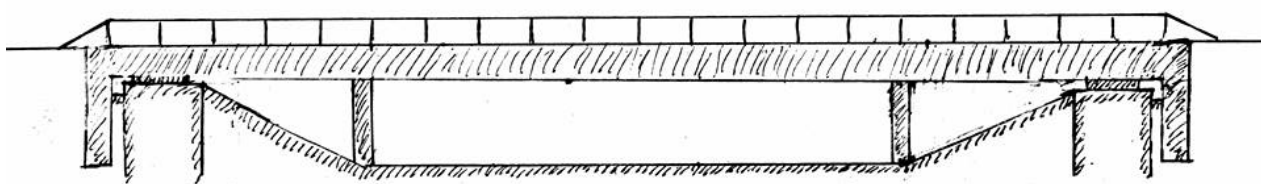




CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Vägbro Hössnamotet

Förslag till brokoncept samt preliminärdimensionering för bro över väg 40

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

JOHAN AHLSTRAND
CAROLINE JOHANSSON
ERIK JOHANSSON
ELIAS OLOFSSON
LOVISA PERSSON
MICHAELA ÖMAN

KANDIDATARBETE ACEX10-18-53

Vägbro Hössnamotet

Förslag till brokoncept samt preliminärdimensionering för bro över väg 40

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

JOHAN AHLSTRAND
CAROLINE JOHANSSON
ERIK JOHANSSON
ELIAS OLOFSSON
LOVISA PERSSON
MICHAELA ÖMAN

Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2018

Vägbro Hössnamotet

Förslag till brokoncept samt preliminärdimensionering för bro över väg 40

JOHAN AHLSTRAND

CAROLINE JOHANSSON

ERIK JOHANSSON

ELIAS OLOFSSON

LOVISA PERSSON

MICHAELA ÖMAN

© JOHAN AHLSTRAND, CAROLINE JOHANSSON, ERIK JOHANSSON, ELIAS OLOFSSON,
LOVISA PERSSON, MICHAELA ÖMAN, 2018

Kandidatarbete ACEX10-18-53

Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 1000

Omslag:

Konceptuell bild av balkbro. Författarens egen bild.

Chalmers Reproservice

Göteborg, Sverige 2018

Vägbro Hössnamotet
Förslag till brokoncept samt preliminärdimensionering för bro över väg 40
Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik
JOHAN AHLSTRAND
CAROLINE JOHANSSON
ERIK JOHANSSON
ELIAS OLOFSSON
LOVISA PERSSON
MICHAELA ÖMAN
Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Konstruktionsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Riksväg 40 är en del av Sveriges stamvägnät och utgör en huvudförbindelse mellan Jönköping och Göteborgsregionen. För ökad säkerhet och framkomlighet är målet att göra hela sträckan mötesfri och med planskilda korsningar. Syftet med studien är att ta fram ett brokoncept vid Hössnamotet på riksväg 40 utefter givna förutsättningar och krav.

I anslutning till Hössnamotet där väg 1721 korsar väg 40 ska en bro med 60 m spännvidd överbrygga väg 40. En litteraturstudie angående frågor som rör broar, allt ifrån projektering till förvaltning, har gjorts för att ligga till grund för framtagning av olika brokoncept. Brokoncepten har därefter utvärderats utifrån valda kriterier, där det som ansetts mest lämpligt har valts till slutgiltigt brokoncept. Det slutgiltiga brokonceptet har preliminärdimensionerats utefter de Eurokoder och standarder som finns. Detta för att på ett korrekt och tillräckligt heltäckande sätt kunna preliminärdimensionera brokonceptet i brott- och bruksgränstillstånd.

Brokonceptet som togs fram är en balkbro i betong med dubbelt T-tvärsnitt i tre spann, där det längsta spannet uppgår till 25 m. Preliminärdimensioneringen omfattar endast beräkningar av brobottenplattan i tvär- och längsled samt ändskärmen. Ett preliminärt förslag av beräknade dimensioner och armeringsmängder presenteras, även en beskrivning av övriga brodetaljer och en produktionsplan samt en underhållsplan.

Nyckelord: Bro, Hössnamotet, preliminärdimensionering, vägbro, balkbro, brokoncept

Road Bridge Hössnamotet
Conceptual design and preliminary sizing proposition for bridge over road 40
Bachelor's thesis in Building and Civil Engineering
JOHAN AHLSTRAND
CAROLINE JOHANSSON
ERIK JOHANSSON
ELIAS OLOFSSON
LOVISA PERSSON
MICHAELA ÖMAN
Architecture and Civil Engineering
Structural Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Riksväg 40 is part of Swedens trunk road network and constitute a main connection between Jönköping and the region of Gothenburg. In order to increase traffic capacity and safety the goal is to make the road free of meetings and with intersections on different levels. The purpose of this study is to create a conceptual design and preliminary sizing proposition for a bridge over road 40 at Hössnamotet, using the given conditions and requirements.

Connecting from Hössnamotet, where road 1721 crosses road 40, a bridge with a 60 m span shall bridge road 40. As a foundation for establishing different concepts for bridges, a literature study regarding questions on bridges as well as anything from projection to management was created. The concepts have then been evaluated regarding certain aspects, and the most appropriate one was chosen as final bridge concept. The finalized bridge concept has been preliminary sized with regards to the Eurocodes and the standards existing. The preliminary dimensioning of the bridge concept is done to ensure a correct and sufficient bridge concept in ultimate- and serviceability limit state.

The bridge concept created was a girder bridge in concrete with a double T-section in three spans, where the greatest span reaches up to 25 m. The preliminary sizing only includes calculations done on the bridge slabs transversal and longitudinal axes as well as the endshield. A preliminary preposition of calculated dimensions and amount of reinforcements needed is presented, as well as a description of the remaining details of the bridge, a production plan and a maintenance plan.

Keywords: Bridge, Preliminary sizing, Bridge, Girder bridge, Conceptual design

INNEHÅLL

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Innehåll	iii
Förord	ix
Akronymer	xi
Ordlista	xi
Nomenklatur	xiii

I Framtagning av brokoncept	1
1 Introduktion	1
1.1 Syfte	1
1.2 Problemformulering och definition	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	2
2 Förutsättningar och krav	3
2.1 Geografisk beskrivning	3
2.2 Geoteknisk beskrivning	4
2.3 Beställarens krav	5
2.4 Produktionsförutsättningar	5
2.5 Miljökrav	5
3 Material	6
3.1 Betong	6
3.1.1 Hållfasthet	6
3.1.2 Beständighet	6
3.1.3 Fördelar och nackdelar	7
3.2 Trä	7
3.2.1 Hållfasthet	7
3.2.2 Beständighet	8
3.2.3 Fördelar och nackdelar	8
3.3 Stål	8
3.3.1 Hållfasthet	9
3.3.2 Beständighet	9
3.3.3 Fördelar och nackdelar	9
3.4 Kompositmaterial	10
3.4.1 Hållfasthet	10

3.4.2	Beständighet	10
3.4.3	Fördelar och nackdelar	10
4	Brotyper	11
4.1	Balkverkansbro	11
4.1.1	Plattbro	11
4.1.2	Balkbro	11
4.1.3	Rambro	12
4.1.4	Fackverksbro	13
4.1.5	Samverkansbro	14
4.2	Bågverkansbro	16
4.2.1	Valvbro	16
4.2.2	Bågbro	17
4.3	Hängverkansbro	17
4.3.1	Snedkabelbro	18
4.3.2	Hängbro	19
5	Produktionsmetoder	20
5.1	Platsgjutning	20
5.2	Prefabricering	20
5.3	Horisontell lansering	21
5.4	Balanserad utbyggnad	21
6	Grundläggning och landfäste	22
6.1	Platta på mark	22
6.2	Pålar	22
6.3	Landfäste	23
7	Inspektioner och underhåll	25
7.1	Broinspektioner	25
7.2	Brounderhåll	26
7.2.1	Tillståndsbaserat underhåll	27
7.2.2	Förutbestämt underhåll	27
8	Urval	28
8.1	Utvärderingskriterier	28
8.1.1	Viktning av utvärderingskriterier	29
8.2	Urvalsprocess I	30
8.2.1	Gemensamma faktorer	30
8.2.2	Balkbro	30
8.2.3	Plattbro	31
8.2.4	Rambro	31
8.2.5	Samverkansbro	31
8.2.6	Bågbro	32
8.3	Presentation av konceptalternativ	32
8.3.1	Bågbro av stål med dragband	32
8.3.2	Balkbro av betong i tre spann	33
8.3.3	Samverkansbro i två spann	33

8.4	Urvalsprocess II	34
9	Valt brokoncept	36
9.1	Grundläggning	36
9.2	Underbyggnad	37
9.2.1	Pelare	37
9.2.2	Ändskärm	38
9.2.3	Vingmur	38
9.3	Detaljutförning	38
9.3.1	Beläggning	38
9.3.2	Kantbalkar	39
9.3.3	Räcken	39
9.3.4	Lager	39
9.3.5	Vattenavledning	40
9.4	Produktionsplan	40
9.5	Underhållsplan	40
II	Preliminärdimensionering	43
10	Exponeringsklasser och säkerhetsfaktorer	43
11	Lasteffekt	45
11.1	Lastkombinering	45
11.2	Tvärled	46
11.2.1	Tvärsnitt	46
11.2.2	Karakteristiska laster	47
11.2.3	Ogynnsam lastplacering	47
11.2.4	Filfaktorer	48
11.2.5	Resultat	49
11.2.6	Förenklingar	49
11.3	Längsled	49
11.3.1	Karakteristiska laster	50
11.3.2	Ogynnsam lastplacering	50
11.3.3	Resultat	51
11.3.4	Förenklingar	52
11.4	Ändskärm	52
12	Preliminärdimensionering - ULS	53
12.1	Täckande betongskikt	53
12.2	Beräkningsgång, drag- och tvärkraftsarmering	53
12.3	Resultat tvärled	55
12.4	Resultat längsled	56
12.5	Resultat ändskärm	58
13	Preliminärdimensionering - SLS	59
13.1	Beräkningsgång	59
13.2	Resultat	59

