:10861)=V28;
V_7(1,10862:13061)=V29;
V_7(1,13062:17661)=V30;
V_7(1,17662:19861)=V31;

figure(1)
plot(x,M_1)
hold on
plot(x,M_2)
hold on
plot(x,M_3)
hold on
plot(x,M_4)
hold on
plot(x,M_5)
hold on
plot(x,M_6)
hold on
plot(x,M_7)
ylabel('Momentkraft [kNm]')
xlabel('Längd [m]')
legend('Fall 1','Fall 2','Fall 3','Fall 4','Fall 5','Fall 6','Fall 7')
title('Momentkurvor')

figure(2)
plot(x,V_1)
hold on
plot(x,V_2)
hold on
plot(x,V_3)
hold on
plot(x,V_4)
hold on
plot(x,V_5)
hold on
plot(x,V_6)
hold on
plot(x,V_7)
ylabel('Tvärkraft [kN]')
xlabel('Längd [m]')
legend('Fall 1','Fall 2','Fall 3','Fall 4','Fall 5','Fall 6','Fall 7')
title('Tvärkraft')

Max_Moment=[max(M_1)
             max(M_2)
             max(M_3)
             max(M_4)
             max(M_5)
             max(M_6)
             max(M_7)]

Max_Tvarkraft=[max(abs(V_1))
               max(abs(V_2))
               max(abs(V_3))

```

```

max(abs(V_4))
max(abs(V_5))
max(abs(V_6))
max(abs(V_7))]

Max_Upplagskraft=[Rv1
                  Rh1
                  Rv2
                  Rh2
                  Rv3
                  Rh3
                  Rv4
                  Rh4
                  Rv5
                  Rh5
                  Rv6
                  Rh6
                  Rv7
                  Rh7]

figure(3)
plot(x,M_5)
hold on
plot(x,V_6)
hold on
grid on
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Momentkraft [kNm] och Tvärkraft [kN]')
legend('Moment', 'Tvärkraft')
title('Dimensionerande laster')

```

```
Max_Moment =
```

```

1.0e+03 *

4.8263
4.7315
4.7340
4.8883
4.9209
4.7847
4.7183

```

```
Max_Tvarkraft =
```

```

1.0e+03 *

0.9364
0.9822
0.9612
0.9963
0.9722
1.0068

```

0.9681

Max_Upplagskraft =

1.0e+03 *

0.9364

0.9364

0.9822

0.9822

0.9612

1.0033

0.9963

0.9376

0.9617

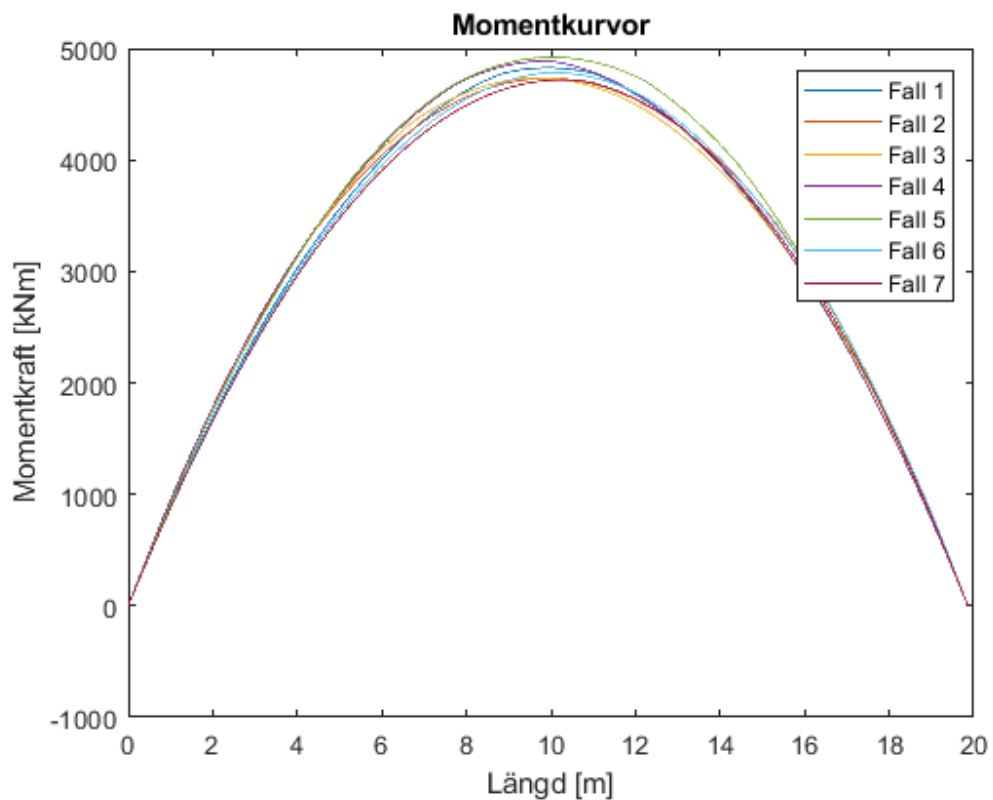
0.9722

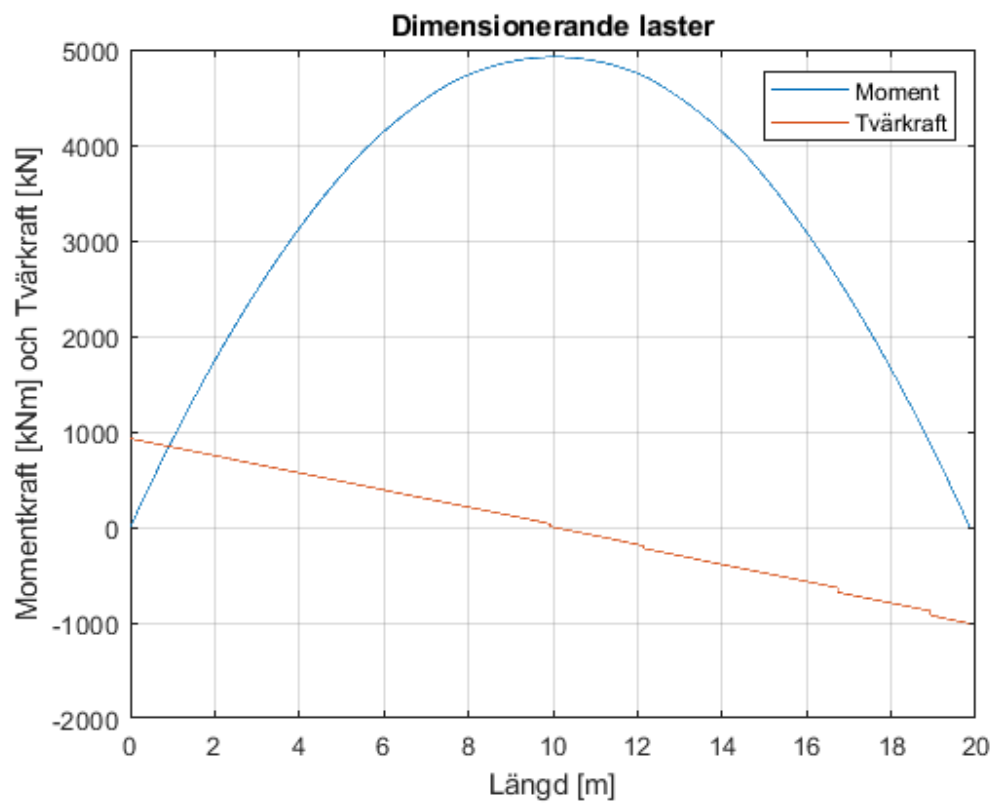
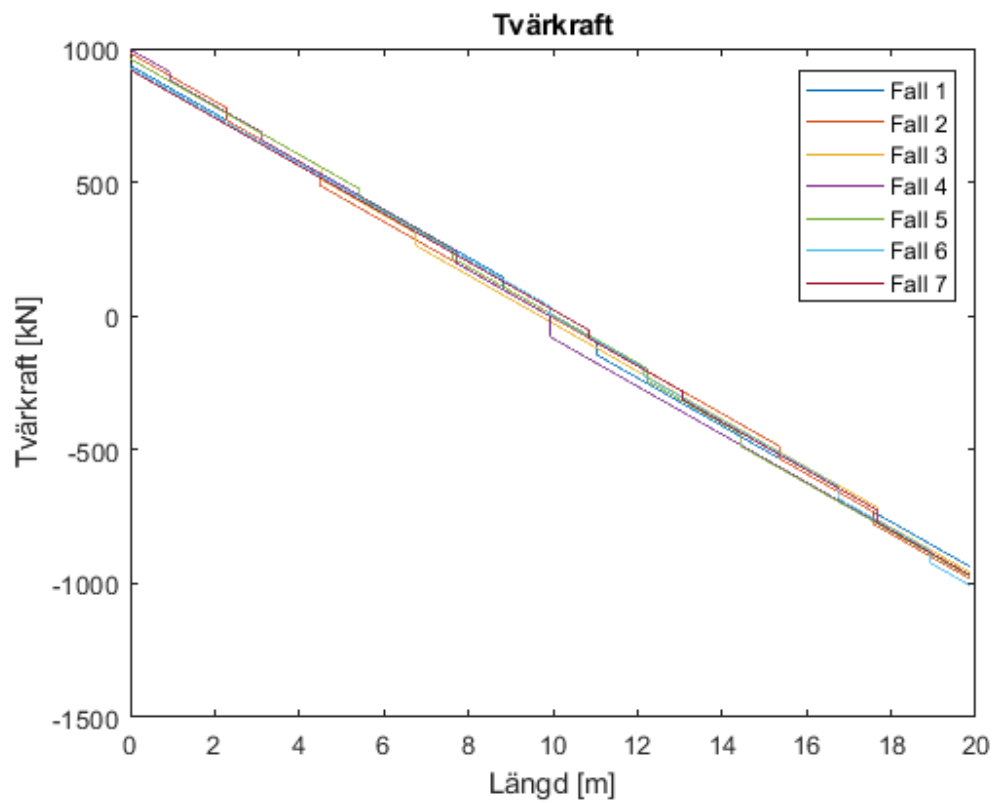
0.9271

1.0068

0.9200

1.0139





Published with MATLAB® R2018b

P Dimensionerande Krafter Balken MATLAB

```

clc
clear all

b_tot=6.2;
% balk
bw=0.6;
h=1.55;
% platta
b_platta=b_tot-2*bw;
h_platta=0.41;
% ballast
b_ballast=b_platta;
h_ballast=0.5;

P_lok=90;
P_vagn=60;
btg=25;
ballast=20;

r=0.891;
e=r/18;
A=(b_platta/2)-e;
B=b_platta-A;
C=B/A;

PermanentLast=1.35;
VariabelLast=1.5;

P1=C*(P_lok/(1+C));
P2=C*(P_vagn/(1+C));
q_btg=((btg*b_platta*h_platta)/2)+btg*bw*h;
q_ballast=((ballast*b_ballast*h_ballast)/2);
q_racke=(0.5/2);

q_tot_brott=(q_btg+q_ballast+q_racke)*PermanentLast;
q_tot_kar=q_btg+q_ballast+q_racke;
q_tot_freke=q_btg+q_ballast+q_racke;
q_tot_kvasi=q_btg+q_ballast+q_racke;

P1_brott=P1*VariabelLast*0.8;
P1_kar=P1;
P1_freke=P1*0.8;
P1_kvasi=P1*0;

P2_brott=P2*VariabelLast*0.8;
P2_kar=P2*0.8;
P2_freke=P2*0;
P2_kvasi=P2*0;

L=19.86;
x=[0:0.001:L];

```

```

% VÄRSTA FALLET MOMENT, FALL 5
L1_M=2.2;
L2_M=4.6;
L3_M=2.2;
L4_M=(L-L1_M-L2_M-L3_M)/2;
L5_M=L4_M;

RhM_brott=(q_tot_brott*(L^2)*0.5+P2_brott*(2*L4_M+L1_M)+P1_brott...
*(2*L4_M+2*L1_M+2*L2_M+L3_M))/L;
RvM_brott=q_tot_brott*L+2*P1_brott+2*P2_brott-RhM_brott;

RhM_kar=(q_tot_kar*(L^2)*0.5+P2_kar*(2*L4_M+L1_M)+P1_kar...
*(2*L4_M+2*L1_M+2*L2_M+L3_M))/L;
RvM_kar=q_tot_kar*L+2*P1_kar+2*P2_kar-RhM_kar;

RhM_frek=(q_tot_frek*(L^2)*0.5+P2_frek*(2*L4_M+L1_M)+P1_frek...
*(2*L4_M+2*L1_M+2*L2_M+L3_M))/L;
RvM_frek=q_tot_frek*L+2*P1_frek+2*P2_frek-RhM_frek;

RhM_kvasi=(q_tot_kvasi*(L^2)*0.5+P2_kvasi*(2*L4_M+L1_M)+P1_kvasi...
*(2*L4_M+2*L1_M+2*L2_M+L3_M))/L;
RvM_kvasi=q_tot_kvasi*L+2*P1_kvasi+2*P2_kvasi-RhM_kvasi;

x1_M=[0:0.001:L4_M];
x2_M=[0.001:0.001:L1_M];
x3_M=[0.001:0.001:L2_M];
x4_M=[0.001:0.001:L3_M];
x5_M=[0.001:0.001:L5_M];

M1_brott=zeros(1, length(x1_M));
M2_brott=zeros(1, length(x2_M));
M3_brott=zeros(1, length(x3_M));
M4_brott=zeros(1, length(x4_M));
M5_brott=zeros(1, length(x5_M));

M1_kar=zeros(1, length(x1_M));
M2_kar=zeros(1, length(x2_M));
M3_kar=zeros(1, length(x3_M));
M4_kar=zeros(1, length(x4_M));
M5_kar=zeros(1, length(x5_M));

M1_frek=zeros(1, length(x1_M));
M2_frek=zeros(1, length(x2_M));
M3_frek=zeros(1, length(x3_M));
M4_frek=zeros(1, length(x4_M));
M5_frek=zeros(1, length(x5_M));

M1_kvasi=zeros(1, length(x1_M));
M2_kvasi=zeros(1, length(x2_M));
M3_kvasi=zeros(1, length(x3_M));
M4_kvasi=zeros(1, length(x4_M));
M5_kvasi=zeros(1, length(x5_M));

```

```

for i=1:length(x1_M)
    MA_brott=RvM_brott*x1_M(i)-q_tot_brott*(x1_M(i)^2)/2;
    MA_kar=RvM_kar*x1_M(i)-q_tot_kar*(x1_M(i)^2)/2;
    MA_frek=RvM_frek*x1_M(i)-q_tot_frek*(x1_M(i)^2)/2;
    MA_kvasi=RvM_kvasi*x1_M(i)-q_tot_kvasi*(x1_M(i)^2)/2;

    M1_brott(i)=-MA_brott;
    M1_kar(i)=-MA_kar;
    M1_frek(i)=-MA_frek;
    M1_kvasi(i)=-MA_kvasi;
end

for i=1:length(x2_M)
    MA_brott=RvM_brott*(L4_M+x2_M(i))-q_tot_brott*(((L4_M
+x2_M(i))^2)/2)...
    -P2_brott*x2_M(i);
    MA_kar=RvM_kar*(L4_M+x2_M(i))-q_tot_kar*(((L4_M+x2_M(i))^2)/2)...
    -P2_kar*x2_M(i);
    MA_frek=RvM_frek*(L4_M+x2_M(i))-q_tot_frek*(((L4_M
+x2_M(i))^2)/2)...
    -P2_frek*x2_M(i);
    MA_kvasi=RvM_kvasi*(L4_M+x2_M(i))-q_tot_kvasi*(((L4_M
+x2_M(i))^2)/2)...
    -P2_kvasi*x2_M(i);

    M2_brott(i)=-MA_brott;
    M2_kar(i)=-MA_kar;
    M2_frek(i)=-MA_frek;
    M2_kvasi(i)=-MA_kvasi;
end

for i=1:length(x3_M)
    MA_brott=RvM_brott*(L4_M+L1_M+x3_M(i))-q_tot_brott...
    *(((L4_M+L1_M+x3_M(i))^2)/2)-P2_brott*(L1_M+2*x3_M(i));
    MA_kar=RvM_kar*(L4_M+L1_M+x3_M(i))-q_tot_kar...
    *(((L4_M+L1_M+x3_M(i))^2)/2)-P2_kar*(L1_M+2*x3_M(i));
    MA_frek=RvM_frek*(L4_M+L1_M+x3_M(i))-q_tot_frek...
    *(((L4_M+L1_M+x3_M(i))^2)/2)-P2_frek*(L1_M+2*x3_M(i));
    MA_kvasi=RvM_kvasi*(L4_M+L1_M+x3_M(i))-q_tot_kvasi...
    *(((L4_M+L1_M+x3_M(i))^2)/2)-P2_kvasi*(L1_M+2*x3_M(i));

    M3_brott(i)=-MA_brott;
    M3_kar(i)=-MA_kar;
    M3_frek(i)=-MA_frek;
    M3_kvasi(i)=-MA_kvasi;
end

for i=1:length(x4_M)
    MA_brott=RvM_brott*(L4_M+L1_M+L2_M+x4_M(i))-q_tot_brott*...
    (((L4_M+L1_M+L2_M+x4_M(i))^2)/2)-P2_brott*(L1_M+2*L2_M
+2*x4_M(i))...
    -P1_brott*x4_M(i);
    MA_kar=RvM_kar*(L4_M+L1_M+L2_M+x4_M(i))-q_tot_kar*...

```