14 Preliminärdimensionerat koncept	61
15 Diskussion	62
16 Slutsats	64
Referenser	65
Bilaga A Teknisk beskrivning	67
Bilaga B Förfrågningsunderlag	92
Bilaga C MATLAB: Tvärledsberäkning för moment och nedböjning	94
Bilaga D MATLAB: Tvärledsberäkning för tvärkraft och reaktionskrafter	113
Bilaga E MATLAB: CALFEM-funktion för längsledsberäkning	121
Bilaga F MATLAB: Laststegning i längsled	127
Bilaga G MATLAB: Lastberäkning och lastkombinering i längsled	132
Bilaga H MATLAB: Nedböjning i längsled	144
Bilaga I MATLAB: Längdutvidgning till följd av temperaturlast	149
Bilaga J MATLAB: Broms- och accelerationslast	151
Bilaga K MATLAB: Resulterande jordtryck	153
Bilaga L MATLAB: Dimensionering - Tvärled	155
Bilaga M MATLAB: Dimensionering - Längsled	165
Bilaga N MATLAB: Dimensionering - Ändskärm	180
Bilaga O MATLAB: Vindlast	189

Figurer

2.1	Hössnamotet, hämtad från Google.se/maps, 2018	3
2.2	Jordlagerföljd. Författarens egen figur.	4
4.1	Balkverkan (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	11
4.2	Rambro (Trafikverket, 2014a). Återgiven med tillstånd.	13
4.3	Fackverkan (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	14
4.4	Fackverksbro i ett spann lyfts på plats (Sandberg, 2018). Återgiven med tillstånd.	14
4.5	Samverkansbro (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	15
4.6	Tvärsnitt av samverkansbro (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	15
4.7	Bågverkan med dragband (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	16
4.8	Valvbro (Vonsky87, 2012). CC BY-SA 3.0.	17
4.9	Hängbro och snedkabelbro (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	18
4.10	Hängverkan (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	18
4.11	Olika utförande av snedkabelbroar (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	19
5.1	Horisontell lansering (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	21
5.2	Balanserad utbyggnad (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	21
6.1	Integrerat landfäste med ändskärm (Trafikverket, 2018). Återgiven med tillstånd.	23
6.2	Fristående landfäste (Trafikverket, 2018). Återgiven med tillstånd.	24
8.1	Viktning av utvärderingskriterier. Författarens egen figur.	29
8.2	Alternativa brokoncept. Författarens egen figur.	30
8.3	Bågbro av stål med dragband. Författarens egen figur.	33
8.4	Balkbro av betong i tre spann. Författarens egen figur.	33
8.5	Samverkansbro i två spann. Författarens egen figur.	34
8.6	Resultat av poängsättning på brokoncepten med viktade utvärderingskriterier. Författarens egen figur.	34
9.1	Schematisk figur av brokonceptet. Författarens egen figur.	36
9.2	Sektion A-A. Schematisk figur av brokonceptets tvärsnitt. Författarens egen figur.	36
9.3	Utformning av bottenplattor. Författarens egen figur.	37
9.4	Konceptuell utformning av cirkulär pelare. Författarens egen figur.	38
9.5	Illustration av beläggning på brobaneplatta. Författarens egen figur.	39
9.6	Bild ovanifrån som visar olika lagertyper vid respektive stöd. Författarens egen figur.	39
11.1	Tvärsnitt. Författarens egen figur.	46
11.2	Beräkningsmodell med förflyttning av trafikklaster. Författarens egen figur.	48
11.3	Lastplacering för maximalt stödmoment samt tvärkraft. Författarens egen figur.	48
11.4	Lastplacering för maximalt fältmoment. Författarens egen figur.	48
11.5	Beräkningsmodell för lastfall 1. Detta fall resulterar i ändfältets dimensionerande moment. Författarens egen figur.	50
11.6	Beräkningsmodell för lastfall 2. Detta fall resulterar i mittfältets dimensionerande moment. Författarens egen figur.	50
11.7	Beräkningsmodell för lastfall 3. Detta fall resulterar i dimensionerande moment över stöd. Författarens egen figur.	51
11.8	Beräkningsmodell för lastfall 4. Detta fall resulterar i dimensionerande tvärkraft över mittstöd. Författarens egen figur.	51
11.9	Beräkningsmodell för lastfall 5. Detta fall resulterar i dimensionerande tvärkraft över ändstöd. Författarens egen figur.	51

12.1	Preliminär utformning av armering (Al-Emrani, Engström, Johansson och Johansson, 2013). Återgiven med tillstånd.	53
12.2	Beräkningsmodell för effektivbredd (<i>SS-EN 1992-1-1</i>).	54
12.3	Beräkningsmodell för bärförmåga, M_{Rd} (Al-Emrani, Engström, Johansson och Johansson, 2013). Återgiven med tillstånd.	54
12.4	Illustration av skjuvglidbrott med flytande tvärarmering och livtryckbrott (Al-Emrani, Engström, Johansson och Johansson, 2013). Återgiven med tillstånd.	55
12.5	Sektionsskisser i maxmomentsnitt i stöd och fält, tvärled. Författarens egen figur. .	55
12.6	Placering av tvärkraftsarmering, tvärled. Författarens egen figur.	56
12.7	Sektionsskisser i maxmomentsnitt i stöd 1 och 2, längsled. Författarens egen figur. .	56
12.8	Sektionsskisser i maxmomentsnitt i fält 1 och 2, längsled. Författarens egen figur. .	57
12.9	Placering av tvärkraftsarmering, längsled. Författarens egen figur.	57
12.10	Sektionsskiss i maxmomentsnitt, ändskärm. Författarens egen figur.	58
14.1	Preliminärdimensionerat brokoncept med spännvidder. Författarens egen figur. . .	61
14.2	Preliminärdimensionerat tvärsnitt av överbyggnad. Författarens egen figur.	61
14.3	Utformning av ändskärm. Författarens egen figur.	61

Tabeller

2.1	Väderstatistik från SMHI baserat på uppmätt normaldata mellan åren 1961-1990. .	4
7.1	Exempel från Vägverkets Broinspektionshandbok (1996) på brister hos brokonstruktioner.	25
7.2	Exempel på konstruktioner och åtgärder från varje underhållsgrupp.	26
10.1	Val av exponeringsklasser	43
10.2	Förklaring av aktuella exponeringsklasser (<i>SS-EN 1992-1-1</i> , Tabell 4.1).	43
10.3	Dimensionerande parametrar utifrån exponeringsklass.	43
11.1	Lastreduktionstal. Hämtad från <i>SS-EN 1990</i> , tabell A2.1.	46
11.2	Koefficienter. Hämtad från <i>SS-EN 1990</i> , tabell A2.4(B).	46
11.3	Anpassningsfaktorer.	47
11.4	Laster verkande på brobanan i tvärled.	47
11.5	Dimensionerande stöd- och fältmoment samt tvärkraft för varje lastkombination. Se bilaga C och D för beräkningar.	49
11.6	Stödreaktioner och filfaktorer för stöd A och B för varje lastkombination. Se bilaga D för beräkningar.	49
11.7	Karakteristiska laster i längsled.	50
11.8	Dimensionerande moment vid respektive lastfall för varje lastkombination. Se bilaga G för beräkningar.	52
11.9	Dimensionerande tvärkraft vid respektive lastfall för varje lastkombination. Se bilaga G för beräkningar.	52
12.1	Tvärsnittens utnyttjandegrad.	55
12.2	Tvärsnittens utnyttjandegrad.	57
12.3	Tvärsnittens utnyttjandegrad.	58
13.1	Kontroll av betong- och stålspänningar samt sprickbredd. Se bilaga M för beräkningar	59
13.2	Nedböjning vid frekvent lastkombination, tvärled. Se bilaga C för beräkningar. . .	60
13.3	Nedböjning vid frekvent lastkombination, längsled. Se bilaga H för beräkningar. . .	60

FÖRORD

Denna rapport presenterar ett kandidatarbete genomfört av sex studenter på civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg under våren 2018.

Under arbetet har vi kunnat använda de kunskaper som vi samlat på oss från tidigare kurser under utbildningen. Fördjupande kunskap inom området har givits under föreläsningar från kunniga lärare samt yrkesverksamma inom branschen. Vi vill tacka alla de personer som har tagit sig tid och delat med sig av sin kunskap vilket har gjort detta arbete möjligt. Vi vill rikta ett extra tack till vår handledare Filip Nilenius, forskarassistent vid Chalmers tekniska högskola, som gett oss vägledningen under arbetsprocessen. Ett extra tack vill vi även ge till Staffan Lindén, gruppchef brokonstruktion på COWI AB, som delat med sig av sin erfarenhet och kunskap inom området.

Göteborg maj 2018

Akronymer

AMA Allmän material- och arbetsbeskrivning.

EC 2 Eurocode 2: Design of concrete structures.

FRP Fiber Reinforced Plastic.

MMA Metylmetakrylat.

PMC Polymer Matrix Composites.

SLS Serviceability limit state.

ULS Ultimate limit state.

ÅDT Årsdygnstrafik.

Ordlista

AutoCAD CAD-program.

Balkverkan Verkan med normalkraft, tvärkraft och moment...Snittkrafter som uppstår i en balk: tvärkraft, böjmoment samt vridmoment.

Bombering Vävning av en plan vägbana för att underlätta vattenavrinning.

Brottgränstillstånd Kontrollerar brons bärförmåga med hänsyn till brott.

Bruksgränstillstånd Kontrollerar god funktion vid användning av bron, exempelvis nedböjning och sprickbredd.

Böjstyvhet En balks förmåga att motstå deformation.

CALFEM Mekanikprogram skrivet för användning i MATLAB.