```

        (((L4_M+L1_M+L2_M+x4_M(i))^2)/2)-P2_kar*(L1_M+2*L2_M
+2*x4_M(i))...
        -P1_kar*x4_M(i);
        MA_frek=RvM_frek*(L4_M+L1_M+L2_M+x4_M(i))-q_tot_frek*...
        (((L4_M+L1_M+L2_M+x4_M(i))^2)/2)-P2_frek*(L1_M+2*L2_M
+2*x4_M(i))...
        -P1_frek*x4_M(i);
        MA_kvasi=RvM_kvasi*(L4_M+L1_M+L2_M+x4_M(i))-q_tot_kvasi*...
        (((L4_M+L1_M+L2_M+x4_M(i))^2)/2)-P2_kvasi*(L1_M+2*L2_M
+2*x4_M(i))...
        -P1_kvasi*x4_M(i);

        M4_brott(i)=-MA_brott;
        M4_kar(i)=-MA_kar;
        M4_frek(i)=-MA_frek;
        M4_kvasi(i)=-MA_kvasi;
    end

    for i=1:length(x5_M)
        MA_brott=RvM_brott*(L4_M+L1_M+L2_M+L3_M+x5_M(i))-q_tot_brott*...
        *(((L4_M+L1_M+L2_M+L3_M+x5_M(i))^2)/2)-P2_brott*(L1_M+2*L2_M
+2*L3_M...
        +2*x5_M(i))-P1_brott*(L3_M+2*x5_M(i));
        MA_kar=RvM_kar*(L4_M+L1_M+L2_M+L3_M+x5_M(i))-q_tot_kar*...
        *(((L4_M+L1_M+L2_M+L3_M+x5_M(i))^2)/2)-P2_kar*(L1_M+2*L2_M
+2*L3_M...
        +2*x5_M(i))-P1_kar*(L3_M+2*x5_M(i));
        MA_frek=RvM_frek*(L4_M+L1_M+L2_M+L3_M+x5_M(i))-q_tot_frek*...
        *(((L4_M+L1_M+L2_M+L3_M+x5_M(i))^2)/2)-P2_frek*(L1_M+2*L2_M
+2*L3_M...
        +2*x5_M(i))-P1_frek*(L3_M+2*x5_M(i));
        MA_kvasi=RvM_kvasi*(L4_M+L1_M+L2_M+L3_M+x5_M(i))-q_tot_kvasi*...
        *(((L4_M+L1_M+L2_M+L3_M+x5_M(i))^2)/2)-P2_kvasi*(L1_M+2*L2_M
+2*L3_M...
        +2*x5_M(i))-P1_kvasi*(L3_M+2*x5_M(i));

        M5_brott(i)=-MA_brott;
        M5_kar(i)=-MA_kar;
        M5_frek(i)=-MA_frek;
        M5_kvasi(i)=-MA_kvasi;
    end

    M_brott=zeros(1, length(x));
    M_kar=zeros(1, length(x));
    M_frek=zeros(1, length(x));
    M_kvasi=zeros(1, length(x));

    M_brott(1,1:5431)=M1_brott;
    M_brott(1,5432:7631)=M2_brott;
    M_brott(1,7632:12231)=M3_brott;
    M_brott(1,12232:14431)=M4_brott;
    M_brott(1,14432:19861)=M5_brott;

```

```

M_kar(1,1:5431)=M1_kar;
M_kar(1,5432:7631)=M2_kar;
M_kar(1,7632:12231)=M3_kar;
M_kar(1,12232:14431)=M4_kar;
M_kar(1,14432:19861)=M5_kar;

M_frek(1,1:5431)=M1_frek;
M_frek(1,5432:7631)=M2_frek;
M_frek(1,7632:12231)=M3_frek;
M_frek(1,12232:14431)=M4_frek;
M_frek(1,14432:19861)=M5_frek;

M_kvasi(1,1:5431)=M1_kvasi;
M_kvasi(1,5432:7631)=M2_kvasi;
M_kvasi(1,7632:12231)=M3_kvasi;
M_kvasi(1,12232:14431)=M4_kvasi;
M_kvasi(1,14432:19861)=M5_kvasi;

% VÄRSTA FALLET TVÄRKRAFT, FALL 6
L1_V=L/2;
L2_V=2.2;
L3_V=4.6;
L4_V=2.2;
L5_V=L-L1_V-L2_V-L3_V-L4_V;

RhV_brott=(q_tot_brott*(L^2)*0.5+P2_brott*L1_V+P2_brott*(L1_V+L2_V)...
+P1_brott*(L1_V+L2_V+L3_V)+P1_brott*(L1_V+L2_V+L3_V+L4_V))/L;
RvV_brott=q_tot_brott*L+2*P2_brott+2*P1_brott-RhV_brott;

RhV_kar=(q_tot_kar*(L^2)*0.5+P2_kar*L1_V+P2_kar*(L1_V+L2_V)...
+P1_kar*(L1_V+L2_V+L3_V)+P1_kar*(L1_V+L2_V+L3_V+L4_V))/L;
RvV_kar=q_tot_kar*L+2*P2_kar+2*P1_kar-RhV_kar;

RhV_frek=(q_tot_frek*(L^2)*0.5+P2_frek*L1_V+P2_frek*(L1_V+L2_V)...
+P1_frek*(L1_V+L2_V+L3_V)+P1_frek*(L1_V+L2_V+L3_V+L4_V))/L;
RvV_frek=q_tot_frek*L+2*P2_frek+2*P1_frek-RhV_frek;

RhV_kvasi=(q_tot_kvasi*(L^2)*0.5+P2_kvasi*L1_V+P2_kvasi*(L1_V+L2_V)...
+P1_kvasi*(L1_V+L2_V+L3_V)+P1_kvasi*(L1_V+L2_V+L3_V+L4_V))/L;
RvV_kvasi=q_tot_kvasi*L+2*P2_kvasi+2*P1_kvasi-RhV_kvasi;

x1_V=[0:0.001:L1_V];
x2_V=[0.001:0.001:L2_V];
x3_V=[0.001:0.001:L3_V];
x4_V=[0.001:0.001:L4_V];
x5_V=[0.001:0.001:L5_V];

V1_brott=zeros(1,length(x1_V));
V2_brott=zeros(1,length(x2_V));
V3_brott=zeros(1,length(x3_V));
V4_brott=zeros(1,length(x4_V));
V5_brott=zeros(1,length(x5_V));

V1_kar=zeros(1,length(x1_V));

```

```

V2_kar=zeros(1, length(x2_V));
V3_kar=zeros(1, length(x3_V));
V4_kar=zeros(1, length(x4_V));
V5_kar=zeros(1, length(x5_V));

V1_frek=zeros(1, length(x1_V));
V2_frek=zeros(1, length(x2_V));
V3_frek=zeros(1, length(x3_V));
V4_frek=zeros(1, length(x4_V));
V5_frek=zeros(1, length(x5_V));

V1_kvasi=zeros(1, length(x1_V));
V2_kvasi=zeros(1, length(x2_V));
V3_kvasi=zeros(1, length(x3_V));
V4_kvasi=zeros(1, length(x4_V));
V5_kvasi=zeros(1, length(x5_V));

for i=1:length(x1_V)
    VA_brott=RvV_brott-q_tot_brott*x1_V(i);
    VA_kar=RvV_kar-q_tot_kar*x1_V(i);
    VA_frek=RvV_frek-q_tot_frek*x1_V(i);
    VA_kvasi=RvV_kvasi-q_tot_kvasi*x1_V(i);

    V1_brott(i)=VA_brott;
    V1_kar(i)=VA_kar;
    V1_frek(i)=VA_frek;
    V1_kvasi(i)=VA_kvasi;
end

for i=1:length(x2_V)
    VA_brott=RvV_brott-q_tot_brott*(L1_V+x2_V(i))-P2_brott;
    VA_kar=RvV_kar-q_tot_kar*(L1_V+x2_V(i))-P2_kar;
    VA_frek=RvV_frek-q_tot_frek*(L1_V+x2_V(i))-P2_frek;
    VA_kvasi=RvV_kvasi-q_tot_kvasi*(L1_V+x2_V(i))-P2_kvasi;

    V2_brott(i)=VA_brott;
    V2_kar(i)=VA_kar;
    V2_frek(i)=VA_frek;
    V2_kvasi(i)=VA_kvasi;
end

for i=1:length(x3_V)
    VA_brott=RvV_brott-q_tot_brott*(L1_V+L2_V+x3_V(i))-2*P2_brott;
    VA_kar=RvV_kar-q_tot_kar*(L1_V+L2_V+x3_V(i))-2*P2_kar;
    VA_frek=RvV_frek-q_tot_frek*(L1_V+L2_V+x3_V(i))-2*P2_frek;
    VA_kvasi=RvV_kvasi-q_tot_kvasi*(L1_V+L2_V+x3_V(i))-2*P2_kvasi;

    V3_brott(i)=VA_brott;
    V3_kar(i)=VA_kar;
    V3_frek(i)=VA_frek;
    V3_kvasi(i)=VA_kvasi;
end

for i=1:length(x4_V)

```

```

    VA_brott=RvV_brott-q_tot_brott*(L1_V+L2_V+L3_V
+x4_V(i))-2*P2_brott...
    -P1_brott;
    VA_kar=RvV_kar-q_tot_kar*(L1_V+L2_V+L3_V+x4_V(i))-2*P2_kar...
    -P1_kar;
    VA_frek=RvV_frek-q_tot_frek*(L1_V+L2_V+L3_V+x4_V(i))-2*P2_frek...
    -P1_frek;
    VA_kvasi=RvV_kvasi-q_tot_kvasi*(L1_V+L2_V+L3_V
+x4_V(i))-2*P2_kvasi...
    -P1_kvasi;

    V4_brott(i)=VA_brott;
    V4_kar(i)=VA_kar;
    V4_frek(i)=VA_frek;
    V4_kvasi(i)=VA_kvasi;
end

for i=1:length(x5_V)
    VA_brott=RvV_brott-q_tot_brott*(L1_V+L2_V+L3_V+L4_V+x5_V(i))...
    -2*P1_brott-2*P2_brott;
    VA_kar=RvV_kar-q_tot_kar*(L1_V+L2_V+L3_V+L4_V+x5_V(i))...
    -2*P1_kar-2*P2_kar;
    VA_frek=RvV_frek-q_tot_frek*(L1_V+L2_V+L3_V+L4_V+x5_V(i))...
    -2*P1_frek-2*P2_frek;
    VA_kvasi=RvV_kvasi-q_tot_kvasi*(L1_V+L2_V+L3_V+L4_V+x5_V(i))...
    -2*P1_kvasi-2*P2_kvasi;

    V5_brott(i)=VA_brott;
    V5_kar(i)=VA_kar;
    V5_frek(i)=VA_frek;
    V5_kvasi(i)=VA_kvasi;
end

V_brott=zeros(1,length(x));
V_kar=zeros(1,length(x));
V_frek=zeros(1,length(x));
V_kvasi=zeros(1,length(x));

V_brott(1,1:9931)=V1_brott;
V_brott(1,9932:12131)=V2_brott;
V_brott(1,12132:16731)=V3_brott;
V_brott(1,16732:18931)=V4_brott;
V_brott(1,18932:19861)=V5_brott;

V_kar(1,1:9931)=V1_kar;
V_kar(1,9932:12131)=V2_kar;
V_kar(1,12132:16731)=V3_kar;
V_kar(1,16732:18931)=V4_kar;
V_kar(1,18932:19861)=V5_kar;

V_frek(1,1:9931)=V1_frek;
V_frek(1,9932:12131)=V2_frek;
V_frek(1,12132:16731)=V3_frek;
V_frek(1,16732:18931)=V4_frek;

```

```

V_frek(1,18932:19861)=V5_frek;

V_kvasi(1,1:9931)=V1_kvasi;
V_kvasi(1,9932:12131)=V2_kvasi;
V_kvasi(1,12132:16731)=V3_kvasi;
V_kvasi(1,16732:18931)=V4_kvasi;
V_kvasi(1,18932:19861)=V5_kvasi;

figure(1)
plot(x,M_brott,'linewidth',2)
hold on
plot(x,M_kar,'linewidth',2)
hold on
plot(x,M_frek,'linewidth',2)
hold on
plot(x,M_kvasi,'linewidth',2)
hold on
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Momentkraft [kNm]')
title('Moment')
legend('Brottgräns','Karakteristiskt','Frekvent','Kvasipermanent')
set(gca,'fontsize',15)

MaxMoment=[max(abs(M_brott));
            max(abs(M_kar));
            max(abs(M_frek));
            max(abs(M_kvasi))];

figure(2)
plot(x,V_brott,'linewidth',2)
hold on
plot(x,V_kar,'linewidth',2)
hold on
plot(x,V_frek,'linewidth',2)
hold on
plot(x,V_kvasi,'linewidth',2)
hold on
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Tvärkraft [kNm]')
title('Tvärkraft')
legend('Brottgräns','Karakteristiskt','Frekvent','Kvasipermanent')
set(gca,'fontsize',15)

MaxTvarkraft=[max(abs(V_brott));
               max(abs(V_kar));
               max(abs(V_frek));
               max(abs(V_kvasi))];

% VÄRSTA FALLET UPPLAGSKRAFT, FALL 7

L1_U=2.2;
L2_U=4.6;
L3_U=2.2;
L4_U=L-L1_U-L2_U-L3_U;

```

```

Rmax_brott=(q_tot_brott*(L^2)*0.5+P2_brott*(2*L4_U+L1_U)+P1_brott...
*(2*L4_U+2*L1_U+2*L2_U+L3_U))/L;
Rmax_kar=(q_tot_kar*(L^2)*0.5+P2_kar*(2*L4_U+L1_U)+P1_kar...
*(2*L4_U+2*L1_U+2*L2_U+L3_U))/L;
Rmax_frek=(q_tot_frek*(L^2)*0.5+P2_frek*(2*L4_U+L1_U)+P1_frek...
*(2*L4_U+2*L1_U+2*L2_U+L3_U))/L;
Rmax_kvasi=(q_tot_kvasi*(L^2)*0.5+P2_kvasi*(2*L4_U+L1_U)+P1_kvasi...
*(2*L4_U+2*L1_U+2*L2_U+L3_U))/L;
MaxUpplagskraft=[Rmax_brott;
                  Rmax_kar;
                  Rmax_frek;
                  Rmax_kvasi]

```

MaxMoment =

```

1.0e+03 *

5.5337
4.1154
3.8982
3.6545

```

MaxTvarkraft =

```

1.0e+03 *

1.1333
0.8456
0.8020
0.7361

```

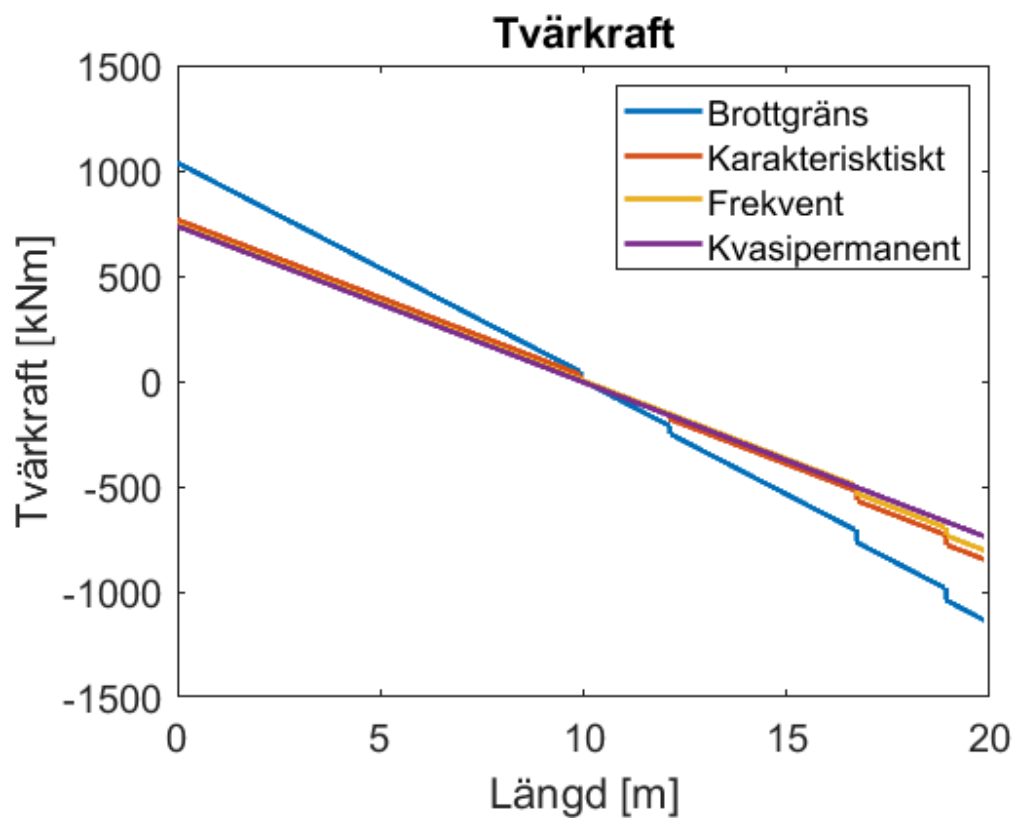
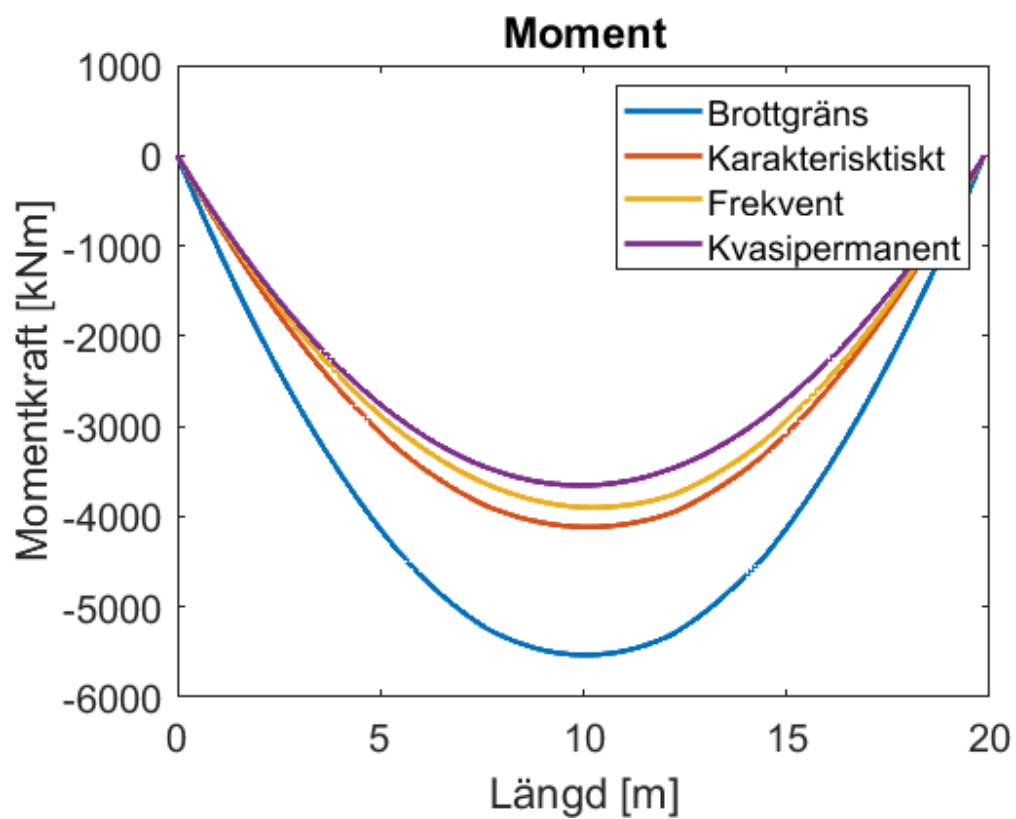
MaxUpplagskraft =

```

1.0e+03 *

1.1419
0.8522
0.8054
0.7361

```



Published with MATLAB® R2018b

Q Preliminär dimensionering Balk MATLAB

DIMENSIONERING BALK

```
clc
clear all
% INDATA
h_platta=0.41;
h=1.55;
bw=0.6;
b_tot=6.2;
b_lager=0.295;
L0=19.86;

L1=5.43;
L2=7.63;
L3=L2;
L4=L1;
Ls=b_lager;

C2_platta=125e-3;
Cnom_platta=35e-3;
fi_drag_platta=20e-3;

fi_drag=25e-3;
fi_tryck=25e-3;
fi_bygel=16e-3;
fyk=500e6; % BEROR PÅ ARMERING
Es=200e9;
alpha_byglar=90;

Ecm=37e9; % BEROR PÅ BTG
fctm=4.1e6; % BEROR PÅ BTG
fck=50e6; % BEROR PÅ BTG
fcm=58e6;

RH=0.8;

M_brott=5.53e6;
M_kar=4.12e6;
M_freke=3.9e6;
M_kvasi=3.65e6;
V_brott=1.13e6;
V_kar=0.85e6;
V_freke=0.8e6;
V_kvasi=0.74e6;

gamma_s=1.15;
gamma_c=1.5;
alpha=0.81;
alpha_cc=1;
alpha_cw=1;
beta=0.416;
betaRH=0.756;
```

```

beta_fcm=2.21; % BEROR PÅ BTG
beta_t0=0.488;

k_1=1;
k_2=5e-3;
dg=32e-3;

ecu=3.5e-3;
eca=0.1e-3; % BEROR PÅ BTG
ecdi=0.28e-3; % BEROR PÅ BTG OCH CEMENTKLASS

k1=0.8;
k2=0.5; % BEROR PÅ ARMERING
k3=3.4;
k4=0.425;
kt=0.4; %?

R_dim=1.13e6; % BEROR PÅ DIMENSION, LASTFALL 6
q_tot_brott=100e3; % BEROR PÅ DIMENSION
q_tot_kar=74.13e3;
q_tot_freke=74.13e3;
q_tot_kvasi=74.13e3;
P1_brott=55.1e3;
P1_kar=45.9e3;
P1_freke=36.7e3;
P1_kvasi=0;
P2_brott=36.7e3;
P2_kar=24.47e3;
P2_freke=0;
P2_kvasi=0;

% UPPSKATTA ARMERINGMÄNGD
fyd=fyk/gamma_s;
d=h-(Cnom_platta+fi_drag_platta+fi_drag/2);
z=0.9*d;
As_antag=M_brott/(fyd*z);
As_stang=((fi_drag^2)*pi)/4;
n_drag_antag=As_antag/As_stang;
n_drag=ceil(n_drag_antag)+19; %KAN BEHÖVA ÖKAS
As=n_drag*As_stang;
% TÄCKANDE BETONGSKIKT, AVSTÅND STÄNGER
Cmin_b=fi_drag;
Cmin_dur=25e-3;
Cmin=max(Cmin_b,Cmin_dur);
Cdev=10e-3;
Cnom_min=Cmin+Cdev;
if Cnom_min<(Cnom_platta+fi_drag_platta)
    disp('OK täckskikt')
else
    disp('Ej OK täckskikt')
end
Cnom=Cnom_platta+fi_drag_platta;
C1=Cnom+(fi_drag/2);
A=k_1*fi_drag;

```

```

B=k_2+dg;
C=[A;
  B;
  20e-3];
Cmellan=max(C);
C2=Cmellan+fi_drag;
C3=Cnom_min+fi_bygel+fi_drag/2;

% BERÄKNA EFFEKTIVBREDD
b1=b_tot*0.5-bw;
beff_1_exakt=0.2*b1+0.1*L0;
beff_1=min(b1,beff_1_exakt);
beff=beff_1+bw;

% KONTROLL ARMERINGSMÄNGD
bt=beff;
b_arm=C3+(n_drag-1)*C2;
if b_arm<beff
    disp('OK 1 lager armering')
else
    disp('Ej OK, 2 lager armering')
end
As_min=0.26*(fctm/fyk)*bt*d;
Ac=h*beff;
As_max=0.04*Ac;
if As>As_min && As<As_max
    disp('OK armeringsmängder')
else
    disp('Ej OK armeringsmängder')
end

% BERÄKNA MOMENTKAPACITET
n_tryck=2;
d_prim=C3;
As_prim=n_tryck*((fi_tryck^2)*pi/4);
fcd=alpha_cc*fck/gamma_c;
esy=fyd/Es;
x=(fyd*(As-As_prim))/(alpha*fcd*bw);
if d_prim<x && x<d
    disp('OK x')
else
    disp('Ej OK x')
end

% KONTROLL ARMERING FLYTER
es=((d-x)/x)*ecu;
es_prim=((x-d_prim)/x)*ecu;
if es>esy
    disp('Ok dragarmering flyter')
else
    disp('Ej OK, dragarmering flyter ej')
end

```

```

if es_prim>esy
    disp('Ok tryckarmering flyter')
else
    disp('Ej OK, tryckarmering flyter ej')
end

% MOMENTKAPACITET
Mrd=alpha*fcd*bw*x*(d-(beta*x))+fyd*As_prim*(d-d_prim);
if Mrd>M_brott
    disp('OK Momentkapacitet')
else
    disp('Ej OK Momentkapacitet')
end

% KONTROLL SEGGET
if x<0.35*d
    disp('OK segt brott')
else
    disp('Ej OK sprött brott')
end

% REDUCERAD TVÄRKRAFT
fywd=fyd;
alpha_strava=40; %antag
x_red=(Ls/2)+z*cotd(alpha_strava);
Ved_red=(R_dim-P1_brott-q_tot_brott*x_red)-(((2*d-
x_red)^2)*q_tot_brott)...
/(4*d);

% KROSSNING AV TRYCKSTRÄVA LIVTRYCKBROTT
v1=0.6*(1-((fck/1000000)/250));
Vrd_livtryck=alpha_cw*bw*v1*fcd*(1/
(cotd(alpha_strava)+tand(alpha_strava)));
if V_brott<Vrd_livtryck
    disp('OK Livtrycksbrott')
else
    disp('Ej OK Livtrycksbrott')
end

% DIMENSIONERING AV TVÄRARMERING SKJUVGLIDBROTT
Asw=2*(((fi_bygel^2)*pi)/4);
s_antag=(z*cotd(alpha_strava)*fywd*Asw)/Ved_red;
r=floor(s_antag/C2_platta);
s=r*C2_platta;
Vrd_s=(z*cotd(alpha_strava)*fywd*Asw)/s;
if Ved_red<Vrd_s
    disp('OK tvärkraftskapacitet')
else
    disp('Ej OK tvärkraftskapacitet')
end

% BERÄKNA MINI TVÄRKRAFTSARMERING
ra_min=0.08*(sqrt(fck/1000000)/(fyk/1000000));
s_max1=Asw/(ra_min*bw*sind(alpha_byglar));

```

```

s_max2=0.75*d*(1+cotd(alpha_byglar));
s_max_antag=min(s_max1,s_max2);
r_max=floor(s_max_antag/C2_platta);
s_max=r_max*C2_platta;
Vrd_smax=(z*cotd(alpha_strava)*fywd*Asw)/s_max;

% UTPLACERING BYGLAR
xs_antag=(Vrd_smax-R_dim+2*P1_brott)/(-q_tot_brott);
n_byglar_s=ceil((xs_antag/s)+1);
xs=C1+(n_byglar_s-1)*s;
xs_max=L0-2*xs;
n_byglar_smax=xs_max/s_max;

% LÅNGTIDSEFFEKT - KRYMPNING
u=beff+h+bw+(h-h_platta)+(beff-bw);
Ac=beff*h_platta+bw*(h-h_platta);
h0=(2*Ac)/u;
if 0.439<h0 && h0<0.441
    disp('OK kh')
else
    disp('Ej OK kh')
end
kh=0.75-(((0.75-0.7)/200)*140); %KOMMER BEHÖVA ÄNDRAS
ecd=kh*betaRH*ecdi;
ecs=ecd+eca;
Fcs=Es*ecs*As;
Fcs_prim=Es*ecs*As_prim;

% LÅNGTIDSEFFEKT - KRYPNING
kryp_RH=(1+(((1-RH)/(0.1*(h0*1000)^(1/3)))*(35/(fcm/1000000))^0.7))...
    *(35/(fcm/1000000))^0.2;
kryp=kryp_RH*beta_fcm*beta_t0;
alpha_eff=(Es/Ecm)*(1+kryp);

% TVÄRSNITTSKONSTANTER
F=bw/2;
G=(alpha_eff-1)*As_prim+alpha_eff*As;
H=((alpha_eff-1)*As_prim*d_prim+alpha_eff*As*d);
f=@(x_tp)(F*x_tp^2)+G*x_tp-H;
x_1=solve(f);
x_2=max(x_1);
x_tp=vpa(x_2,3);
if d_prim<x_tp && x_tp<(h-h_platta)
    disp('OK x_tp')
else
    disp('Ej OK x_tp')
end
A_eff=vpa((bw*x_tp+(alpha_eff-1)*As_prim+alpha_eff*As),3);
I=(bw*x_tp^3)/3;
J=(alpha_eff-1)*As_prim*(x_tp-d_prim)^2;
K=alpha_eff*As*(d-x_tp)^2;
I_eff=vpa(I+J+K,3);

% STÅL- OCH BETONGPÅKÄNNING

```

```

es1=vpa((d-x_tp),3);
es1_prim=vpa((x_tp-d_prim),3);
z_max=-x_tp;
z_tryck=-es1_prim;
z_drag=es1;
sigma_btg_max=vpa(((Fcs+Fcs_prim)/A_eff)...
+((Fcs+es1-Fcs_prim*es1_prim+M_kvasi)/I_eff)*z_max,3);
sigma_btg_tryck=vpa(((Fcs+Fcs_prim)/A_eff)...
+((Fcs+es1-Fcs_prim*es1_prim+M_kvasi)/I_eff)*z_tryck,3);
sigma_arm_tryck=vpa((-Fcs_prim/As_prim)+alpha_eff*sigma_btg_tryck,3);
sigma_btg_drag=vpa(((Fcs+Fcs_prim)/A_eff)...
+((Fcs+es1-Fcs_prim*es1_prim+M_kvasi)/I_eff)*z_drag,3);
sigma_arm_drag=vpa((-Fcs_prim/As_prim)+alpha_eff*sigma_btg_drag,3);
if sigma_btg_max<0.6*fck
    disp('OK tryckt btg')
else
    disp('Ej OK tryckt btg')
end
if sigma_arm_tryck<0.6*fyk
    disp('OK tryckt arm')
else
    disp('Ej OK tryckt arm')
end
if sigma_arm_drag<0.6*fyk
    disp('OK dragen arm')
else
    disp('Ej OK dragen arm')
end

% KONTROLL SPRICKBREDD
c=Cnom;
L=2.5*(h-d);
M=(h-x_tp)/3;
N=h/2;
O=[L;
    M;
    N];
hc_eff=vpa(min(O),3);
Ac_eff=vpa((hc_eff*beff),3);
ra_eff=vpa((As/Ac_eff),3);
Sr_max=vpa((k3*c+k1*k2*k4*(fi_drag/ra_eff)),3);
alpha_1=Es/Ecm;
P=[(sigma_arm_drag-kt*(fctm/ra_eff)*(1+alpha_1*ra_eff))/Es
    (0.6*sigma_arm_drag)/Es];
esm_ecm=vpa(max(P),3);
wk=vpa((Sr_max*esm_ecm),3);
if wk<0.0003
    disp('OK sprickbredd')
else
    disp('Ej OK sprickbredd')
end
% KONTROLL NEDBÖJNING
Ec_eff=Ecm/(1+kryp);
O=(5*q_tot_frek*L0^4)/(348*Ec_eff*I_eff);

```

```
P=((L1*(L0^2)*P2_frek)/(48*Ec_eff*I_eff))*(3-((4*L1^2)/L0^2));
Q=((L2*(L0^2)*P2_frek)/(48*Ec_eff*I_eff))*(3-((4*L2^2)/L0^2));
R=((L3*(L0^2)*P1_frek)/(48*Ec_eff*I_eff))*(3-((4*L3^2)/L0^2));
S=((L4*(L0^2)*P1_frek)/(48*Ec_eff*I_eff))*(3-((4*L4^2)/L0^2));
y_tot=vpa(0+P+Q+R+S,4);
if y_tot<(L0/400)
    disp('OK nedböjning')
else
    disp('Ej OK nedböjning')
end