Centrumavstånd Avstånd mellan mittpunkter för medverkande balkar. Kallas också c-c-avstånd.

Dragband Konstruktionsdel vars syfte är att avlasta grundläggningen från horisontella krafter.

Eurokod Europastandard som används vid dimensionering av konstruktioner.

Fast inspänning Inspänning som tar hand om horisontella- och vertikala laster samt moment.

Filfaktor Den procentuella delen av den totala lasten som varje stöd tar upp.

Frekvent lastkombination Lastkombination som beaktar den last bron frekvent utsätts för.

Frontmur Konstruktionsdel som tar upp jordtrycket.

Kantbalk Yttersta delen av brobanan, används bl.a. till att fästa räcket i.

Karakteristisk lastkombination Korttidslast.

Krympning Lastoberoende volymminskning.

Krypning Lastberoende deformation som ökar med tiden.

Kvasipermanent lastkombination Långtidslast.

Lager CARRO SKRIV DETTA.

Landfäste Konstruktionsdel som tillhör underbyggnaden.

Limträ Ihoplimmade trälameller som format ett element, exempelvis en balk. Hög hållfasthet jämfört med konstruktionsvirke.

Livslängdsklass Klassificering av tiden som konstruktionen är ämnad att uppfylla sin funktion.

Längsled Brons färdriktning.

MATLAB Beräkningsprogram baserat kring matriser.

Passivt jordtryck Jordtryck då jordens egenvikt medverkar till det totala jordtrycket mot en konstruktion.

Preliminärdimensionering Övergripande dimensionering. Detaljdimensionering så som infästningsutformning ingår ej.

Randvillkor Bestämda villkor som ska uppfyllas vid ändpunkter.

Relativ fuktighet Luftens fuktighet i förhållande till temperatur.

Räckesståndare Vertikala pinnar som utgör fyllnaden i räcket.

Siltig sand Jordart där dominerande fraktionen är sand och därefter silt.

Slakarmerad Armering som inte är förspänd.

Spännarmerad Armering som är förspänd.

Spännvidd Avstånd mellan två stödpunkter.

Tryckzon Den ytan av ett tvärsnitt som är utsätts för tryckspänningar.

Tvärkraftsbygel Armeringstyp som används för att hantera tvärkraft och hålla ihop dragarmering.

Tvärled Vinkelrätt bronns färdriktning.

Underbyggnad Landfästen och eventuella mittstöd.

Utnyttjandegrad Andel av total kapacitet som utnyttjas.

Vingmur Konstruktionsdel som används för att stabilisera vägbanken.

Vägbank Uppbyggnad av jord, grus eller sten som bär upp en väg.

Ändskärm Konstruktionsdel mellan bro och vägbank.

Överbyggnad Broelement ovanför lager eller pelarnas överkant, ex. brobanan.

Nomenklatur

Gemena grekiska bokstäver

α_{ef}	Omvandlingsfaktor till ekvivalent betongtvärsnitt [–]
α_{Q1}	Anpassningsfaktor [–]
α_{q1}	Anpassningsfaktor [–]
α_{Q2}	Anpassningsfaktor [–]
α_{q2}	Anpassningsfaktor [–]
γ_d	Partialkoefficient för säkerhetsklass [–]
γ_G	Partialkoefficient för permanenta laster [–]
γ_Q	Partialkoefficient för variabel last [–]
ϕ_s	Dragarmeringsdiameter [mm]
ϕ_w	Bygelarmeringsdiameter [mm]
ψ_0	Faktor för kombinationsvärde för variabel last [–]
ψ_1	Faktor för frekvent värde för variabel last [–]
ψ_2	Faktor för kvasipermanent värde för variabel last [–]
$\sigma_{c\infty}$	Betongspänning med hänsyn till långtidslast [MPa]
σ_{cc}	Betongtryckspänning [MPa]
$\sigma_{s,d}$	Dragstålspänning [MPa]
$\sigma_{s,t}$	Tryckstålspänning [MPa]
$\varphi(\infty, t_0)$	Kryptal [–]
ξ	Reduktionsfaktor [–]

η Utnyttjandegrad [–]

σ_s Stålspänning [MPa]

Versala latinska bokstäver

A	Tvärsnittsarea [m ²]
$A_{s,max}$	Maximimängd dragarmering [mm ²]
$A_{s,min}$	Minimimängd dragarmering [mm ²]
A_s	Erforderlig mängd dragarmering [mm ²]
E	E-modul [GPa]
$F_{w,x}$	Vindlastens resultant [kN]
G_k	Karakteristiskt värde för en permanent last
I	Yttröghetsmoment [m ⁴]
M_{cr}	Sprickmoment [MN m]
M_{Ed}	Dimensionerande moment [MN m]
M_{end}	Ändmoment orsakat från jordtryck i längsled [kN m]
M_{Rd}	Momentkapacitet [MN m]
Q_1	Punktlast från axellast i tvärled [kN]
Q_2	Punktlast från axellast i tvärled [kN]
Q_k	Karakteristiskt värde för enstaka last
Q_{trafik}	Punktlast för boggisystem i längsled [kN]
V_{Ed}	Dimensionerande tvärkraft [MN]
$V_{Rd,s}$	Bärförmåga med tvärkraftsarmering [MN]

Gemena latinska bokstäver

b_{eff}	Effektiv bredd [m]	h_{platta}	Plattans höjd [mm]
$c_{min,dur}$	Täckande betongskikt [cm]	q_1	Utbredd fillast i tvärled [kN/m]
f_{ck}	Karakteristisk tryckhållfasthet [MPa]	q_2	Utbredd fillast i tvärled [kN/m]
f_{yk}	Karakteristisk stålflytgräns [MPa]	q_{trafik}	Utbredd trafiklast i längsled [kN/m]
g_{balk}	Utbredd last från balk [kN/m]	s	Avstånd mellan tvärkraftsarmeringsbyglar [m]
$g_{kantbalk}$	Utbredd last från kantbalk [kN/m]	$s_{l,max}$	Maximalt bygelavstånd [m]
g_k	Tvärsnittets egentyngd i längsled [kN/m]	uct_{ekv}	Ekvivalent vattencementtal [–]
g_{platta}	Utbredd last från platta [kN/m]	w_k	Sprickbredd [mm]
		w_{max}	Mix tillåten sprickbredd [mm]

Del I

Framtagning av brokoncept

1 Introduktion

Riksväg 40 är en del av Sveriges stamvägnät och utgör en huvudförbindelse mellan Jönköping och Göteborgsregionen. Sedan 90-talet har det funnits planer på att bygga ut vägen till motorvägsstandard genom att göra hela sträckan mötesfri med planskilda korsningar. Syftet är att öka säkerhet och framkomlighet och ombyggnationen sker i etapper. Sedan hösten 2015 står 17 km ny väg klar i höjd med Ulricehamn. Detta gör att det nu är motorväg på sträckan mellan Göteborg-Ulricehamn. Ett flertal broar upprättades i samband med ombyggnationen, varav en ligger i anslutning till Hössnamotet där väg 1721 korsar väg 40.

1.1 Syfte

Syftet med studien är att ta fram ett brokoncept som ska garantera en ökad säkerhet och framkomlighet vid Hössnamotet på riksväg 40. Dessutom ska valt brokoncept preliminärdimensioneras utifrån föreskrivna krav, förutsättningar och möjliga lastfall.

1.2 Problemformulering och definition

En planskild korsning skall uppföras mellan väg 40 och väg 1721 genom att överbrygga väg 40 med en bro. Bron ska vara 60 m lång och ha en fri höjd på 4,7 m över riksväg 40. Den totala brobredden ska vara 10,5 m enligt planbeskrivning (se bilaga B) med körbanor i båda riktningar samt en gång- och cykelbana. Bron ska dimensioneras för en teknisk livslängd på 80 år och utformas i enlighet med den tekniska beskrivningen från Trafikverket (se bilaga A). Hänsyn ska tas till beställarens, entreprenörens och förvaltarens krav och önskemål. Den estetiska aspekten ska också beaktas, bron bör främst passa in i omgivningen men får också gärna ha en tilltalande estetik.

I studien ska flera konceptuella brokonstruktioner tas fram. Från dessa ska det brokoncept som är bäst lämpat för förutsättningarna samt uppfyller uppsatta utvärderingskriterier på bästa sätt väljas och preliminärdimensioneras.

1.3 Avgränsningar

Vissa avgränsningar görs då projektet annars skulle bli för omfattande i förhållande till projektets tidsram. På- och avfarter innefattas ej i brokonceptet då det inte ingår i förfrågningsunderlaget. Givna dimensioner för bron kommer att användas utan vidare utredning och Trafikverkets standarder kommer att användas vid utformning och dimensionering. Den ekonomiska aspekten tas hänsyn såtillvida att brons produktionskostnad ska anses rimlig, dock kommer inga ekonomikalkyler utföras. Hänsyn till miljöpåverkan begränsas till konstruktionsmaterialens påverkan. Olyckslaster kommer

beaktas under riskanalysen för att i största möjliga mån elimineras, men det kommer inte att göras några beräkningar. Material som kommer att undersökas är stål, trä, betong och kompositmaterial. Vid dimensionering kommer beräkningar ej att göras på ingående detaljnivå så som anslutningar mellan element och vattenavrinningsystem. Även vissa mer omfattande beräkningar kommer att utelämnas, exempelvis utmattning. De geotekniska förutsättningarna tas hänsyn till i den mån att brokonceptet ska anses genomförbart dock ska inga ingående beräkningar utföras.

1.4 Metod

Detta arbete är uppdelat i två faser: Idéfas och dimensioneringsfas. Idéfasen är en itereringsprocess som ska resultera i tre brokoncept. Det alternativ som bäst uppfyller utvärderingskriterierna ska användas i preliminärdimensioneringen. Ett väl utvecklat brokoncept tillgodoser de krav och önskemål som ställs från olika aktörer under brons livslängd. Därför kommer gruppen delas in i tre mindre grupper: beställare, produktion samt miljö och förvaltning, med huvudansvar för att dessas intressen tillgodoses.