OK täckskikt
OK 1 lager armering
OK armeringsmängder
OK x
OK dragarmering flyter
OK tryckarmering flyter
OK Momentkapacitet
OK segt brott
OK Livtrycksbrott
OK tvärkraftskapacitet
OK kh
OK x_tp
OK tryckt btg
OK tryckt arm
OK dragen arm
OK sprickbredd
OK nedböjning
```

Published with MATLAB® R2018b

R Verkningsätt

För att förstå kraftspelet i de olika brokonstruktionerna beskrivs de vanligaste verkningsätten som nyttjas för att konstruera ändamålsenliga broar.

Krafter som verkar vinkelrätt mot elementet upptas genom balkverkan, detta verkningsätt förhindrar stora deformationer. Elementet utsätts i varje snitt för tvärkraft och moment p.g.a. egentygnd och yttre laster. Balkens förmåga att bära i böjning avgörs av elementets material (elasticitetsmodul), form (yttröghetsmoment) och längd (Dahlblom & Olsson, 2015)

Stångverkan medför att krafter som verkar i parallell riktning mot elementet kan upptas utan att stora deformationer sker. Elementet utsätts för en tryck- eller dragkraft p.g.a. yttre last och den egentygnd som verkar längs systemlinjen. Stångens eller balkens förmåga att stå emot de parallella krafterna avgörs av elementets material (elasticitetsmodul), form (tvärsnittsarea) och längd (Dahlblom & Olsson, 2015). En variant på stångverkan är linverkan (som nyttjas i hängverkansbroar), vilken principiellt fungerar på samma sätt som stångverkan men upptar endast dragkrafter.

Vridverkan medför att rotationer runt elementets längsgående axel kan upptas utan att stora deformationer sker. Axelns förmåga att stå emot vridningar runt dess längsgående riktning avgörs av elementets material (skjuvmodul), form (vridstyvhets tvärsnittsfaktor) och längd (Dahlblom & Olsson, 2015).

Bågverkan kan utnyttjas tillsammans med stångverkan eller linverkan för att förlänga spann mellan upplag. De vertikala laster som verkar på balken förs vidare genom stångverkan eller linverkan till bågen vilken i sin tur för vidare lasterna till upplagen.

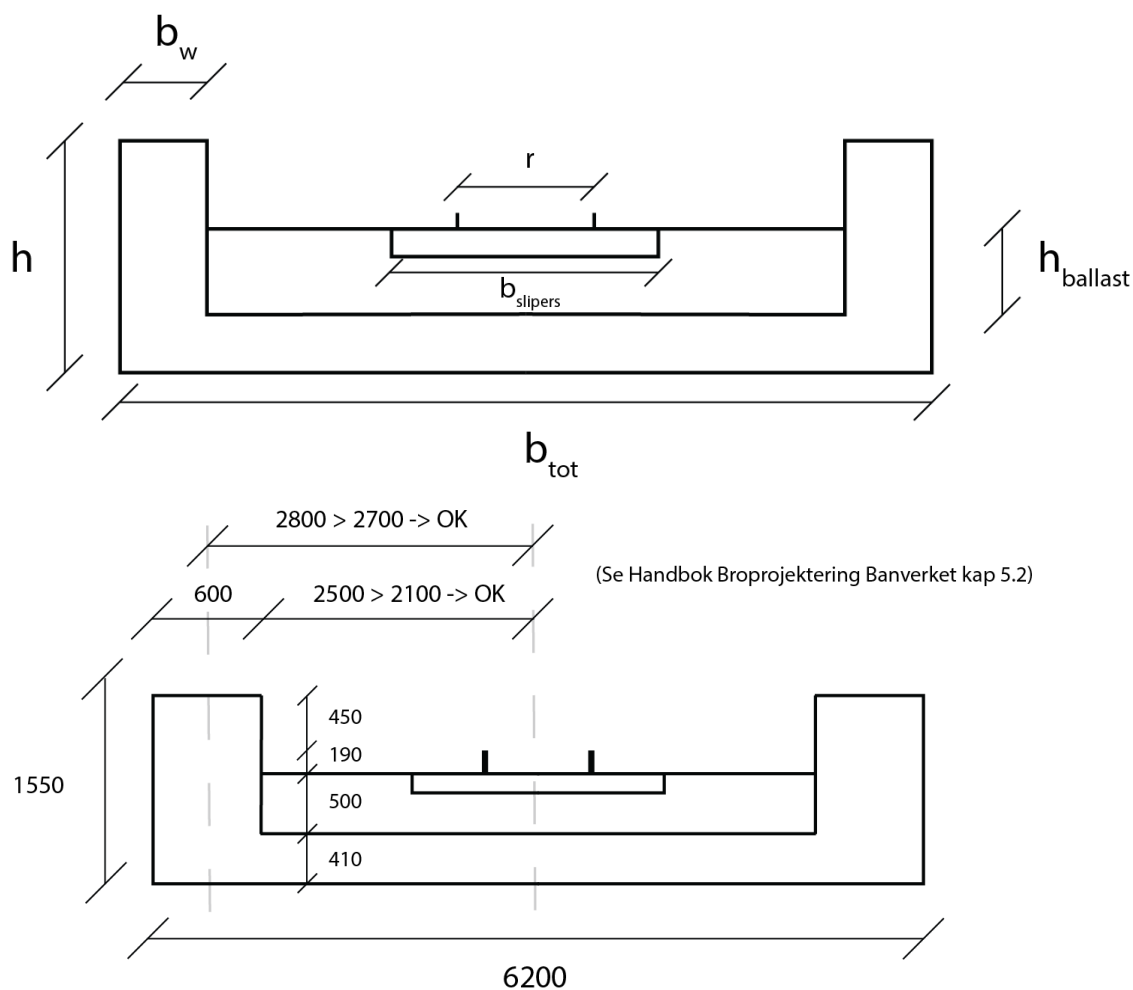
S Preliminär dimensionering Brobana

Beräkningsmodell brobana

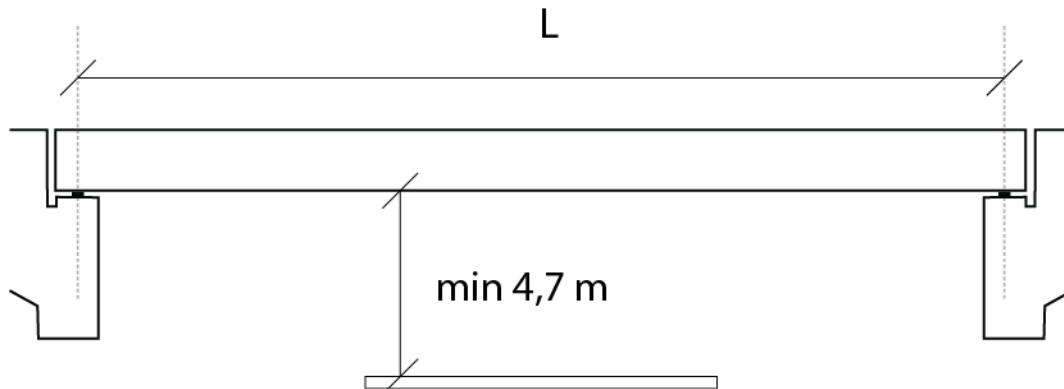
Referenser

- [1] – Bärande konstruktioner Del 1
- [2] – Bärande konstruktioner Del 2
- [3] - Trafikverket, (2018b)
- [4] – Boverket, (2011)
- [SSÄ] – Bilaga N
- [SS-EN] – Svensk Standard SS EN 1990, 2014

Tvärsnitt



Längsled

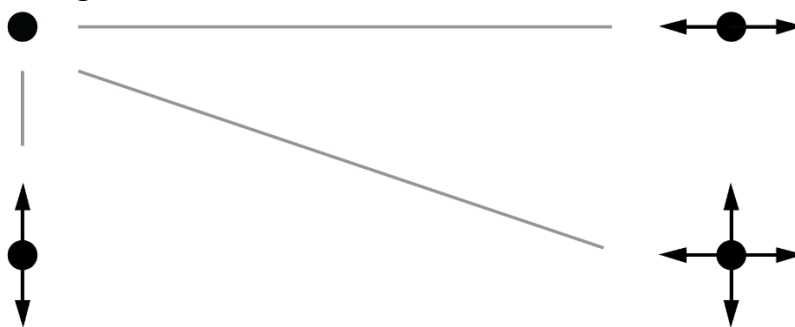


$$\begin{aligned} h &= 1550 \text{ mm} \\ b_{\text{tot}} &= 6200 \text{ mm} \\ b_w &= 900 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{platta}} &= 410 \text{ mm} \\ b_{\text{platta}} &= 5500 \text{ mm} \\ L_0 &= 19860 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{ballast}} &= 500 \text{ mm} \\ b_{\text{sliper}} &= 2100 \text{ mm} \\ r &= 891 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lagerkonfiguration



Laster

$$\rho_{\text{ballast}} = 20 \text{ kN/m}^3 \quad [\text{SSÄ}]$$

$$\rho_{\text{btg}} = 25 \text{ kN/m}^3 \quad [\text{SSÄ}]$$

$$\xi = 0,85$$

$$\gamma_G = 1,35 \quad [\text{SS-EN}] \text{ A1.2(B) s.48}$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

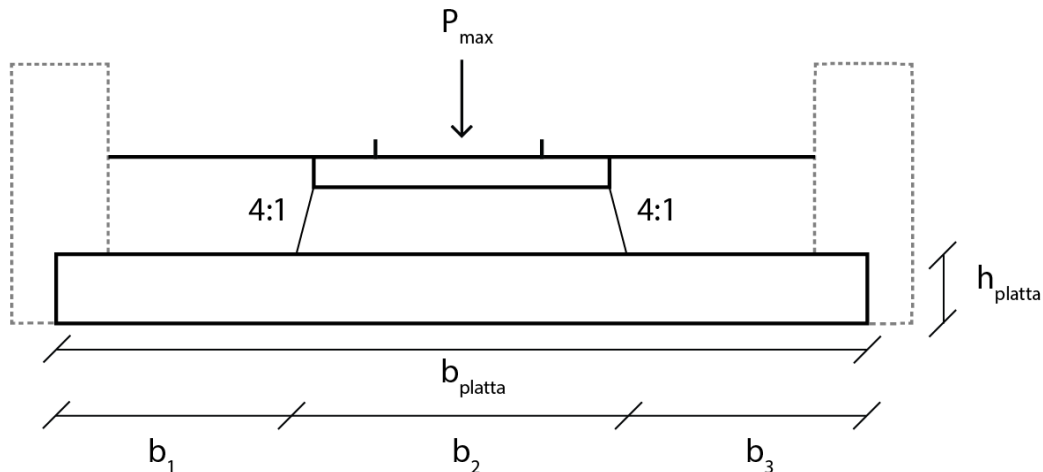
$$\psi_0 = 0,8$$

$$\psi_1 = 0,8 \quad [\text{SS-EN}] \text{ A2.3(B) s.59}$$

$$\psi_2 = 0$$

(H) – Huvudlast

Tvärled



Punktlasten ses som en jämt utbredd last verkande på plattan med en lastspredning genom slipers och ballast 4:1 [SS-EN]

TVÄRLED-PLATTA

Karakteristisk lastkombination – Värsta fallet	[SS-EN] 6.14.b
$q_G = q_{btg} + q_{ballast}$	Stadium I, Uppsprickning
$q_{tåg} = q_{tåg}$ (H)	irreversibla tillstånd
Frekvent lastkombination – Värsta fallet	[SS-EN] 6.15.b
$q_G = q_{btg} + q_{ballast}$	Stadium II, Nedböjning
$q_{tåg} = q_{tåg} \cdot \psi_1$ (H)	Reversibla tillstånd
Kvasi-permanent lastkombination – Värsta fallet	[SS-EN] 6.16.b
$q_G = q_{btg} + q_{ballast}$	Stadium III, Krypdeformationer och sprickbredd. Långtidseffekter
$q_{tåg} = q_{tåg} \cdot \psi_2$	
Brottgräns – Värsta fallet	[SS-EN] 6.10.b
$q_G = (q_{btg} + q_{ballast}) \cdot \gamma_G$	
$q_{tåg} = q_{tåg} \cdot \gamma_G$ (H)	

$$P_{max} = 90 \text{ kN} \quad [\text{SSÄ}]$$

$$q_{btg} = 10,25 \text{ kN/m}$$

$$q_{tåg} = 38,3 \text{ kN/m}$$

$$q_{ballast} = 10 \text{ kN/m}$$

		q_G [kN/m]	q_d [kN/m]
Brottgräns		23,23	57,45
Karaktäristisk		20,25	38,3
Frekvent		20,25	30,64
Kvasipermanent		20,25	0

Längsled-BALK

Karaktäristisk lastkombination – Värsta fallet	
$q_G = q_{btg} + q_{ballast} + q_{räcke}$	
$P_1 = P_{lok}$	(H)
$P_2 = P_{vagn} \cdot \psi_0$	

[SS-EN] 6.14.b
Stadium I, Uppsprickning
irreversibla tillstånd

Frekvent lastkombination – Värsta fallet	
$q_G = q_{btg} + q_{ballast} + q_{räcke}$	
$P_1 = P_{lok} \cdot \psi_1$	(H)
$P_2 = P_{vagn} \cdot \psi_2$	

[SS-EN] 6.15.b
Stadium II, Nedböjning
Reversibla tillstånd

Kvasi-permanent lastkombination – Värsta fallet	
$q_G = q_{btg} + q_{ballast} + q_{räcke}$	
$P_1 = P_{lok} \cdot \psi_2$	
$P_2 = P_{vagn} \cdot \psi_2$	

[SS-EN] 6.16.b
Stadium III, Krypdeformationer och
sprickbredd. Långtidseffekter

Brottgräns – Värsta fallet	
$q_G = (q_{btg} + q_{ballast} + q_{räcke}) \cdot \gamma_G$	
$P_1 = P_{lok} \cdot \psi_0 \cdot \gamma_G$	(H)
$P_2 = P_{vagn} \cdot \psi_0 \cdot \gamma_G$	

[SS-EN] 6.10.a
Stadium III, Bärförmåga

- Beräkningar på en balk → halva lasten från lok och vagn medräknas
- Antag spår är förskjutet r/18 mot beräknad balk

$$P_{lok,tot} = 90 \text{ kN} \rightarrow P_{lok} = 68,7 \text{ kN}$$

$$P_{vagn,tot} = 60 \text{ kN} \rightarrow P_{vagn} = 45,8 \text{ kN}$$

- Antag att balkar bär halva egentygden för plattan + egentygden för en balk + egentygden för räcket som är placerat på beräknad balk.

$$q_{btg} = 79,8 \text{ kN/m}$$

$$q_{ballast} = 31,1 \text{ kN/m}$$

$$q_{räcke} = 0,3375 \text{ kN/m}$$

	q_G [kN/m]	P_1 [kN]	P_2 [kN]
Brottgräns	100	55,1	36,7
Karaktäristisk	74,13	45,9	24,47
Frekvent	74,13	36,7	0
Kvasipermanent	74,13	0	0

Dimensionering platta

Antaganden beräkning tvärled

- Betraktar en breddmeter $b = 1 \text{ m}$
- Antag $P_{\max}$ fördelas jämnt under b_2 längs hela breddmetern
- Se plattan som fritt upplagd
- Antag fullt lager ballast och försumma egentygnd från slippers och räls
- Gör beräkning både när lasten är centrisk och när lasten är förskjuten $r/18$

Dimensionerande materialparametrar

Betong C50/60 N

$$E_{cm} = 37 \text{ GPa [1] (tabell B2.3)}$$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa [1] (tabell B2.9)}$$

$$f_{cm} = 58 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 4,9 \text{ MPa [1] (tabell B2.2)}$$

$$v_{ct} \leq 40 \%$$

Armering k500c-T

$$\emptyset_{drag} = 20 \text{ mm}$$

$$\emptyset_{tryck} = 20 \text{ mm}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa [1] (B2.26)}$$

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

Övriga indata

Exponeringsklass XD1

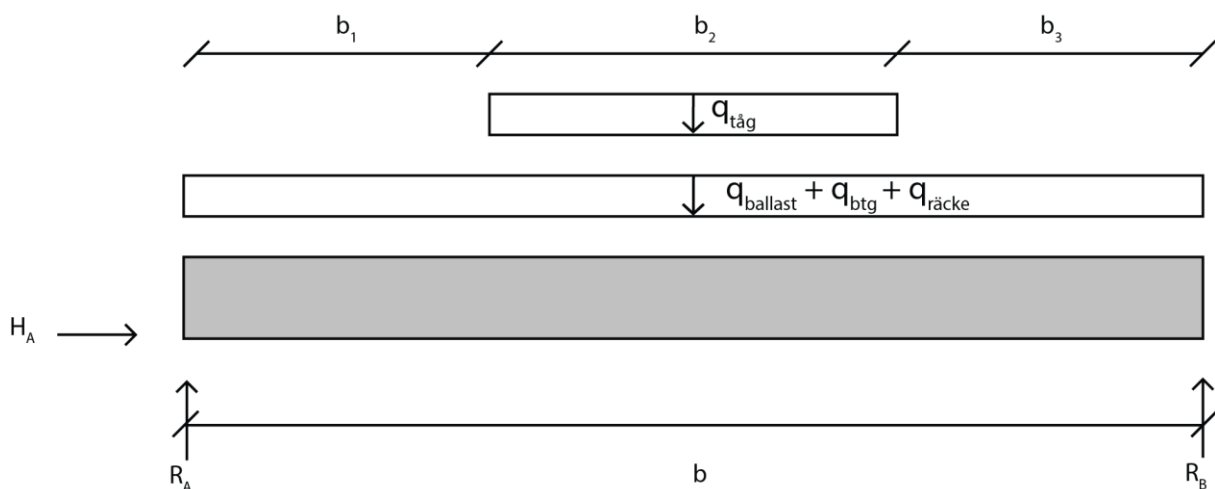
Teknisk livslängd L100 (120 år)

$$W_{k,max} = 0,3 \text{ mm}$$

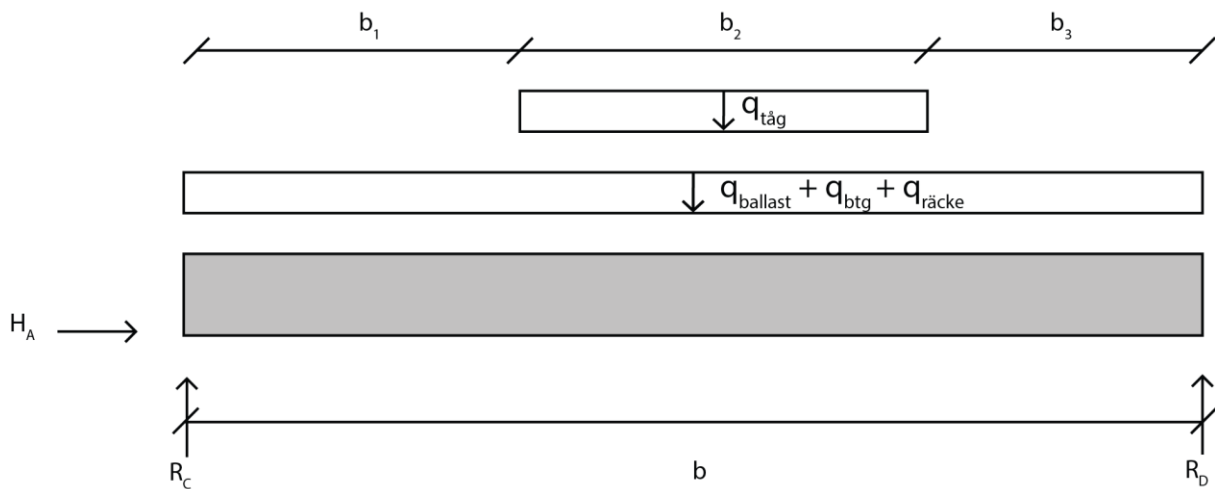
$$\delta_{max} = \frac{L}{400} = 14 \text{ mm [}$$

Lastfall TVÄRLED

CENTRISK UTAN HORIZONTELL



FÖRSKJUTEN r/18 UTAN HORISONTELL



Centrisk

$$b_2 = b_{slipers} + \frac{h_{ballast}}{4} = 2,35 \text{ m}$$

$$b_1 = \frac{b_{platta} - b_2}{2} = 1,625 \text{ m}$$

Förskjuten

$$b_2 = b_{slipers} + \frac{h_{ballast}}{4} = 2,35 \text{ m}$$

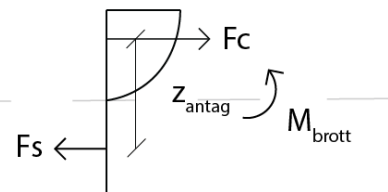
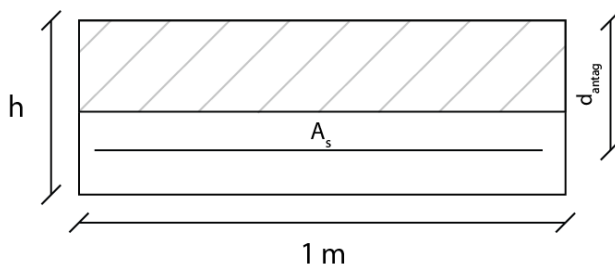
$$b_1 = \frac{b_{platta} - b_2}{2} - r/18 = 1,5755 \text{ m}$$

$$b_3 = \frac{b_{platta} - b_2}{2} + r/18 = 1,6745 \text{ m}$$

Dimensionerande tvärkrafter och moment för plattan från MATLAB-beräkning, se Bilaga M

Tvärkraft [kN]	Moment [kNm]
$V_{brott} = 133,76$	$M_{brott} = 240,4$
$V_{kar} = 133,76$	$M_{kar} = 179$
$V_{frek} = 92,7$	$M_{frek} = 159$
$V_{kvasi} = 56,7$	$M_{kvasi} = 79,4$

Uppskatta armeringsmängd



$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 435 \text{ MPa}$$

[1] B2-25 Dimensionerande flytgräns

$$\text{Antag } d \rightarrow d_{antag} = h_{platta} - 0,1 = 0,31 \text{ m}$$

$$\text{Antag stål flyter} \rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

$$z_{antag} = 0,9 \cdot d_{antag} = 0,279 \text{ m}$$

Momentjämvikt

$$F_c: M_{brott} = F_c \cdot z_{antag} = f_{yd} \cdot A_{s,antag} \cdot 0,9 \cdot d_{antag} \rightarrow A_{s,antag} = 0,002 \text{ m}^2$$

$$A_{s,stång} = \frac{\emptyset_{drag}^2 \cdot \pi}{4} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n_{drag,antag} = \frac{A_{s,antag}}{A_{s,stång}} = 7 \text{ st}$$

Behöver ökas för att kunna sammanlänka
byglar i balk och plattans armering

$$n_{drag} = 9 \text{ st}$$

Vi väljer 9 stycken dragarmering då alla kraven för plattan ska uppfyllas samt avståndet mellan dessa stänger ska sammanfalla med balkens byglars s – avstånd då dessa ska bindas ihop.

$$\rightarrow A_s = 0,0028 \text{ m}^2$$

Täckande betongskikt

$$c_{min,b} = \emptyset_{drag} = 20 \text{ mm}$$

[1] B4-25 m.h.t. armerings vidhäftning

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

[4] tabell D-1 m.h.t. beständighet
armering

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{min,dev}) = 25 \text{ mm}$$

Minimimått

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

[1] B4-26 Tolerans, tillåten
måttavvikelse

$$c_{nom} = c_{min} + c_{dev} = 35 \text{ mm}$$

[1] B4-24 Nominellt mått

$$c_1 = c_{nom} + \frac{\emptyset_{drag}}{2} = 45 \text{ mm}$$

$$d_g = 32 \text{ mm}$$

Största stenstorlek ballast

$$k_1 = 1,0$$

Rekommenderat värde

$$k_2 = 5 \text{ mm}$$

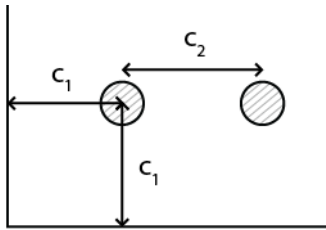
Rekommenderat värde

$$cc = \max(k_1, \emptyset_{drag}, k_2 + d_g, 20 \text{ mm}) = 37 \text{ mm} \quad [1] \text{ B4-27}$$

$$c_{2,min} = cc + \emptyset_{drag} = 57 \text{ mm}$$

$$c_2 = \frac{1000}{n_{drag} - 1} = 125 \text{ mm}$$

Ok, eftersom det endast krävs 9 st dragarmering per breddmeter. Eftersom drag- och tryckarmering är kontinuerligt bundna blir då avståndet mellan stängerna 105 mm och fria luckor för vibratorutrustning behöver ej tas hänsyn till. [1] Figur B4.35.



Kontroll armeringsmängd

Antag 1 lager armering

$$d = h_{platta} - c_1 = 0,365 \text{ m}$$

$$b_t = 1 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 7,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s \rightarrow OK \quad [1] \text{ B4-21}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,0164 \text{ m}^2 > A_s \rightarrow OK \quad [1] \text{ B4-22}$$

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \rightarrow OK \quad [1] \text{ B4-20}$$

Beräkna momentkapacitet i stadium III

Dragarmeringen är kontinuerligt bunden till tryckarmeringen

$$\rightarrow n_{tryck} = n_{drag}$$

$$A'_s = A_s$$

$$d' = c_1 = 0,045 \text{ m}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 33,3 \text{ MPa} \quad [1] \text{ B2-3 Dimensionerande tryckhållfasthet}$$

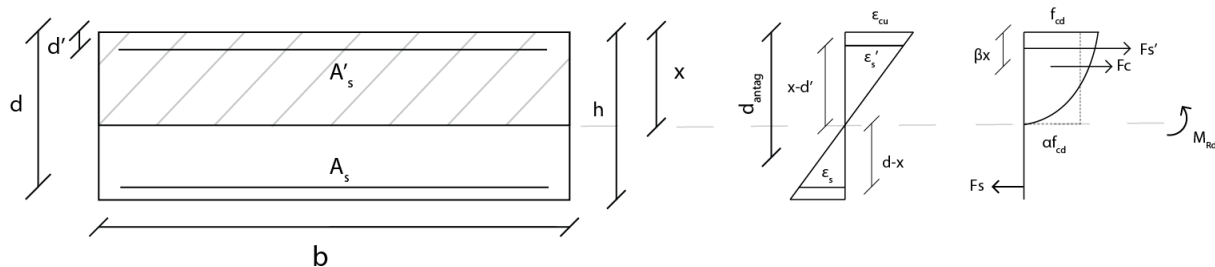
$$\epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2,175 \cdot 10^{-3} \quad [1] \text{ B2-29a Töjning då stålet flyter}$$

$$\epsilon_{cu} = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_s = f_{yd} \quad \text{Antag att dragarmeringen flyter}$$

$$\sigma'_s = E_s \cdot \frac{x-d'}{x} \cdot \epsilon_{cu} \quad \text{Antag att tryckarmeringen ej flyter}$$

$$d' < x < d \quad \text{Antag intervall för } x$$



$$\beta = 0,416$$

[1] Tabell B5.1

$$\alpha = 0,81$$

[1] Tabell B5.1

$$\rightarrow: F_s = F_c + F'_s \leftrightarrow f_{yd} \cdot A_s = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x + E_s \cdot \frac{x - d'}{x} \cdot \epsilon_{cu} \cdot A'_s$$

$$\rightarrow \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x - f_{yd} \cdot A_s + E_s \cdot \epsilon_{cu} \cdot A'_s - \frac{E_s \cdot \epsilon_{cu} \cdot A'_s \cdot d'}{x} = 0$$

$$\rightarrow \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x^2 + (-f_{yd} \cdot A_s + E_s \cdot \epsilon_{cu} \cdot A'_s) \cdot x - E_s \cdot \epsilon_{cu} \cdot A'_s \cdot d' = 0$$

$$\rightarrow x = 0,0452 \text{ m} \rightarrow OK$$

Kontroll antaganden stämmer om drag- och tryckarmering

$$\frac{\epsilon_s}{d-x} = \frac{\epsilon_{cu}}{x} \rightarrow \epsilon_s = \frac{d-x}{x} \cdot \epsilon_{cu} = 24,8 \cdot 10^{-3} > \epsilon_{sy} \rightarrow OK$$

Stål flyter

$$\frac{\epsilon'_s}{x-d'} = \frac{\epsilon_{cu}}{x} \rightarrow \epsilon'_s = \frac{x-d'}{x} \cdot \epsilon_{cu} = 0,016 \cdot 10^{-3} < \epsilon_{sy} \rightarrow OK$$

Stål flyter ej

Momentjämvikt

$$F'_s: M_{Rd} = F_s(d - d') - F_c(\beta x - d') - M_{Rd} = 0$$

$$\rightarrow M_{Rd} = f_{yd} \cdot A_s(d - d') - \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x(\beta x - d') = 425 \text{ kNm} > M_{brott} \rightarrow OK$$

Kontroll seghet

$$x < 0,35 \cdot d = 0,35 \cdot 0,365 = 0,1278 \rightarrow OK$$

Segt brott [1] B5-22

Dimensionerande tvärkraftsberäkning för att se om tvärkraftsarmering behövs

$$l_s = \frac{b_w}{2} = 300 \text{ mm}$$

$$A_{sl} = A_s = 0,0028 \text{ Fullt förankrad huvudarmeringsmängd i dragzon}$$

Dimensionerande materialparametrar

$$\alpha_{cc} = 1 \quad (\text{Nationell parameter enligt EC2})$$

$$\gamma_c = 1,5 \quad (\text{Normalfall enligt EC 2})$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (\text{B2 - 3}) [1] \quad (\text{Enligt EC 2})$$

$$f_{cd} = 1 \cdot \frac{50 \cdot 10^6}{1,5} = 33,33 \cdot 10^6 \text{ MPa}$$

Kontroll av livtryckbrott utan tvärkraftsarmering enligt EC 2

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \quad (\text{B6} - 11) \quad [1]$$

$$\text{där } v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad f_{ck} \text{ i MPa}$$

$$V_{Ed} = 133,76 \text{ kN}$$

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{50}{250} \right] = 0,48$$

$$0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 0,5 \cdot 0,48 \cdot 33,33 \cdot 10^6 \cdot 1000 \cdot 365 = 2919,7 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \quad \text{OK, ingen risk för livtryckbrott}$$

Beräkning av reducerad tvärkraft vid upplag

$$V_{Ed}(x) = R_A - G \cdot x \quad \text{Tvärkraftsekvationen för det vänstra upplaget}$$

$$R_A = V_{Ed}$$

$$q_{G,brott} = 23,23 \cdot 10^3$$

$$21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \quad [1] \text{ B6-16}$$

$$\text{Väljer } 45^\circ \quad \text{Trycksträvans lutning}$$

$$z = 0,9 \cdot d$$

$$x_{red} = \frac{l_s}{2} + z \cdot \cot \theta \quad [1] \text{ Figur B6.6}$$

$$x_{red} = \frac{300}{2} + 0,9 \cdot 365 \cdot 1 = 476 \text{ mm}$$

Tvärkraft i det reducerade snittet

$$V_{Ed}(x_{red}) = R_A - G \cdot x_{red} = 133,76 \cdot 10^3 - 23,23 \cdot 10^3 \cdot 0,476 = 122,7 \text{ kN}$$

Reducerad lasteffekt

$$V_{Ed,red} = V_{Ed}(x_{red}) - \frac{(2 \cdot d - x_{red})^2}{4 \cdot d} \cdot q_d \quad \text{där,} \quad q_d = q_{G,brott} \quad (\text{B6} - 2) \quad [1]$$

$$V_{Ed,red} = 121,68 \cdot 10^3 - \frac{(2 \cdot 0,365 - 0,476)^2}{4 \cdot 0,365} \cdot 23,23 \cdot 10^3 = 121,68 \text{ kN}$$

Tvärkraftskapacitet utan tvärkraftsarmering enligt EC 2

Betong bidragande kapacitet för tvärkraft i plattan

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d \quad (\text{B6} - 14) [1]$$

$$\text{dock minst } \geq v_{min} \cdot b \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{d}{200}} \leq 2,0 \text{ med } d \text{ i mm}$$

$$\rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{365}{200}} = 1,7402 \leq 2,0 \rightarrow \text{Välj } 1,7402$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$$\rightarrow C_{Rd,c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d}$$

$$\rightarrow \rho_l = \frac{0,028}{1 \cdot 0,365} = 0,007745 \leq 0,02 \rightarrow \text{Välj } 0,007745$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot 1,7402^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{50} = 0,568$$

$$v_{min} \cdot b \cdot d = 0,568 \cdot 1 \cdot 365 = 207,33 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,7402 \cdot (100 \cdot 0,007745 \cdot 50)^{\frac{1}{3}} \cdot 1000 \cdot 365 = 257,87 \text{ kN} \geq 207,33 \text{ kN}$$

$$\rightarrow \text{Välj } V_{Rd,c} = 257,87 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,red}$$

Ingen tvärkraftsarmering behövs då betongens kapacitet överstiger tvärkraften i det reducerade snittet.

Kontroll sprickbildning stadium I

$$k = 1,6 - \frac{h_{platta}}{1000} > 1 \quad [1] \text{ B3} - 22$$

$$k = 1,6 - \frac{410}{1000} = 1,19 > 1 \rightarrow OK$$

$$f_{ct,fl} = k \cdot f_{ct} = 4,88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c \leq f_{ct,fl}$$

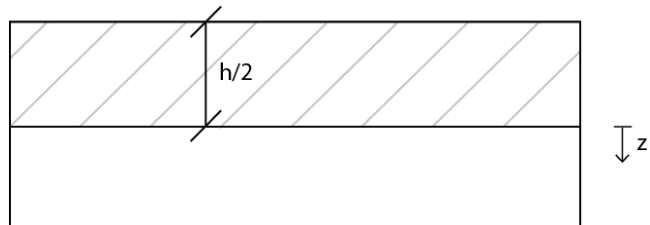