För att nå ett välutvecklat koncept görs först en analys av förutsättningarna samt en formulering av de mål som ska uppnås. Ett flertal konceptalternativ tas fram för att sedan utvärderas och jämföras utifrån bestämda utvärderingskriterier. Utvärderingskriterierna utformas utifrån de tre gruppernas intressen. Denna urvalsprocess ska resultera i tre konceptalternativ.

För att få en bred variation bland alternativen kommer en litteraturstudie göras för att samla kunskap kring frågor som rör broar från projektering till förvaltning. En förenklad riskanalys av de tre koncepten görs där kritiska händelser under processen från projektering till förvaltning identifieras. Om möjligt modifieras alternativen för att eliminera de risker som upptäckts. En sista omprövning av de olika koncepten görs för att få fram ett slutgiltigt brokoncept, nu med viktning av de olika utvärderingskriterierna för att ge en tydligare bedömning. Dock så är dessa viktade värden inte ett slutgiltigt resultat, utan en analys och reflektion av resultaten måste göras. Det valda brokonceptet ska användas i preliminärdimensioneringen.

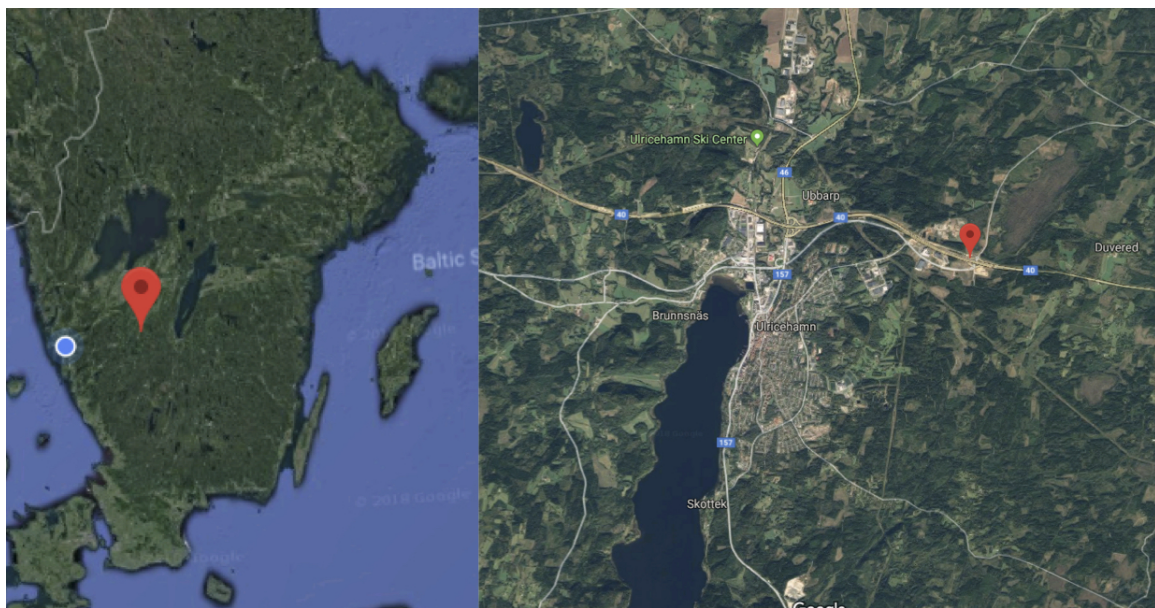
De beräkningar som är associerade med den preliminära dimensioneringen utförs och redovisas främst med hjälp av MATLAB, CALFEM och AutoCAD. Dimensioneringen och beräkningarna ska följa de Eurokoder och standarder som finns föreskrivna i teknisk beskrivning samt de standarder som annars är nödvändiga för att på ett korrekt och tillräckligt heltäckande sätt preliminärdimensionera brokonceptet.

2 Förutsättningar och krav

I ett inledande skede har beställaren, Trafikverket, tagit fram en teknisk beskrivning som underlag för exploatering vid Hössnamotet. Den tekniska beskrivningen (se bilaga A) innehåller bl.a. tekniska krav på den blivande bron, närområdets geografiska och geotekniska förutsättningar samt allmänna krav på projektet som helhet. Vidare beskrivs förutsättningar och krav för de miljömål som måste uppfyllas.

2.1 Geografisk beskrivning

Hössnamotet ligger i anslutning till riksväg 40 och är beläget något öster om Ulricehamn i Västra Götaland, Sverige. Närområdet består i hög grad av skogslandskap som norr om bron övergår i ett våtmarksområde (Trafikverket, 2013). Markytan sjunker mot öster, från +303 ca 30 m väster om den blivande bron till +297,6 ca 30 m öster om den blivande bron. Den nya delsträckan av riksväg 40 dras vid Hössnamotet något söder om den äldre vägen, detta gör att bron ej kommer att uppföras över befintlig väg.



Figur 2.1: Hössnamotet, hämtad från Google.se/maps, 2018

Enligt Trafikverkets klimatzonsmodell befinner sig Hössnamotet i klimatzon A, vilket är den lägsta av 3 klasser i Sverige (Trafikverket, 2015b). Denna modell tar främst hänsyn till driftbehov och vinterunderhåll så som plogning och saltning, aspekter som har stor påverkan på vägars beständighet. Enligt annan av Trafikverkets modeller tillhör Hössnamotet klimatzon 2 (*TK Geo 13*, kap. 11.1), denna används bland annat vid bestämning av tjäldjup. Med vinter avses medeldyngstemperaturer under 0 °C. Enligt SMHIs väderstatistik uppskattas den genomsnittliga vintern vid Hössnamotet börja i slutet på november och fortgå till mitten av mars (SMHI, 2018).

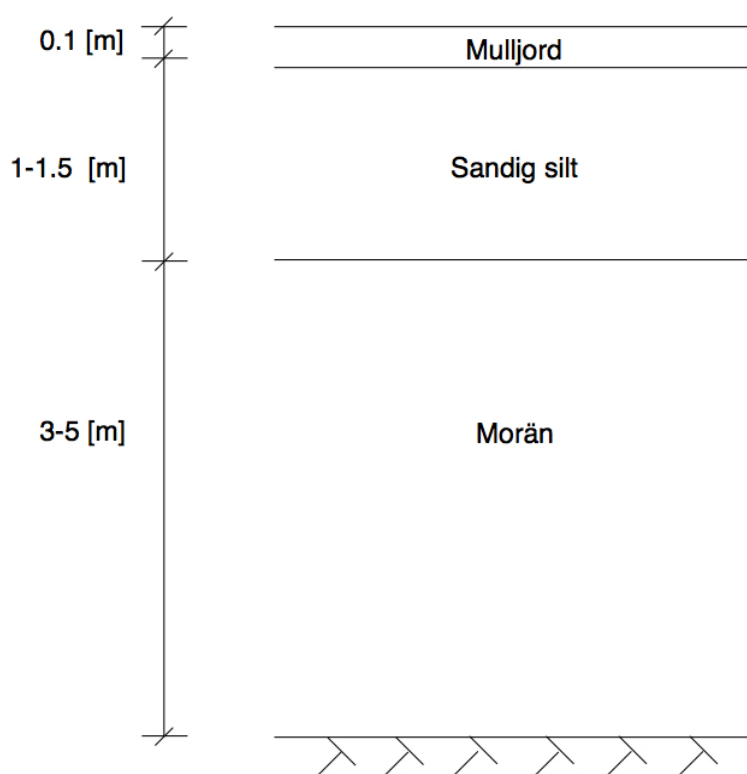
Följande väderdata i tabell 2.1 härstammar ifrån SMHIs väderstatistik, baserat på uppmätt normaldata mellan åren 1961-1990 (SMHI, 2018).

Tabell 2.1: Väderstatistik från SMHI baserat på uppmätt normaldata mellan åren 1961-1990.

Årsmedeltemperatur	ca 6 °C
Kallaste dyngsmedel	−5 °C (februari)
Varmaste dyngsmedel	20,9 °C (juli)
Årsmedelnederbörd	800 – 1000 mm
Nederbördsfördelning	Jämt fördelad över året

2.2 Geoteknisk beskrivning

Jordlagerföljden består av ett 0,1 m tjockt toppskick av mulljord, vilande på ett ca 1 – 1,5 m mäktigt lager siltig sand eller sand. Under detta ligger ca 3 – 5 m mycket blockig morän innan fast berg (se figur 2.2)(Trafikverket, 2013). Djupet till berg varierar således mellan 3,5 – 5,5 m. Ett ca 0,5 – 0,8 m tjockt torvlager är dokumenterat ca 30 m nordost om bron vilket innebär att förekomsten av torv är möjlig vid ena brostödet. Enligt den tekniska beskrivningen består berget av en medelkornig röd-rödgrå granit. Den dimensionerande hållfastheten för bergschaktet bedöms till 2 MPa. Grundvattenytan har i närområdet genom provtagningar visat sig vara som lägst 0,5 m under markytan. I norr angränsar bron till ett våtmarksområde. Grundvattenytan antas därför ligga nära markytan vid bron.



Figur 2.2: Jordlagerföljd. Författarens egen figur.

2.3 Beställarens krav

Bron ska dimensioneras i enlighet med den planbeskrivningen samt den tekniska beskrivningen. Planbeskrivningen (se bilaga B) innehåller följande profilmått. Bron ska vara 60 m lång och överbrygga väg 40 med en fri höjd på 4,7 m. Den totala brobredden ska vara 10,5 m, innefatta körbanor i två riktningar samt en gång- och cykelbana. Följande data och krav är hämtade ifrån den tekniska beskrivningen (se bilaga A). Bron ska dimensioneras för en teknisk livslängd på 80 år. Dimensionerande trafikmängder baseras på ett ÅDT och uppskattas år 2035 uppgå till 15 100 fordon. Andel tung trafik uppskattas vara 22 procent och det ska förutsättas att vägbanan saltas vintertid.

Grundläggning av bron ska enligt den tekniska beskrivningen ske på $\geq 0,5$ m skikt av packat krossmaterial. Detta lager ska vila direkt på friktionsjorden, dvs. den siltiga sanden. Detta förutsätter urschaktning av allt eventuellt organiskt material. Dessutom föreligger ett krav på att gjutningsarbete för bottenplattor ska ske i torrhet. Vid utformning av bron ska samtliga val utgå ifrån ett trafiksäkerhetstänkande, med hänsyn till både tyngre fordonstrafik och oskyddade trafikanter. Utformningen skall även garantera att drift- och underhållsarbete kan utföras effektivt och med moderna metoder. Enligt den tekniska beskrivningen ska AMA- Anläggning 07 följas vid allt arbete och materialanvändning. Således ska allt material vara acceptabelt ut miljö- och hälsosynpunkt och garantera fördelaktig återvinning eller deponering vid eventuell destruktion. Bron ska vara utformad med hänsyn till dagvatten så att vatten leds bort ifrån brobana, sidoområde och omgivande ytor på så sätt att stabilitet och säkerhet mot skred eller underminering garanteras. För att motverka sättningar erfodras i sin tur ett effektivt dräneringssystem som ska ta hand om vatten i kringliggande mark.

2.4 Produktionsförutsättningar

Med underlag av den tekniska beskrivningens innehåll görs följande slutsatser gällande produktionsförutsättningar för Hössnamotet. Den nya dragningen av väg 40 kommer att ske något söder om den befintliga vägen, detta medför att upprättandet av bron kan ske utan större störning av befintlig trafik. Det gör också att tillgängligheten runt byggplatsen ökar vilket leder till större frihet i val av produktionsmetod. Området angränsar till ett våtmarksområde och dessutom ligger grundvattenytan överlag väldigt högt. Före produktion måste därför åtgärder vidtas som hanterar vattnet i området. Marken måste således beredas och dräneras på ett effektivt sätt innan vidare produktion kan ske.

2.5 Miljökrav

Entreprenaden ska ansvara för att återställa all mark som tagits i anspråk för att genomföra produktionen (Trafikverket, 2013). Uppförandet av en motorväg klassas enligt miljöbalken som miljöfarlig verksamhet (Ulricehamn kommun, 2017a). Miljöbalken reglerar således mark och vattenarbeten. Hössnamotet ligger i närhet till ett av Ulricehamn kommuns utfärdade vattenskyddsområden. Det föreligger därför övergripande krav gällande mark och vattenpåverkan. Vid schaktning och upplag av massor måste massorna kontrolleras så att de ej innehåller gifter och föroreningar. All hantering av kemikalier måste ske på så vis att kontakt med närmiljö förhindras (Ulricehamn kommun, 2017b).

3 Material

Vid brobyggnation används olika typer av material med varierande egenskaper gällande hållfasthet, beständighet och struktur, vilka är viktiga att känna till vid dimensionering. Val av konstruktionsmaterial är även direkt kopplat till miljöpåverkan och ekonomi, två centrala aspekter vid nyproduktion. På vilket sätt materialet framställs och i vilken utsträckning det kan återvinnas har stor betydelse för energianvändningen och miljöpåverkan. Idag står materialet för ungefär 40 procent av den totala byggkostnaden vilket visar på vikten av att välja rätt material (Burström, 2007, s. 2).

3.1 Betong

I dagens samhälle är betong ett av de viktigaste byggnadsmaterialen och kännetecknas av dess karakteristiska hållfasthet och goda formbarhet (Burström, 2007, s. 204-205). Betong tillverkas av cement, ballast och vatten. Cement framställs av kalksten och fungerar som bindningsmedel. Ballast utgörs av en blandning av olika stenfraktioner. Något som särskiljer betong från många andra material är att betongen är formbar, vilket gör att den på ett effektivt sätt kan anpassas till konstruktionen och därmed till platsen.

3.1.1 Hållfasthet

Betongens tryckhållfasthet bestäms antingen genom testning av cylindrar eller testning av kuber. När kubhållfastheten bestäms görs provet på en kub med sidlängden 150 mm. Provet görs efter 28 dygn (Burström, 2007, s. 204, 241-242). Tryckhållfastheten ses som en bra indikator på betongens täthet och beständighet, då det finns en tydlig korrelation mellan dessa. En av de mest karakteristiska egenskaperna för betong är att dess draghållfasthet endast uppgår till ungefär en tiondel av dess tryckhållfasthet (Al-Emrani, Engström, Johansson och Johansson, 2013, s. B1), vilket kan leda till sprickbildning i dragna delar. För att betongen ska vara i jämvikt även efter sprickbildning förses betongen med armering, som kan ta betydligt högre dragkrafter än betongen. Kraftöverföringen mellan betong och armering sker via vidhäftning i gränsskiktet och därmed sker en samverkan mellan de två materialen. Ett sätt att kontrollera sprickbildningen i betong är att använda förspännd armering. Detta resulterar i att det införs tryckkrafter i betongkonstruktionens grundläge (Al-Emrani m. fl., 2013, s. B3-B7). Vid pålagda dragkrafter kommer tryckspänningen sedan successivt att minska tills jämvikt uppnås.

3.1.2 Beständighet

Betong har god beständighet i förhållande till andra konventionella byggnadsmaterial. De beständighetsproblem som dock kan uppstå är frostangrepp, kemiska angrepp och armeringskorrosion (Burström, 2007, s. 247-252). Vid frostangrepp fryser vattnet i materialets porer, vilket enligt Burström leder till att dess volym ökar med nio procent. Volymökningen kan leda till så stora spänningar att betongen skadas kraftigt. De kemiska angreppen kan generellt delas in i två olika typer. Den första typen är då ämnen tar sig in i betong och reagerar, exempelvis oorganiska syror som löser upp cementpastans komponenter. Den andra typen av kemiska angrepp är ämnen som löser upp betongen, exempelvis om vatten får flöda fritt genom betongen och då lösa upp kalciumhydroxid och sänker hållfastheten väsentligt. Vid armeringskorrosion har beständighetsproblemen två nedsättande effekter. Dels att korrosionsprodukterna ökar i volym vilket medför inre tryck i betongen och dels att armeringens tvärsnittsarea minskar vilket leder till ökade spänningar och nedsatt bärförmåga.

Betong påverkas även av tidsberoende faktorer i form av krympning och krypning (Al-Emrani m. fl., 2013, B45-B48,B52). Krympning av betong är en spänningsoberoende deformation som uppstår både under bindningstiden och brukstiden. Under bindningstiden sker det på grund av kemiska reaktioner vid betongens härdande. Under brukstiden sker krympning till följd av uttorkning. Fenomenet utvecklas över tid men för att underlätta beräkningar antas ett slutgiltigt värde. Den slutliga krympningen beror till största del på den relativa fuktigheten i omgivningen. Krypning är till skillnad från krympning spänningsberoende. Krypdeformationer fortsätter att öka med tiden tills det når ett slutgiltigt värde efter ca 70 år.

3.1.3 Fördelar och nackdelar

Betong möglar inte, då det är ett vattentåligt och oorganiskt material och den kan göras helt vattentät, vilket är en fördel ur ett underhållsperspektiv (Al-Emrani m. fl., 2013, s. B9-B10). Betong är bra i ett brandsäkerhetssyfte då den inte kan antändas. Dessutom tål materialet höga temperaturer och kan fortsätta verka under dessa. Betong har ett lågt energiinnehåll, både till dess vikt och till dess hållfasthet. Energiinnehåll är en parameter som tar hänsyn till framställningen och användandet av en bestämd mängd material. Betong är formbart och det går att påverka den slutliga produktens kvalité och form. Materialet är relativt lättillgängligt och billigt (Al-Emrani m. fl., 2013, s. B9-B10). Dessutom är betong oftast robust med en god stadga. Det går att utforma materialet för rätt ändamål genom att anpassa mängden armering för olika lasteffekter.

Nackdelar med betong är bland annat dess stora egenvikt, vilket gör att en del av bärförmågan går åt till att endast bära konstruktionen i sig (Al-Emrani m. fl., 2013, s. B10). Den har dessutom låg draghållfasthet som leder till sprickbildning, även om det går att motverka med förspänning. Formbyggande är en metod som är väldigt tidskrävande vilket kan medföra långa byggtider som påverkar trafiken och närmiljön. Dock går det att förebygga till viss del med bra planering och smarta lösningar. Största delen av den miljöpåverkan som betong medför kommer från cementtillverkning. Den bidrar med så mycket som ca 5 procent av världens totala koldioxidutsläpp (Greenspec, 2018).

3.2 Trä

Trä är ett av de äldsta byggnadsmaterialen som används i brokonstruktioner. Dess låga densitet gör att materialet är lättbearbetat på byggplatserna och lätt att transportera. Materialet har en relativt hög hållfasthet i förhållande till sin vikt. I dagsläget är trä det enda förnyelsebara byggnadsmaterialet på marknaden (Svenskt Trä, 2003).

3.2.1 Hållfasthet

Trä har speciella egenskaper vilka kan variera även inom samma träslag. Därför är det viktigt att känna till materialets egenskaper och sammansättning för att uppnå önskad funktion. Faktorer som påverkar egenskaperna hos trä är vilket träslag som används men också störningar likt kvistar samt det omgivande klimatet (Burstrom, 2007, s. 383-384). Hållfastheten testas på små provkroppar utan kvistar vilket gör att hållfastheten ofta är högre i teorin än i praktiken. Träets hållfasthet är starkt fuktberoende, även om det inte har lika stor inverkan på konstruktionsvirke som på rent trä (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T20). Det är framförallt tryckhållfastheten som minskar vid ökad fuktkvot.