Kritisk brottsspänning i betongen beräknas enligt Naviers formel för stadium I

$$\sigma_c(z) = \frac{M}{I} \cdot z. \quad [1] \text{ B4} - 1$$

$$\rightarrow M_{cr} = \frac{I_c \cdot f_{ct,fl}}{z}$$

$$I_c = \frac{b_w \cdot h_{platta}^3}{12} = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$z = \frac{h_{platta}}{2} = 0,205 \text{ m}$$



$$M_{cr} = \frac{5,7 \cdot 10^{-3} \cdot 4,88 \cdot 10^6}{0,205} = 136,7 \text{ kNm} \rightarrow M_{cr} < M_{kar}$$

$\rightarrow$ Uppsrucket tvärsnitt, i stadium II

Långtidseffekter Stadium II

Krympning

$$\epsilon_{ca}(\infty) = 0,1 \cdot 10^{-3}$$

[1] Tabell B2.8 Autogen krympning

$$\epsilon_{cdi}(\infty) = 0,28 \cdot 10^{-3}$$

[1] Tabell B2.5 Uttorkning beroende av betongens hållfasthetsklass

$$\beta_{RH} = 0,756$$

[1] Tabell B2.6

$$u = b_w \cdot h_{platta} = 2 \text{ m}$$

Omkrets av den del av tvärsnittet som utsätts för torkning

$$A_c = b_w \cdot h_{platta} = 0,41 \text{ m}^2$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = 0,41 \text{ m}$$

[1] B2-19

$$k_h = 0,7275$$

[1] Tabell B2.7 m.h.t. snittets storlek

$$\epsilon_{cd}(\infty) = k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \epsilon_{cdi} = 0,154 \cdot 10^{-3}$$

[1] B2-18 Uttorkningskrympning

$$\epsilon_{cs}(\infty) = \epsilon_{cd}(\infty) + \epsilon_{ca}(\infty) = 0,254 \cdot 10^{-3}$$

[1] B2-17 Slutligt krympmått

Omvandla krympning till tvångskraft i stål

$$F_{cs} = E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_s = 143,6 \text{ kN}$$

$$F'_{cs} = E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A'_s = 143,6 \text{ kN}$$

Krypning

$$\beta(f_{cm}) = 2,21$$

[1] Tabell B2.9 m.h.t. betongens hållfasthetsklass

$$\beta(t_0) = 0,488$$

[1] Figur B2.20 m.h.t. betongens ålder vid pålastning (28 dygn)

$$\rho_{RH} = \left(1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7}\right) \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} = 1,0748$$

[1] B2-24 m.h.t. Relativ fuktighet (RH)

$$\rho(\infty, t_0) = \rho_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 1,1591$$

[1] B2-23 Slutgiltigt kryptal

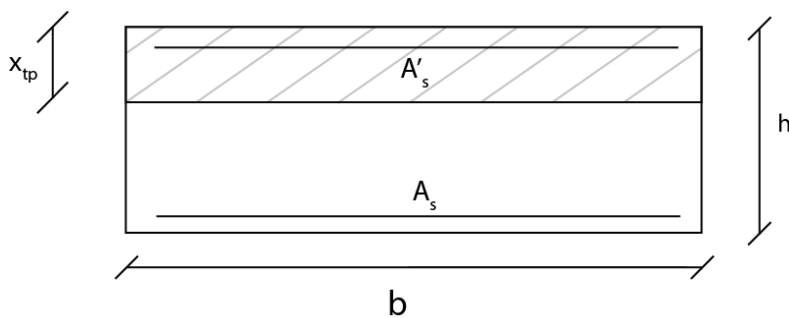
$$\alpha_{eff} = \frac{E_s}{E_{cm}} (1 + \rho(\infty, t_0)) = 11,67$$

[1] B7-67 Omvandla armering till ekvivalent betong

Tvärsnittskonstanter

Krypningens inverkan beaktas approximativt $\rightarrow x = x_{tp}$

Den övre tryckta betongen och tryckarmeringen måste balansera upp den dragarmeringen i underkant



Antag $d' \leq x \leq d$

Tyngdpunktsekvation

$$\frac{b_w \cdot x_{tp}^2}{2} + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s \cdot (x_{tp} - d') = \alpha_{eff} \cdot A_s (d - x_{tp})$$

$$\rightarrow x_{tp} = 0,113 \text{ m}$$

OK m.h.t. villkor ovan

Area för ekvivalent betongtvärsnitt

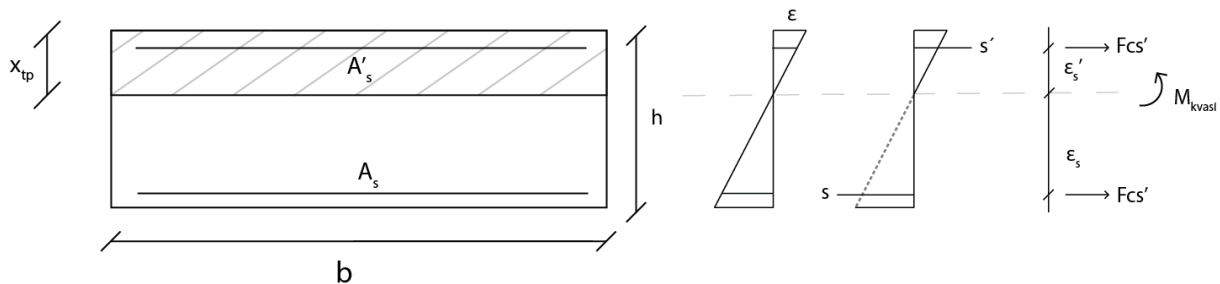
$$A_{II,eff} = b \cdot x_{tp} + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s + \alpha_{eff} \cdot A_s = 0,176 \text{ m}^2$$

Yttröghetsmoment för ekvivalent betongtvärsnitt

$$I_{II,eff} = \frac{b \cdot x_{tp}^3}{3} + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s \cdot (x_{tp} - d')^2 + \alpha_{eff} \cdot A_s \cdot (d - x_{tp})^2 \quad [2] \text{ (B7.2.3)}$$

$$\rightarrow I_{II,eff} = 2,72 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Stål- och betongpåkänning



Teckenregler

- Positivt moment – dragen underkant
- z mäts från x_{tp} positiv nedåt
- Beräknad spänning – positiv vid drag

$$e_s = d - x_{tp} = 0,252 \text{ m}$$

$$e'_s = x_{tp} - d' = 0,068 \text{ m}$$

$$\sigma_c(z) = \frac{F_{cs} + F'_{cs}}{A_{II,eff}} + \frac{F_{cs} \cdot e_s - F'_{cs} \cdot e'_s + M_{kvasi}}{I_{II,eff}} \cdot z \quad [2] \text{ B7-70a Betongspänning}$$

$$\sigma_s = -\frac{F_{cs}}{A_s} + \alpha_{eff} \cdot \sigma_c(e_s) \quad [2] \text{ B7-71 Stålsänning}$$

$$\sigma_s < 0,8 \cdot f_{yk} = 400 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c < 0,6 \cdot f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

Enligt Eurocode 2

Kontroll tryckspänning betong

Max tryck i övankant balk, $z = -x_{tp}$

$$\sigma_c(-x_{tp}) = |-7,25 \text{ MPa}| < 30 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Kontroll spänning tryckarmering, $z = -e'_s$

$$\sigma_c(-e'_s) = -3,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_s(-e'_s) = -\frac{F'_{cs}}{A'_s} + \alpha_{eff} \cdot \sigma_c(-e'_s) = |-94,1 \text{ MPa}| < 400 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Kontroll spänning dragarmering, $z = e_s$

$$\sigma_c(e_s) = 21,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s(-e_s) = -\frac{F_{cs}}{A_s} + \alpha_{eff} \cdot \sigma_c(e_s) = 200 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Kontroll sprickbredd

$$S_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{drag}}{\rho_{p,eff}} \quad [2] \text{ B9-11 Max sprickavstånd}$$

$$c = c_1 - \frac{\phi_{drag}}{2} = 59 \text{ mm} \quad \text{Täckande betongskikt}$$

$$h_{c,eff} = \min\left(2,5(h-d), \frac{h-x_{tp}}{3}, \frac{h}{2}\right) = 0,205 \text{ m} \quad [2] \text{ B9-13}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} \cdot b = 0,205 \text{ m}^2 \quad \text{Area av medverkande betong mellan sprickor}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = 0,0138$$

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,8 & \text{Kamstång} \\ k_2 &= 0,5 & \text{Ren böjning} \\ k_3 &= 3,4 & \text{Rekommenderat värde} \\ k_4 &= 0,425 & \text{Rekommenderat värde} \end{aligned}$$

$$\rightarrow S_{r,max} = 0,336 \text{ m}$$

$$k_t = 0,6 \quad \text{Korttidslast}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = 5,4$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \quad [2] \text{ B9-19 Skillnad medeltöjning}$$

stål – betong

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 3,7 \cdot 10^{-5}$$

Dock minst $0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 5,97 \cdot 10^{-4}$$

$$w_k = S_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,218 \text{ mm} < w_{k,max} \rightarrow OK \quad [2] \text{ B9-18 Sprickbredd, } < w_{k,max} \rightarrow OK$$

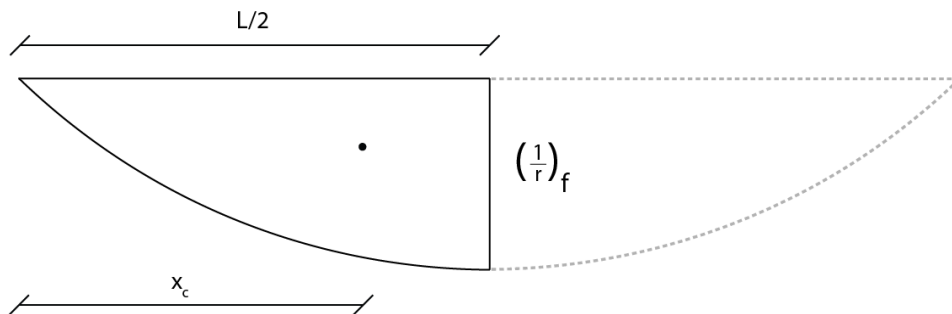
Nedböjning

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} = 17,1 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_f = \frac{M_{frek}}{E_{c,eff} \cdot I_{II,eff}} = 3,41 \cdot 10^{-3} \frac{1}{m} \quad [2] \text{ B8-5a Krökning pga. last}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_s = \frac{F_{cs} \cdot e_{s,eff}}{E_{c,eff} \cdot I_{II,eff}} = 7,78 \cdot 10^{-4} \frac{1}{m} \quad [2] \text{ B8-5b Krökning pga. krympning}$$

Deformation last

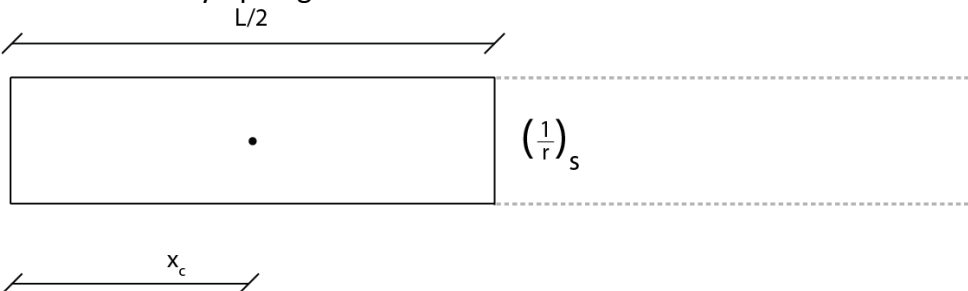


$$x_{cf} = \frac{5}{8} \cdot \frac{L}{2} = 1,75 \text{ m} \quad [2] \text{ Figur B8.15}$$

$$A_f = \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{2} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_f = 3,19 \cdot 10^{-3} \quad [2] \text{ Figur B8.15}$$

$$y_f = x_{cf} \cdot A_f = 5,58 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad [2] \text{ B8.24 Nedböjning}$$

Deformation krympning



$$x_{cs} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{2} = 1,4 \text{ m} \quad [2] \text{ Figur B8.15}$$

$$A_s = \frac{L}{2} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_s = 2,18 \cdot 10^{-3} \quad [2] \text{ Figur B8.15}$$

$$y_s = x_{cs} \cdot A_s = 3,05 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad [2] \text{ B8.24 Nedböjning}$$

$$y_{tot} = y_f + y_s = 8,63 \text{ mm} < \delta_{max} \quad \text{OK}$$

Dimensionering balk

Antaganden beräkning längsled

- Betraktar en balk
- Se balken som fritt upplagd
- Antag fullt lager ballast och försumma egentvyn från slippers och räls
- Gör beräkning när lasten är förskjuten $r/18$ mot beräknad balk
- Antag uppsprucket tvärsnitt p.g.a. ingen förspänd armering används och den långa spännvidden

Dimensionerande materialparametrar

Betong C5/60 N

$$E_{cm} = 37 \text{ GPa} [1] \text{ tabell B2.3}$$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} [1] \text{ tabell B2.9}$$

$$f_{cm} = 58 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 4,9 \text{ MPa} [1] \text{ tabell B2.2}$$

$$v_{ct} \leq 40 \%$$

Armering k500c-T

$$\emptyset_{drag} = 25 \text{ mm}$$

$$\emptyset_{tryck} = 25 \text{ mm}$$