Trä är uppbyggt av långsgående fibrer och är ett anisotropt material med olika egenskaper i olika

riktningar (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T12-T13). Trä har högst hållfasthet när det belastas parallellt fibrerna, både i tryck och i drag. Då har materialet en hållfasthet på runt 80 MPa. Om träet istället belastas vinkelrätt fibrerna har det en betydligt lägre hållfasthet. Då kan hållfastheten vara så låg som 0,5 MPa. När trä utsätts för rent drag sker brottet plötsligt och det uppstår ett så kallat sprött brott. Vid tryckbelastning sker istället stukning. Det är ett stabilitetsbrott i fibrerna som innebär att vissa av fibrerna knäcks ut och tränger in mellan varandra. Det gör att den lastupptagande förmågan sjunker.

3.2.2 Beständighet

Trä har vissa beständighetsproblem som är viktiga att känna till vid dimensionering av träkonstruktioner. Då trä är ett organiskt material kan det utsättas för nedbrytning av insekter och svampar som förstör virket (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T21). Nedbrytningsprocessen startar redan när fuktkvoten överstiger 20 procent. Ett annat beständighetsproblem är krypning vilket innebär att nedböjningen ökar med tiden (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T25-28). Krypningen beror på flertalet faktorer så som belastningens storlek, omgivningens temperatur och fuktkvot samt materialegenskaper i form av styvhet och defekter.

Trä är ett brännbart material och dess hållfasthet och elasticitetmodul minskar med stigande temperatur (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T21). Dock förkolnar trä vid brand vilket ger ett skyddande ytskikt som kan motstå brand upp emot 60 minuter.

3.2.3 Fördelar och nackdelar

Det finns många fördelar med att använda trä som byggnadsmaterial. Dels har trä stora miljöfördelar då träd binder koldioxid under tillväxten i naturen, samt att materialet inte lämnar några restprodukter som måste deponeras (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T21). Byggnadsdelar i trä går att konstruera i flera olika former genom att använda sig av limträ vilket ökar utformningsmöjligheterna (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T5). En annan fördel med trä är den ekonomiska aspekten. På grund av dess låga vikt är det lätt att prefabricera byggnadsdelar, köra ut dem till byggplatsen och därefter lyfta dem på plats (Svenskt Trä, 2003). Detta leder till att produktionstiden blir kortare och på sätt kan produktionkostnaden hållas relativt låg. Även grundläggningskostnaderna reduceras om en avancerad grundläggning kan undvikas. Träets låga densitet gör att konstruktionen får en relativt låg egenvikt vilket gör att mindre krafter behöver föras ner i grunden.

Det finns också en del nackdelar med att använda trä som måste tas i beaktning. På grund av materialets beständighetsproblem krävs skyddsåtgärder som har stor inverkan på ekonomin men även på miljön. Det krävs impregnering och träskyddsmedel för att förebygga fukt- och nedbrytningsproblem samt brandskyddsfärg för att göra materialet mer motståndskraftigt mot brand (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T20-21). Dessa medel är baserade på ämnen som påverkar miljön negativt och idag görs stora insatser för att få fram mer miljövänliga alternativ (Al-Emrani m. fl., 2013, s. T22). För att minska risken vid brand kan till exempel konstruktionsdelens dimensioner istället ökas.

3.3 Stål

Stål ett vanligt förekommande material i flera av dagens broar, främst på grund av sin höga hållfasthet i förhållande till sin vikt. Materialet består av en legering med i huvudsak järn tillsammans med vanligtvis kol och andra grundämnen (Al-Emrani m. fl., 2013, s. S9). Stålbalkar kan antingen valsas,

då de prefabriceras i olika dimensioner i fabrik, eller så kan de svetsas ihop utefter önskat tvärsnitt på byggplatsen (Al-Emrani m. fl., 2013, s. S3-S6).

3.3.1 Hållfasthet

Det finns två olika typer av stål: Varmvalsat stål och kallbearbetat stål. De har olika egenskaper till följd av tillverkningsprocessen (Al-Emrani m. fl., 2013). För varmvalsat stål gäller att när lasten ökar upp till flytgränsen fungerar materialet elastiskt och töjningen är näst intill proportionell mot spänningen (Burström, 2007, s. 317). När materialet avlastas går det tillbaka till sin ursprungliga form. Vid en viss spänning nås den så kallade flytgränsen och deformationerna ökar medan lasten förblir konstant (Al-Emrani m. fl., 2013, s. S13). Då flyter materialet och det sker en plastisk deformation. När lasten ökas ytterligare fortsätter materialet att deformeras plastiskt innan brottgränsen nås (Burström, 2007, s.317). Dessa egenskaper brukar antas lika i både tryck och drag.

Kallbearbetat stål har ett annat beteende vid belastning (Al-Emrani m. fl., 2013, s. S27). För denna typ av stål finns ingen sträckgräns eller flytområde. Istället nås resttöjningsgränsen som är den maximala spänningen som materialet kan ta upp utan kvarstående deformationer. Kallbearbetat stål har högre resttöjningsgräns och brottgräns jämfört med det varmvalsade stålets sträck- och brottgräns, men brottet blir sprött.

3.3.2 Beständighet

Även stål har vissa beständighetsproblem där korrosion är ett av de största problemen (Burström, 2007, s. 320-321). Materialet bryts ner elektrokemiskt och risken stiger med ökad fuktighet och även med ökad mängd föroreningar. Stål är starkt temperaturberoende vilket påverkar materialets volym (Al-Emrani m. fl., 2013, s. S30). Vid stigande temperatur bildas stora spänningar i stålet om det inte kan röra sig fritt. Stål är inte ett brännbart material men hållfastheten minskar väsentligt vid högre temperaturer och det erhålls en betydande krypdeformation (Burström, 2007, s. 184-185). Brottgränsen minskar ungefär till hälften när temperaturen stiger från 20 °C till 500 °C (Al-Emrani m. fl., 2013, s. S29). För att förebygga detta och för att förhindra att värmen leds vidare till andra material med lägre antändningstemperatur, kan till exempel brandskyddsfärg användas (Burström, 2007, s. 186). Den sväller upp vid brand och skyddar stålet mot en allt för snabb temperaturhöjning.

3.3.3 Fördelar och nackdelar

Stål har många fördelar som konstruktionsmaterial, framförallt på grund av sin höga hållfasthet vilket gör att smäckra konstruktioner kan utformas. Stålbalkar kan produceras i många olika tvärsnitt och de har hög standardiseringsgrad. De lämpar sig därför väl för mass- och förtillverkning (Al-Emrani m. fl., 2013, s. S1). Genom att digitalt styra utformningen av stålkomponenter är processen mycket snabb och noggrann.

Det finns även nackdelar med materialet som är viktiga att känna till. För att minska risken för beständighetsproblem krävs vissa kostsamma åtgärder som minskar stålets kostnadseffektivitet. För att förebygga korrosion är de vanligaste åtgärderna förzinkning, rostskyddsmålning och emaljering (Burström, 2007, s. 321). Det är viktigt att dessa åtgärder väljs och utförs på rätt sätt eftersom de har stor ekonomisk påverkan, framförallt med hänsyn på brons livslängd och underhållsarbete. Framställning av stål ger upphov till stora koldioxidutsläpp även om denna process genomgår en stor utveckling för att minska mängden utsläpp (Uppenberg, Ekström, Liljenroth och Al-Ayish, 2017, s. 12). Överlag anses dock stål ha goda miljöegenskaper på grund av dess goda materialeffektivitet,

återvinningsbarhet samt dess långa livslängd (Stålbyggnadsinstitutet, 2017).

3.4 Kompositmaterial

Kompositmaterial har under senare tid börjat utvecklas för att kunna användas som byggnadsmaterial vid brobyggnation. Idag finns t.ex. en gång- och cykelbro i kolfiberkomposit i Malmö (De Frumerie, 2017). Kompositen kännetecknas av mycket hög hållfasthet i förhållande till sin vikt samt god beständighet. En komposit är en framställd kombination av material som i samverkan resulterar i ett slutmaterial med bättre kvalitéer. På en mikroskopisk nivå förblir dock beståndsdelarna entydiga (Moffit, 2013). I detta avsnitt behandlas Fiber Reinforced Plastic (FRP). Fibrerna till de vanligaste förekommande byggnadsmaterialen är glasfiber, kolfiber och aramidfiber. De byggs upp av mycket tunna fibrer som läggs i en väv och hålls ihop av ett bindningsmaterial, med en mindre diameter på fibrerna nås en högre hållfasthet (Friberg och Olsson, 2014).

3.4.1 Hållfasthet

FRP-material är väldigt starka i förhållande till sin vikt och har en draghållfasthet på ca tio gånger högre än stål. Kolfiber och glasfiber har en draghållfasthet på ungefär 4000 MPa och aramidfiber har en något lägre på runt 3000 MPa. Dock är FRP-materialen något svagare i skjuvning. FRP-material kan göras väldigt styva (Friberg och Olsson, 2014).

3.4.2 Beständighet

FRP-material har mycket goda beständighetsegenskaper i förhållande till de konventionella byggnadsmaterialen. De rostar inte, utsätts inte för biologisk nedbrytning och motstår väder bra. Dock så kan fukt, frost och UV-strålning påverka beständigheten. Om fukt tränger in i materialet kan det svälla och därmed försvagas. För att hålla fukt ute så är det viktigt att ha ett tillräckligt tjockt täckande lager av plastmaterial. UV-strålning och frost orsakar båda mikrosprickor i materialet som gör att det blir känsligt mot saltinträning och fuktinträning vilket kan leda till beständighetsproblem. (Friberg och Olsson, 2014).

3.4.3 Fördelar och nackdelar

En stor fördel med materialet är dess beständighet och dess lätta vikt i förhållande till dess hållfasthet. Det leder till att konstruktioner blir lättare och kräver mindre materialanvändning vilket i sin tur leder till en mindre miljöpåverkan. Det krävs till exempel en lägre energiåtgång vid tillverkning av FRP-material än stål och aluminium. Konstruktioner med FRP-material kan göras väldigt styva vilket är positivt i brokonstruktioner (Friberg och Olsson, 2014).