$$\emptyset_{bygel} = 16 \text{ mm}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa} [1] \text{ B2.26}$$

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

$$\alpha_{byglar} = 90^\circ$$

Övriga indata

Exponeringsklass XD1

Livslängd 100 år (120 år)

Momentan last

Utomhusmiljö RH = 80 %

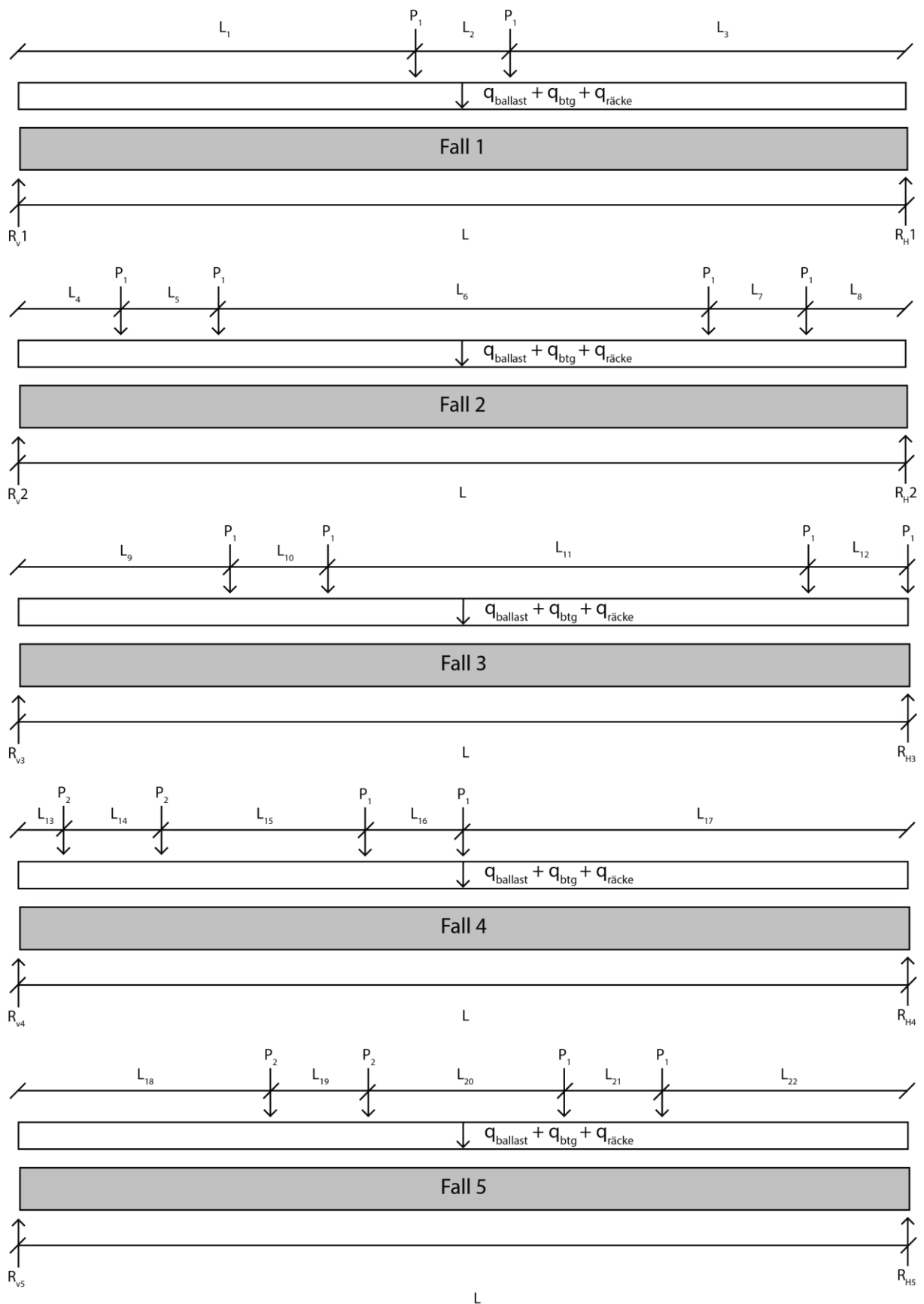
$$t_0 = 28 \text{ dygn}$$

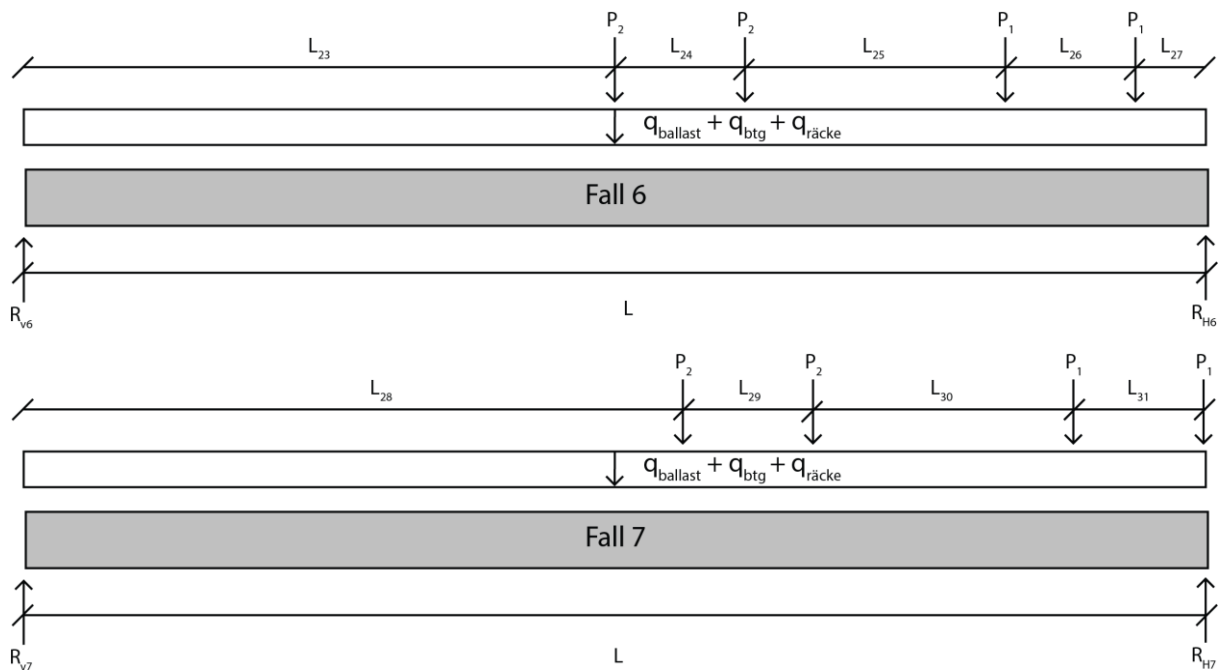
$$\emptyset_{lager} = 295 \text{ mm}$$

$$W_{k,max} = 0,3 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = \frac{L_0}{400} = 49,2 \text{ mm}$$

Lastfall LÄNGSLED





$L_1 = 8,83 \text{ m}$	$L_9 = 4,56 \text{ m}$	$L_{17} = 9,93 \text{ m}$	$L_{25} = 4,6 \text{ m}$
$L_2 = 2,2 \text{ m}$	$L_{10} = 2,2 \text{ m}$	$L_{18} = 5,43 \text{ m}$	$L_{26} = 2,2 \text{ m}$
$L_3 = 8,83 \text{ m}$	$L_{11} = 10,9 \text{ m}$	$L_{19} = 2,2 \text{ m}$	$L_{27} = 0,93 \text{ m}$
$L_4 = 2,28 \text{ m}$	$L_{12} = 2,2 \text{ m}$	$L_{20} = 4,6 \text{ m}$	$L_{28} = 10,86 \text{ m}$
$L_5 = 2,2 \text{ m}$	$L_{13} = 0,93 \text{ m}$	$L_{21} = 2,2 \text{ m}$	$L_{29} = 2,2 \text{ m}$
$L_6 = 10,9 \text{ m}$	$L_{14} = 2,2 \text{ m}$	$L_{22} = 5,43 \text{ m}$	$L_{30} = 4,6 \text{ m}$
$L_7 = 2,2 \text{ m}$	$L_{15} = 4,6 \text{ m}$	$L_{23} = 9,93 \text{ m}$	$L_{31} = 2,2 \text{ m}$
$L_8 = 2,28 \text{ m}$	$L_{16} = 2,2 \text{ m}$	$L_{24} = 2,2 \text{ m}$	$L = 19,86 \text{ m}$

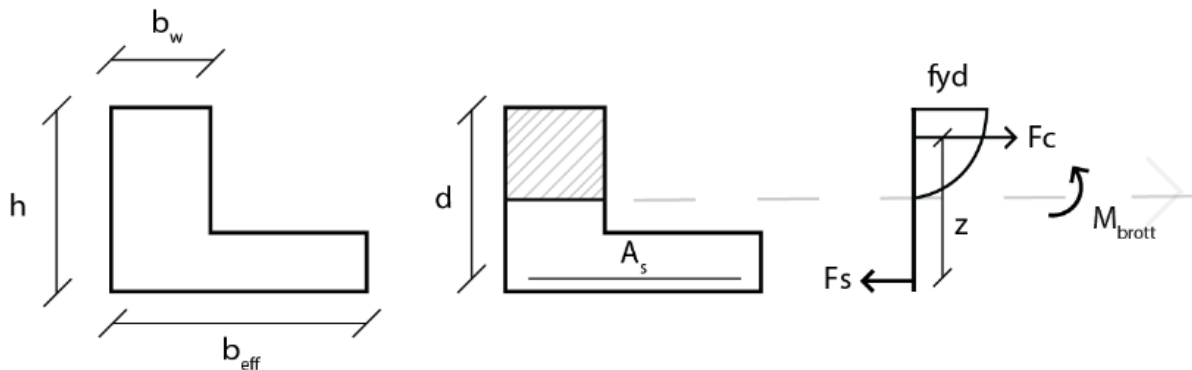
Dimensionerande tvärkrafter och moment för balken från MATLAB-beräkning, se Bilaga P

Tvärkraft [MN] (LASTFALL 6)	Moment [MNm] (LASTFALL 5)
$V_{brott} = 1,13$	$M_{brott} = 5,53$
$V_{kar} = 0,85$	$M_{kar} = 4,12$
$V_{frek} = 0,8$	$M_{frek} = 3,9$
$V_{kvasi} = 0,74$	$M_{kvasi} = 3,65$

Uppskatta armeringsmängd

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 435 \text{ MPa}$$

[1] B2-25



Dragarmeringen i balken ligger ovanpå dragarmeringen i plattan. Vi antar att det endast krävs 1 lager dragarmering.

$$\rightarrow d = h - \left(c_{nom,platta} + \phi_{drag,platta} + \frac{\phi_{drag}}{2} \right) = 1,4825 \text{ m}$$

Antag stål flyter $\rightarrow \sigma_s = f_{yd}$

$$z = 0,9 \cdot d = 1,3342 \text{ m}$$

Momentjämvikt

$$F_c: M_{brott} = F_c \cdot z = f_{yd} \cdot A_{s,antag} \cdot z \rightarrow A_{s,antag} = 0,0095 \text{ m}^2$$

$$A_{s,stång} = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n_{drag,antag} = \frac{A_{s,antag}}{A_{s,stång}} = 19,9 \text{ st}$$

Behöver ökas för att klara alla krav

$$n_{drag} = 39 \text{ st}$$

$$\rightarrow A_s = 0,0191 \text{ m}^2$$

Täckande betongskikt

$$c_{min,b} = \phi_{drag} = 25 \text{ mm}$$

[1] B4-25 m.h.t. armerings vidhäftning

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

[4] tabell D-1 m.h.t. beständighet armering

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{min,dev}) = 25 \text{ mm}$$

Minimimått

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

[1] B4-26 Tolerans, tillåten måttavvikelse

$$c_{nom,min} = c_{min} + c_{dev} = 35 \text{ mm}$$

[1] B4-24 Nominellt mått

$$c_{nom,min} < c_{nom,platta} + \phi_{drag,platta} \rightarrow OK$$

Minsta tillåtna täckande betongskikt

$$c_{nom} = c_{nom,platta} + \phi_{drag,platta} = 55 \text{ mm}$$

Täckande betongskikt nederkant

$$c_1 = c_{nom} + \frac{\phi_{drag}}{2} = 63,5 \text{ mm}$$

$$d_g = 32 \text{ mm}$$

Största stenstorlek ballast

$$k_1 = 1,0$$

Rekommenderat värde

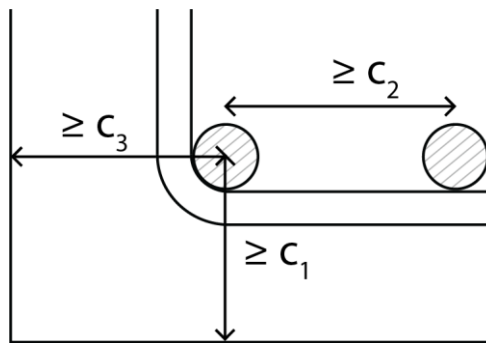
$$k_2 = 5 \text{ mm}$$

Rekommenderat värde

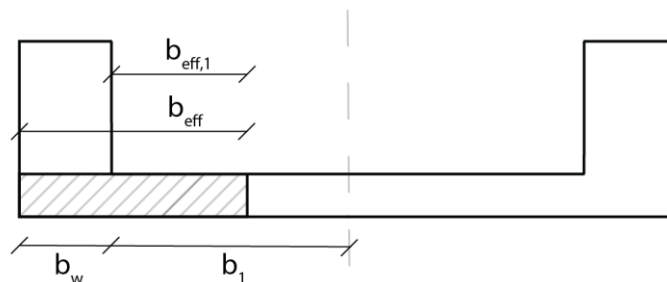
$$c_{mellan} = \max(k_1, \phi_{drag}, k_2 + d_g, 20 \text{ mm}) = 37 \text{ mm} \quad [1] \text{ B4-27}$$

$$c_2 = c_{mellan} + \phi_{drag} = 62 \text{ mm}$$

$$c_3 = c_{nom,min} + \phi_{bygel} + \frac{\phi_{drag}}{2} = 63,5 \text{ mm}$$



Beräkna effektiv bredd



$$b_1 = \frac{b_{tot}}{2} - b_w = 2,5 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot L_0 = 2,486 < b_1 \rightarrow OK$$

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_w = 3,086 \text{ m} < b_{tot} \rightarrow OK \quad [1] \text{ B1-5}$$

Kontroll armeringsmängd

$$b_{arm} = c_3 + (n_{drag} + 1) \cdot c_2 = 2,4195 \text{ m} < b_{eff} \rightarrow OK, 1 \text{ lager dragarmering}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,0098 \text{ m}^2 < A_s \rightarrow OK \quad [1] \text{ B4-21}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,1913 \text{ m}^2 > A_s \rightarrow OK \quad [1] \text{ B4-22}$$

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \rightarrow OK \quad [1] \text{ B4-20}$$

Beräkna momentkapacitet i stadium III

Minimiarmering är $5.6 \text{ cm}^2/\text{m}$ enligt Trafikverket [3], vilket medför att vi endast behöver 1 styck tryckarmering då vår balkbredd är 0.6 m. Vi väljer att lägga in 2 stycken tryckarmering för att fästa byglarna i.

$2\emptyset_{tryck}$ – för förankring byglar

$$A'_s = 9,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d' = c_3$$

$$h_w = h - h_{platta} = 1,14 \text{ m}$$

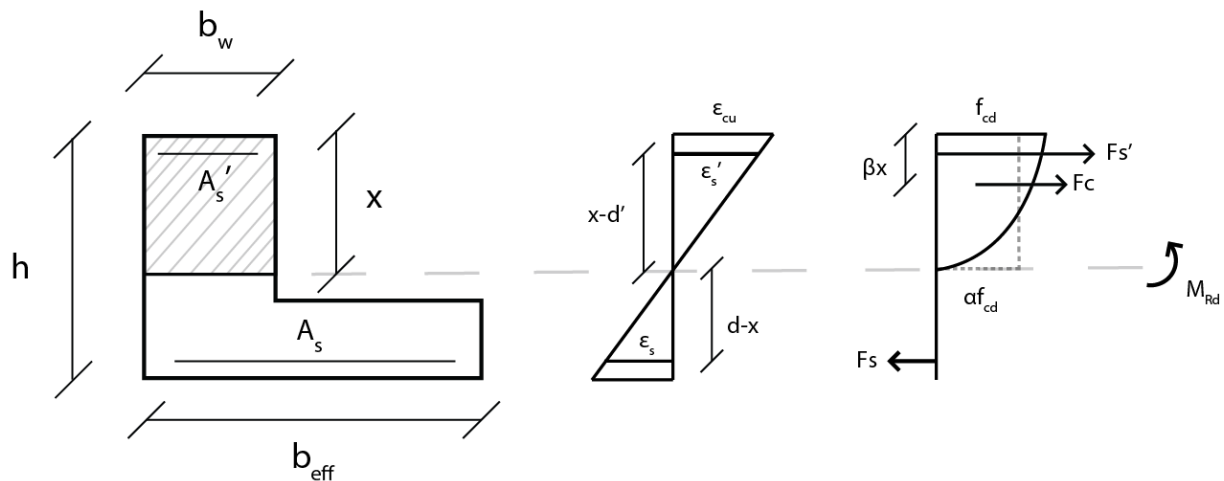
$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 33,3 \text{ MPa} \quad [1] \text{ B2-3 Dimensionerande tryckhållfasthet}$$

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2,175 \cdot 10^{-3} \quad [1] \text{ B2-29a Töjning då stålet flyter}$$

$$\epsilon_{cu} = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_s = f_{yd} \quad \text{Antag att stål flyter}$$

$$c_1 < x < h_w \quad \text{Antag intervall för } x$$



$$\beta = 0,416$$

[1] Tabell B5.1

$$\alpha = 0,81$$

[1] Tabell B5.1

$$\rightarrow: F_c + F'_s = F_s \leftrightarrow \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x + f_{yd} \cdot A'_s = f_{yd} \cdot A_s$$

$$\rightarrow x = \frac{f_{yd} \cdot (A_s - A'_s)}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w} = 0,4874 \text{ m} \rightarrow OK$$

Kontroll stål flyter

$$\frac{\epsilon_s}{d-x} = \frac{\epsilon_{cu}}{x} \rightarrow \epsilon_s = \frac{d-x}{x} \cdot \epsilon_{cu} = 7,1 \cdot 10^{-3} > \epsilon_{sy} \rightarrow OK$$

Stål flyter

$$\frac{\epsilon'_s}{x-d'} = \frac{\epsilon_{cu}}{x} \rightarrow \epsilon'_s = \frac{x-d'}{x} \cdot \epsilon_{cu} = 3,0 \cdot 10^{-3} > \epsilon_{sy} \rightarrow OK$$

Stål flyter

Momentjämvikt

$$F_s : M_{Rd} = F_c (d - \beta x) + F'_s (d - d') = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x (d - \beta x) + f_{yd} \cdot A'_s (d - d') = 10,7 \text{ MNm} > M_{brott} \rightarrow OK$$

Beräkna reducerad tryckkraft

$$21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$$

[1] B6-16

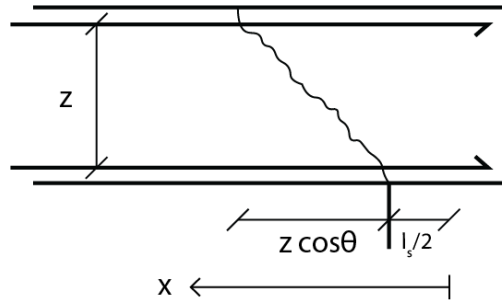
Väljer 40°

Trycksträvans lutning

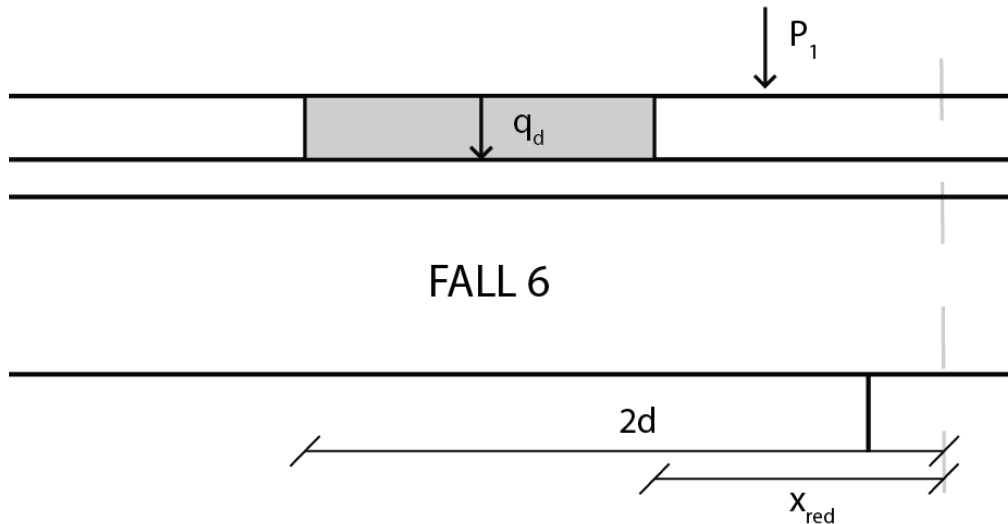
$$l_s = \phi_{lager} = 0,295 \text{ m}$$

Max tvärkraft i lastfall 6

Se bilaga O



$$x_{red} = \frac{l_s}{2} + z \cdot \cot \theta = 1,742 \text{ m}$$



$$V_{Ed,red}(x_{red}) = V_{Ed}(x_{red}) - \frac{(2d-x_{red})^2}{4d} \cdot q_d$$

[1] B6-2 Ingen punktlast mellan 2d och x_{red}

$$V_{Ed}(x) = R_{dim} - P_{1,brott} - q_{d,tot,brott} \cdot x$$

$$V_{Ed,red}(x_{red}) = 0,875 \text{ MN}$$

Krossning av sned trycksträva - Livtrycksbrott

Enligt krav så måste balken innehålla tvärkraftsarmering

$$V_{Rd,livtryck} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\cot \theta \cdot \tan \theta} = 4,73 \text{ MN} > V_{brott} \rightarrow OK \quad [1] \text{ B6-19}$$

Dimensionering av tvärarmering – Skjuvglidbrott

$$V_{Rd,s} = \frac{z \cdot \cot \theta}{s} \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw}$$

[1] B6-21 Tvärkraftkapacitet vid skjuvglidbrott

$$A_{sw} = 2 \cdot \frac{\sigma_{bygel}^2 \cdot \pi}{4} = 0,0004 \text{ m}^2$$

Ty bygel skär spricka två gånger

$$\rightarrow s_{antag} = \frac{z \cdot \cot \theta}{V_{Ed,red}} \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw} = 0,3175 \text{ m}$$

[1] (Avstånd mellan byglar)

$$r = \frac{s_{\text{antag}}}{c_{2,\text{platta}}} = 2,5 \rightarrow \text{placeras på varannan dragarmering i plattan}$$

Den kontinuerligt hopbundna drag och tryckarmeringen i plattan ska bindas ihop med balkens byglar vilket gör att s-avståndet för byglarna måste anpassas så att det sammanfaller med dragarmeringen centrumavstånd (c_2).

$$s = 2 * c_{2,\text{platta}} = 0,25 \text{ m}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{z * \cot \theta}{s} * f_{ywd} * A_{sw} = 1,1 \text{ MN} > V_{Ed,red}(x_{red}) \rightarrow \text{OK}$$