Den största nackdelen med FRP-material är den höga tillverkningskostnaden, dock har den kostanden halverats de senaste 20 åren och den förväntas fortsätta sjunka. Då hållfastheten är väldigt hög i förhållande till sin vikt resulterar det i en minskad materialåtgång som till viss del kan kompensera för den höga kostnaden (Friberg och Olsson, 2014). En annan nackdel är att FRP-material inte tillhör de konventionella byggnadsmaterialen, vilket gör att kunskapsnivån gällande brokonstruktioner av FRP-material är låg.

4 Brotyper

Broar kan kategoriseras utefter dess verkningsätt. Här görs en presentation av både kategorier och brotyper för att kunna ta fram lämpliga brokoncept.

4.1 Balkverkansbro

Balkverkansbroar delas in i fem kategorier: plattbroar, balkbroar, rambroar, fackverksbroar och samverkansbroar (Trafikverket, 2014a). Gemensamt för dessa är att alla på något sätt bär genom balkverkan, som illustreras i figur 4.1. De två förstnämnda brotyperna, balkbro och plattbro, särskiljs genom definitionen av en balk eller en platta. Rambron bär genom en momentstyv ram medan fackverksbron bär genom tryckta och dragda fackverksbalkar. Samverkansbroar utnyttjar olika materials egenskaper för att optimera bärförmågan.



Figur 4.1: Balkverkan (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.

4.1.1 Plattbro

En plattbro är en typ av balkverkansbro där bronns huvudbärverk vanligen utgörs av en armerad betongplatta (Trafikverket, 2014a, s. 15). En plattbro har följande definition:

- Huvudbärverket utgörs vanligtvis av ett element med en bredd större än fem gånger höjden.
- Broplattans längsgående armering i överkant är vanligtvis jämnt fördelad i tvärled.

En fritt upplagd plattbro används ofta vid mindre spännvidder där dessa generellt uppgår till ca 25 m för slakarmerad betong och ca 35 m för spännarmerad betong (Trafikverket, 2014a, s. 16). Brotypen kan också vara kontinuerlig och då kan de inre spannens spännvidder väljas till ca 25 m, medan de yttre spannens spännvidd ofta väljs till 80 procent av de inres längd (Trafikverket, 2018, s. 52). Denna brotyp kan också utföras i trä men då utförs bron med en kortare spännvidd på ca 17 m.

Plattbron är som mest aktuell då den tillgängliga konstruktionshöjden är liten (Trafikverket, 1996, s. 45). Dock är plattbron ekonomisk ofördelaktig jämfört med balkbron vid spännvidder över 16 m – 18 m, vilket gör att balkbron idag är en vanligare brotyp.

4.1.2 Balkbro

Balkbrons huvudbärverk utgörs av balkar och är därmed en typ av balkverkansbro (Trafikverket, 2018, s. 55-57). Vanligtvis utförs konstruktionen i betong, stål eller trä. Kombinationer av betong och stål förekommer också. Utformningen är lämplig i många typer av sammanhang, och såväl kapacitet som brospann kan anpassas efter förutsättningarna. För brospann på 10 m – 25 m kan armerade betongbalkbroar användas, vid längre spännvidder används spännarmering i betongen.

Detta möjliggör spännvidder uppemot 200 m (Trafikverket, 2014a, s. 21). Vid balkbroar av stål kan spännvidder upp till ca 80 m uppnås.

För att definieras som en balkbro ska följande villkor uppfyllas (Trafikverket, 2014a, s. 20):

- Huvudbärverket utgörs av ett eller flera element med en bredd som är fem gånger höjden eller mindre.
- Den längsgående armeringen i överkant av huvudbärverket är vanligtvis koncentrerad till balkens bredd.

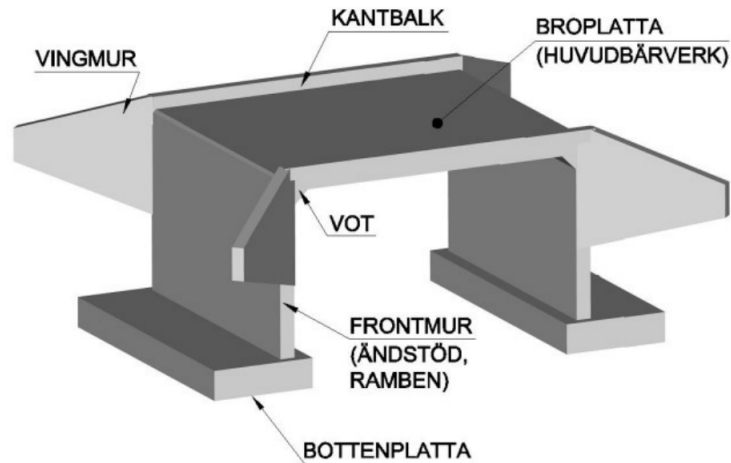
Vid utformning av balkbroar är det dock både ekonomiskt och tekniskt fördelaktigt att använda relativt höga balkar om detta är möjligt, medan ett ökat antal balkar ger relativt små fördelar sett till belastningen av bron (Trafikverket, 2018, s. 55). Ett vanligt utförande av balkbroars primärbärverk är därför två relativt höga balkar.

4.1.3 Rambro

Rambro är en balkverkansbro och utförs antingen som plattrambro eller balkrambro, där skillnaden mellan dessa två brotyper är de tidigare nämnda definitionerna av platta eller balk (Trafikverket, 2014a). Utmärkande för rambro är att övergången mellan ändstöd och balkar eller platta är momentstyv samt att armeringen är kontinuerlig runt de övre ramhörnens utsidor.

För en rambro är ändstöden direkt anslutna till något fyllningsmaterial vilket resulterar i ett jordtryck längs ändstöden (Trafikverket, 2014a, s. 28-29). Detta jordtryck ger upphov till en stabilisering av bron samt en delvis rörelseförhindring i brons längsriktning, vilket ofta kan vara en fördel jämfört med exempelvis plattbron. Rambro består också vanligtvis av vingmurar vars huvudsakliga funktion är att ta upp den vertikala nivåskillnaden mellan brokörbana och mark. Konstruktionen för en typisk rambro illustreras i figur 4.2.

Vid svåra grundläggningsförhållanden kan bottenplattorna som ansluter till ändstöden sammankopplas med stagbalkar för att minska inverkan från horisontalkrafter (Trafikverket, 2018, s. 50). För spännvidder upp till 10 m – 12 m kan bron även utföras med en hel bottenplatta, en så kallad sluten ram.



Figur 4.2: Rambro (Trafikverket, 2014a). Återgiven med tillstånd.

Plattrambro

Plattrambron är oftast slakarmerade och utförs i ett spann som kan vara upp till ca 25 m långt (Trafikverket, 2014a, s. 28). Den kan också vara spännarmerad, då kan en spännvidd på ca 35 m uppnås. Vanligtvis utförs dock inte plattrambroar för längre spännvidder, utan istället används balkbroar då dessa har ekonomiska och produktionsmässiga fördelar (Trafikverket, 2018, s. 49). Däremot är plattrambron mycket effektiv då kortare brospann på ca 20 m krävs, vilket gör att plattrambron är den vanligaste brotypen i Sverige (Trafikverket, 2014a, s. 28).

Balkrambro

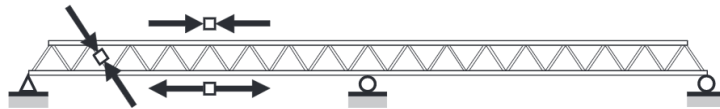
Balkrambroar kan vara antingen slakarmerade eller spännarmerade (Trafikverket, 2014a, s. 32). Brotypen är dock relativt kostsam att bygga, vilket gör att de numera sällan byggs. Slakarmerade balkrambroar med korta spännvidder byggs istället som plattrambroar, och istället för spännarmerade balkrambroar med längre spännvidder byggs balkbroar.

4.1.4 Fackverksbro

Fackverksbroar är uppbyggda av fackverksbalkar i fackverksformation där balkarna endast belastas med tryckande och dragande krafter, vilket illustreras i figur 4.3. På grund av verkningssättet med tryckt och dragen sida av fackverksbalken, ses fackverksbron som en balkverkansbro (Trafikverket, 2014a, s. 7).

Brotypen finns utförd i antingen stål eller trä, där stålbron kan ha en spännvidd upp till ca 100 m medan träbron kan ha en spännvidd upp till ca 30 m (Trafikverket, 2014a, s. 21). Idag byggs dock endast gångtrafikfackverksbroar eller tillfälliga fackverksbroar för vägtrafik på grund av brotypens höga produktionskostnader. Fackverksbroar kan även byggas för järnvägstrafik, men då inte i trä.

En annan fördel med fackverksbron är den snabbt kan lyftas på plats i ett helt brospann vilket gör uppförandeprocessen snabb och eventuell närliggande trafik störs minimalt (Trafikverket, 1996, s. 81). Detta illustreras i figur 4.4. Den fungerar därför väl som tillfällig bro över ett trafikerat stråk.