Dimensionera minsta tvärarmering

$$s_{1,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha_{byglar})) = 1,11 \text{ m} \quad [1] \text{ B6-26, Krav enligt Eurocode 2}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0011 \quad [1] \text{ B6-24 Minsta armeringsinnehåll enligt Eurocode 2}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha_{byglar})} \quad [1] \text{ B6-25}$$

$$\rightarrow s_{2,max} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha_{byglar})} = 0,593 \text{ m}$$

$$s_{\text{max,antag}} = \min(s_{1,max}, s_{2,max}) = 0,59 \text{ m}$$

$$r_{\text{max}} = \frac{s_{\text{max,antag}}}{c_{2,\text{platta}}} = 4,7 \rightarrow \text{placeras på var fjärde dragarmering i plattan}$$

$$s_{\text{max}} = 4 \cdot c_{2,\text{platta}} = 0,5 \text{ m}$$

$$V_{Rd,s,max} = \frac{z \cdot \cot(\theta)}{s_{\text{max}}} \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw} = 0,556 \text{ MN} \quad \text{Tvärkraftskapacitet vid } s_{\text{max}}$$

$$V_{Rd,max} = R_{dim} - q_{d,tot,brott} \cdot x_s - 2P_1 \quad \text{Var } s \text{ övergår till } s_{\text{max}}$$

$$\rightarrow x_{s,\text{antag}} = 4,65 \text{ m}$$

$$n_{byglar,s} = \frac{x_{s,\text{antag}}}{s} + 1 = 20 \text{ st}$$

$$x_s = c_1 + (n_{byglar,s} - 1) * s = 4,8175 \text{ m}$$

$$x_{s,max} = L_0 - 2x_s = 10,225 \text{ m}$$

$$n_{bygglar,s,max} = \frac{x_{s,max}}{s_{max}} = 21 \text{ st}$$

Långtidseffekter stadium II

Krympning

$$\epsilon_{ca}(\infty) = 0.1 \cdot 10^{-3}$$

[1] Tabell B2.8 Autogen krympning

$$\epsilon_{cdi}(\infty) = 0.28 \cdot 10^{-3}$$

[1] Tabell B2.5 Uttorkning beroende av betongens hållfasthetsklass

$$\beta_{RH} = 0.756$$

[1] Tabell B2.6

$$u = b_{eff} + h + b_w + (h - h_{platta}) \\ + (b_{eff} - b_w) = 8,86 \text{ m}$$

Omkrets av den del av tvärsnittet som utsätts för torkning

$$A_c = b_{eff} \cdot h_{platta} + b_w \cdot (h - h_{platta}) = 1,95 \text{ m}^2$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = 0,44 \text{ m}$$

[1] B2-19

$$k_h = 0,715$$

[1] Tabell B2.7 m.h.t. snittets storlek

$$\epsilon_{cd}(\infty) = k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \epsilon_{cdi} = 0.151 \cdot 10^{-3}$$

[1] B2-18 Uttorkningskrympning

$$\epsilon_{cs}(\infty) = \epsilon_{cd}(\infty) + \epsilon_{ca}(\infty) = 0,251 \cdot 10^{-3}$$

[1] B2-17 Slutligt krympmått

Omvandla krympning till tvångskraft i stål

$$F_{cs} = E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_s = 0,96 \text{ MN}$$

$$F'_{cs} = E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A'_s = 0,049 \text{ MN}$$

Krypning

$$\beta(f_{cm}) = 2,21$$

[1] Tabell B2.9 m.h.t. betongens hållfasthetsklass

$$\beta(t_0) = 0,488$$

[1] Figur B2.20 m.h.t. betongens ålder vid pålastning (28 dygn)

$$\rho_{RH} = \left(1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,7} \right) \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,2} = 1,071$$

[1] B2-24 m.h.t. Relativ fuktighet (RH)

$$\rho(\infty, t_0) = \rho_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 1,155$$

[1] B2-23 Slutgiltigt kryptal

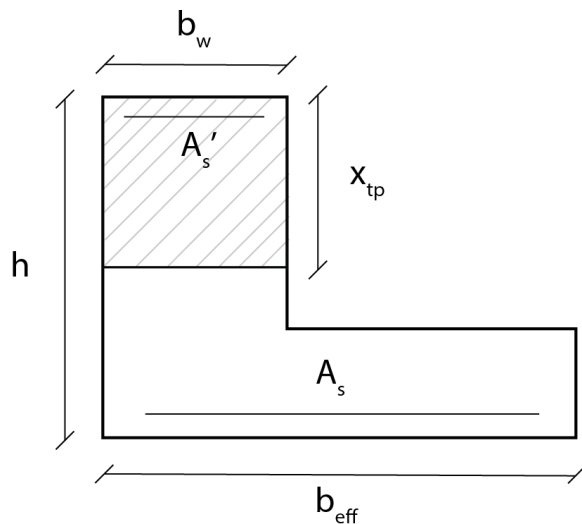
$$\alpha_{eff} = \frac{E_s}{E_{cm}} (1 + \rho(\infty, t_0)) = 11,65$$

[1] B7-67 Omvandla armering till ekvivalent betong

Tvärsnittskonstanter

Krypningens inverkan beaktas approximativt $\rightarrow x = x_{tp}$

Den övre tryckta betongen och tryckarmeringen måste balansera upp den dragarmeringen i underkant



Antag: $d' < x_{tp} < h_w$

Tyngdpunktsekvationen

$$\frac{b_w \cdot x_{tp}^2}{2} + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s \cdot (x_{tp} - d') = \alpha_{eff} \cdot A_s (d - x_{tp})$$

$$\rightarrow x_{tp} = 0,731 \text{ m}$$

OK m.h.t. villkor ovan

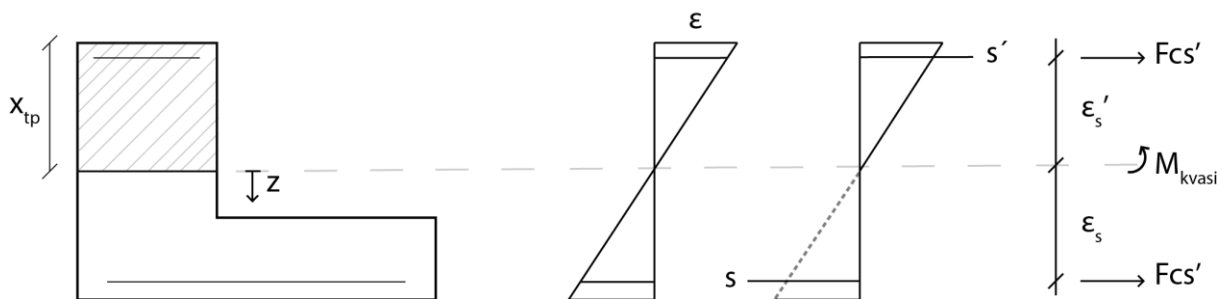
Area för ekvivalent betongtvärsnitt

$$A_{II,eff} = b_w \cdot x_{tp} + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s + \alpha_{eff} \cdot A_s = 0,672 \text{ m}^2$$

Yttröghetsmoment för ekvivalent betongtvärsnitt

$$I_{II,eff} = \frac{b_w \cdot x_{tp}^3}{3} + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A'_s \cdot (x_{tp} - d')^2 + \alpha_{eff} \cdot A_s \cdot (d - x_{tp})^2 = 0,209 \text{ m}^4$$

Stål och betongpåkänning



Teckenregler

- Positivt moment – dragen underkant
- z mäts från x_{tp} positiv nedåt
- Beräknad spänning – positiv vid drag

$$e_s = d - x_{tp} = 0,751 \text{ m}$$

$$e'_s = x_{tp} - d' = 0,668 \text{ m}$$

$$\sigma_c(z) = \frac{F_{cs} + F'_{cs}}{A_{II,eff}} + \frac{F_{cs} \cdot e_s - F'_{cs} \cdot e'_s + M_{kvasi}}{I_{II,eff}} \cdot z \quad [2] \text{ B7-70a Betongspänning}$$

$$\sigma_s = -\frac{F_{cs}}{A_s} + \alpha_{eff} \cdot \sigma_c(e_s) \quad [2] \text{ B7-71 Stålspänning}$$

$$\sigma_s < 0,8 \cdot f_{yk} = 400 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c < 0,6 \cdot f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

Enligt Eurocode 2

Kontroll tryckspänning betong

Max tryck i övankant balk, $z = -x_{tp}$

$$\sigma_c(-x_{tp}) = |-14,5 \text{ MPa}| < 30 \text{ MPa}$$

OK

Kontroll spänning tryckarmering, $z = -e'_s$

$$\sigma_c(-e'_s) = -13,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_s(-e'_s) = -\frac{F'_{cs}}{A'_s} + \alpha_{eff} \cdot \sigma_c(-e'_s) = |-203 \text{ MPa}| < 400 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Kontroll spänning dragarmering, $z = e_s$

$$\sigma_c(e_s) = 18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s(-e_s) = -\frac{F_{cs}}{A_s} + \alpha_{eff} \cdot \sigma_c(e_s) = 159 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Kontroll sprickbredd

$$S_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{drag}}{\rho_{p,eff}} \quad [2] \text{ B9-11 Max sprickavstånd}$$

$$c = c_1 - \frac{\phi_{drag}}{2} = 55 \text{ mm} \quad \text{Täckande betongskikt dragarmering}$$

$$h_{c,eff} = \min\left(2,5(h-d), \frac{h-x_{tp}}{3}, \frac{h}{2}\right) = 0,169 \text{ m} \quad [2] \text{ B9-13}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} \cdot b_{eff} = 0,52 \text{ m}^2 \quad \text{Area av medverkande betong mellan sprickor}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = 0,0368$$

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,8 & \text{Kamstång} \\ k_2 &= 0,5 & \text{Ren böjning} \\ k_3 &= 3,4 & \text{Rekommenderat värde} \\ k_4 &= 0,425 & \text{Rekommenderat värde} \end{aligned}$$

$$\rightarrow S_{r,max} = 0,303 \text{ m}$$

$$k_t = 0,4 \quad \text{Långtidlast}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = 5,4$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \quad [2] \text{ B9-19 Skillnad medeltöjning stål - betong}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 5,28 \cdot 10^{-4} \quad \text{Dock minst } 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} < 5,28 \cdot 10^{-4} \rightarrow \text{OK}$$

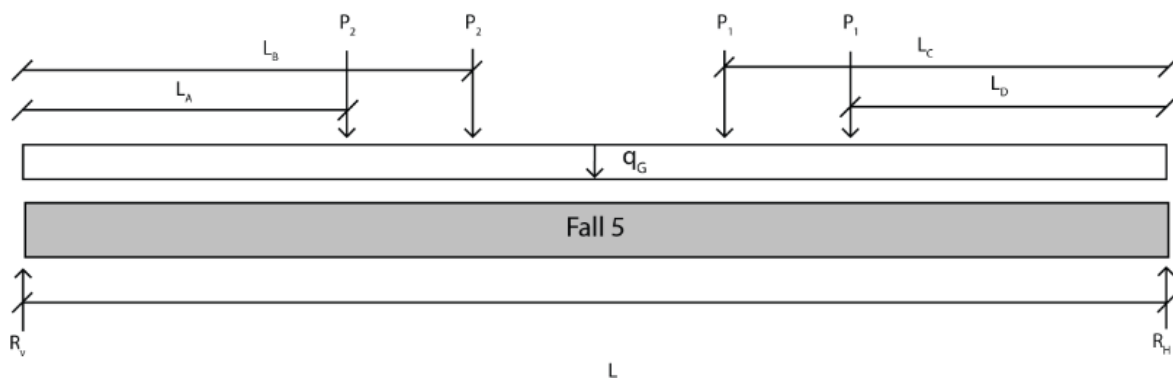
$$w_k = S_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,16 \text{ mm} < w_{k,max} \quad [2] \text{ B9-18 Sprickbredd, } < w_{k,max} \rightarrow \text{OK}$$

Kontroll nedböjning

Max moment → Max nedböjning, vilket sker i lastfall 5.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1+\phi(\infty, t_0)} = 17,26 \text{ MPa}$$

Elementarfall, se Bilaga G



$$L_A = L_D = L_{18}$$

$$L_B = L_C = L_{18} + L_{19}$$

$$\delta_{qd} = \frac{5 \cdot L^4 q_{G, frek}}{384 \cdot E_{c,eff} \cdot I_{II,eff}} = 0,0462 \text{ m}$$

$$\delta_{P2} = \frac{P_{2, frek} \cdot L^2}{48 \cdot E_{c,eff} \cdot I_{II,eff}} \cdot \left(L_A \cdot \left(3 - \frac{4 \cdot L_A^2}{L^2} \right) + L_2 \cdot \left(3 - \frac{4 \cdot L_B^2}{L^2} \right) \right) = 0,0 \text{ m}$$

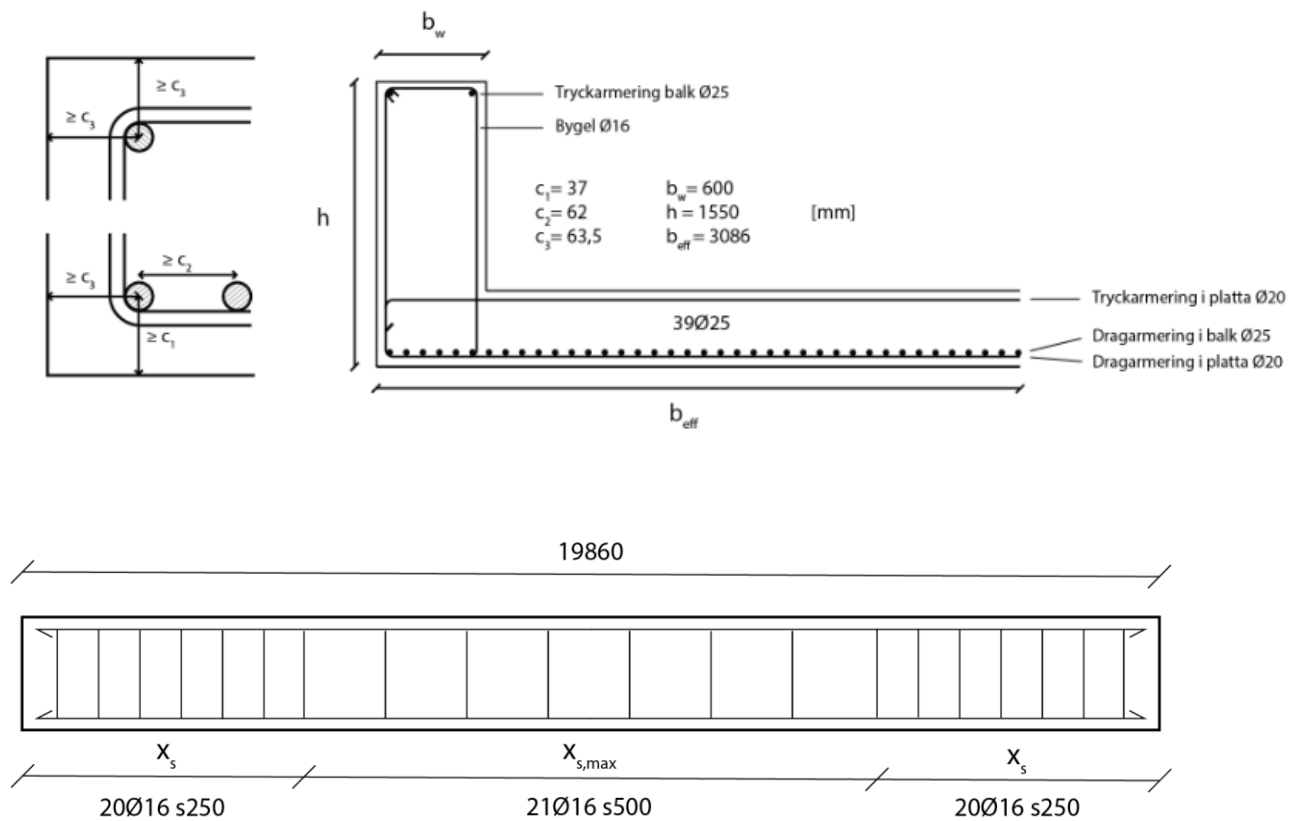
$$\delta_{P1} = \frac{P_{1, frek} \cdot L^2}{48 \cdot E_{c,eff} \cdot I_{II,eff}} \cdot \left(L_C \cdot \left(3 - \frac{4 \cdot L_C^2}{L^2} \right) + L_4 \cdot \left(3 - \frac{4 \cdot L_D^2}{L^2} \right) \right) = 0,00278 \text{ m}$$

$$\delta_{tot} = \delta_{qd} + \delta_{P1} + \delta_{P2} = 49 \text{ mm} < \delta_{max} \rightarrow OK$$

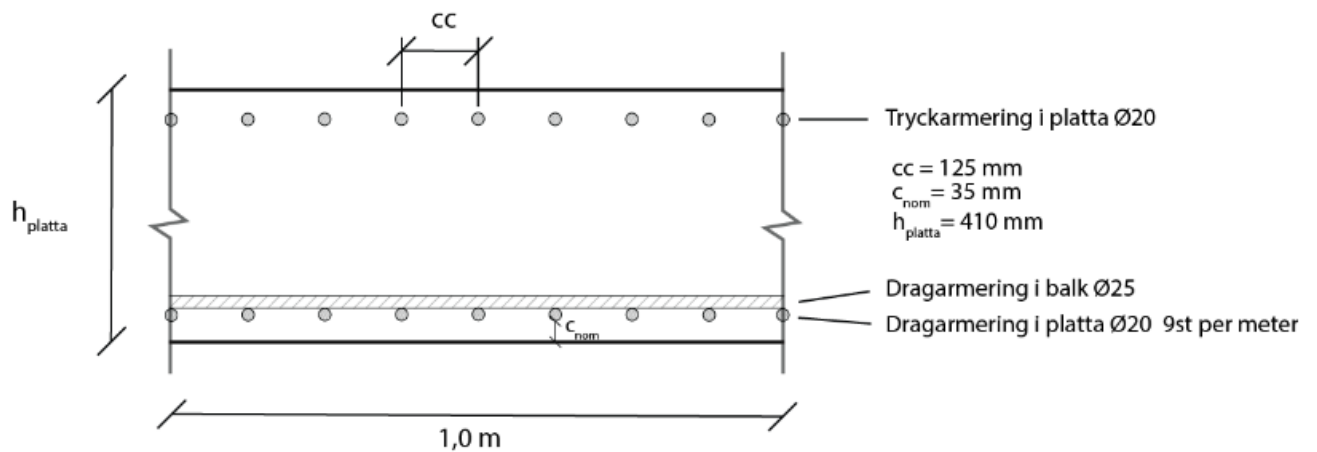
Total nedböjning

Preliminära dimensioner balk och platta

Balk



Platta



Källhänvisning

Sverige. Boverket (2011). Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder). Karlskrona: Boverket.