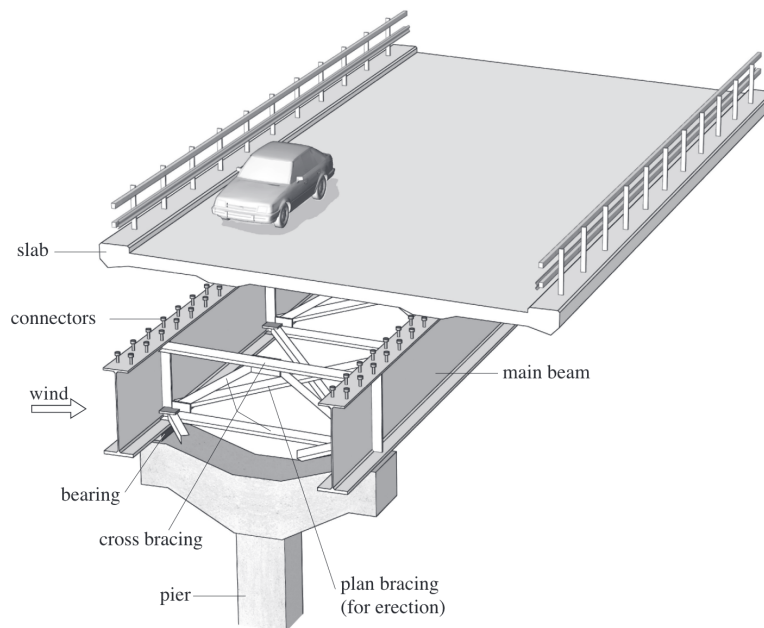
Figur 4.3: Fackverkan (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.



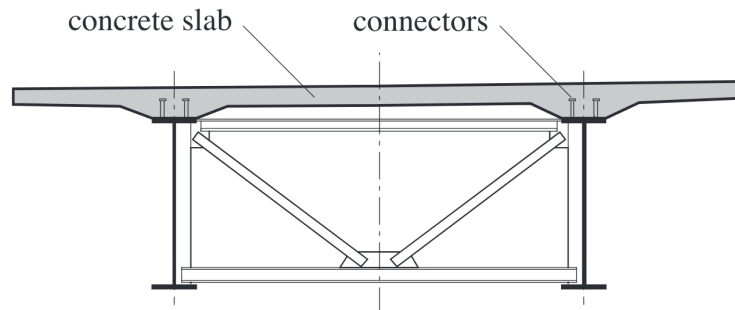
Figur 4.4: Fackverksbro i ett spann lyfts på plats (Sandberg, 2018). Återgiven med tillstånd.

4.1.5 Samverkansbro

I en samverkansbro verkar olika material tillsammans mekaniskt och strukturellt. På så sätt kan de olika materialens egenskaper utnyttjas i större utsträckning (Hirt och Lebet, 2013, s. 17-24). Konstruktionen utformas så att plattan av betong verkar i tryck medan balkarna som består av stål verkar i drag. Plattan motverkar då böjning i balkarna och vridning av bron. Svetsbultar, även kallade studs, på överflänsarna är det som förbinder plattan med balkarna och skapar samverkan. För broar där betongplattan inte samverkar med stålet verkar plattan endast genom att ta upp laster lokalt. Samverkansbroars struktur illustreras i figur 4.5 och 4.6.



Figur 4.5: Samverkansbro (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.



(a) Twin girder bridge with concrete slab

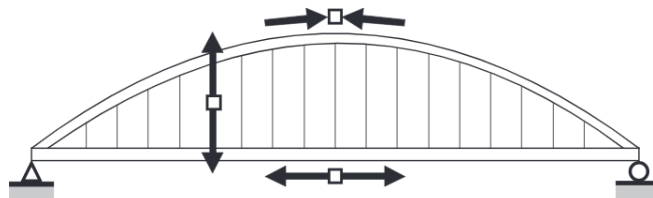
Figur 4.6: Tvärsnitt av samverkansbro (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.

Tvärsnittet för en samverkansbro kan vara öppet eller stängt. Ett öppet tvärsnitt utgörs av två eller flera huvudbalkar. Dessa huvudbalkarna måste stegas i längs- och tvärsled för att motverka vridning. Ett stängt tvärsnitt har antingen en U-formad sektion eller två balkar som sammanfogade i nederkant.

Vanligt förekommande spännvidder för samverkansbroar är 20 m – 70 m (Trafikverket, 1996, s. 57-58). Vid montering av samverkansbroar krävs vanligtvis inte någon ställning då stål balkarna lanseras från landfästena alternativt lyfts på plats, vilket är en fördel.

4.2 Bågverkansbro

Verkningssättet för en bågverkansbro innebär att konstruktionen utformas så att stora tryckkrafter skapas i den så kallade tryckbågen. Lasten förs sedan ner via en sned trycksträva direkt i stödet (Trafikverket, 2013, s. 12). Tryckkrafterna är det som bidrar till bärförmågan och skapas av jordfyllning respektive egentygnd för valv- och bågbroar, vilka är två exempel på bågverkansbroar. Verkningssättet för bågverkansbron illustreras i figur 4.7.



Figur 4.7: Bågverkan med dragband (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.

4.2.1 Valvbro

Valvet utgör huvudbärverket för en valvbro (Trafikverket, 2014a, s. 39-40). Traditionellt utfördes dessa i huggen sten vilket medför en hög produktionskostnad. För moderna valvbroar används därför armerad betong. Valvet täcks med fyllning upp till den ovanliggande vägbanken vilket skapar tryckkrafter som bidrar till bärförmåga. Valvbrons utformning illustreras i figur 4.8.

Valvbroar görs i både ett och flera spann (Trafikverket, 2014a, s. 39-40). En valvbro av sten kan byggas med en spännvidd på ca 17 m för vägtrafik, medan en valvbro av betong kan byggas med en spännvidd på ca 30 m.

Grundläggningen för en valvbro är viktig då dess verkningssätt är statiskt (Trafikverket, 2014a, s. 39-40). Vanligast för valvbroar av sten är att de är grundlagda på friktionsjord med hög hållfasthet eller på berg. För valvbroar av betong eller stål används separata bottenplattor av betong som i sin tur grundläggs med platta på mark eller med pålning.



Figur 4.8: Valvbro (Vonsky87, 2012). CC BY-SA 3.0.

4.2.2 Bågbro

Bågbroar utförs i ett eller flera spann där över- eller underliggande bågar utgör huvudbärverket (Trafikverket, 2014a, s. 41-43). Vid ett spann har bågbroar byggts med upp till ca 260 m i spännvidd, eller vid flera spann där varje spann uppgår till ca 100 m. Bågarna görs bl.a. i armerad betong, trä eller stål.

I bågarna uppkommer stora tryckkrafter på grund av bågformen och egentyngden, på samma sätt som för valvbron bidrar dessa till bärförmågan (Trafikverket, 2014a, s. 41-43). Är huvudbärverket utfört i betong kan detta vara fast inspänt eller ledat i landfästena. Leder i form av fasta lager mot landfästena används alltid då huvudbärverket består av stål eller trä (Trafikverket, 2014a, s. 41-43).

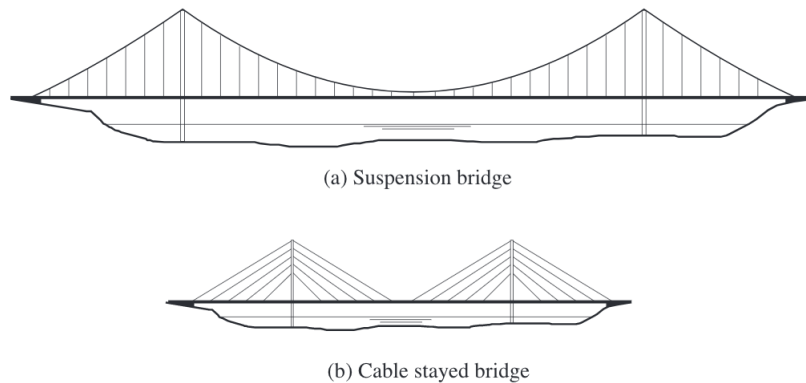
Är huvudbärverket fritt upplagt på ändstöden, och i vissa fall även på mellanstöden, krävs ett dragband mellan bågarnas respektive ändar (Trafikverket, 2014a, s. 41-43). Dragbandet kallas även huvudbalk eller avstyvningsbalk. Brobanan utgör sekundärbärverket i en bågbro och är placerat under, över eller mellan bågarna. Brobanan består ofta av tvär- och längsgående balkar med en brobaneplatta ovanpå som görs i bl.a. armerad betong, trä eller stål, alternativt en kontinuerlig platta.

För bågbroar utan dragband erhålls stora sneda tryckkrafter som ska överföras ner i grunden. Därför grundläggs bågbroar med fast inspanning i landfästena ofta direkt på berg för att minska risk för rörelse i horisontalled (Trafikverket, 2014a, s. 41-43). Grundläggningen blir inte lika avancerad då bågarna är inspända med dragförband och därmed fritt upplagda, då förs tryckkrafterna ner vertikalt i stöden.

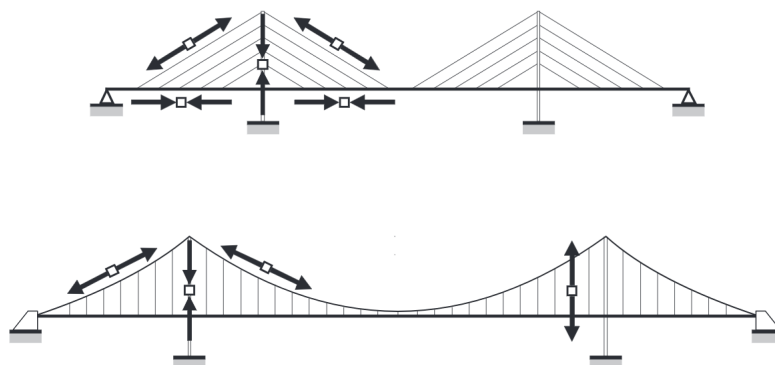
4.3 Hängverkansbro

Hängverkansbroar bär genom linverkan. Brobanan bärs upp av kablar eller linor som fästs i vertikala stöd (Trafikverket, 2014a, s. 13, 45-46). Det gör att kablarna tar upp dragkrafter som sedan förs ned till grunden i de vertikala stöden. Vid krav på stora spännvidder, på grund av bl.a. underliggande farled eller grundläggningsförhållande är hängverkansbroar fördelaktiga. På grund av dess stora

spännvidder är den dominerande lasten för hängverkansbroar ofta egentyngden. Vindlaster har även en stor påverkan på grund av de stora dimensionerna i längs- och höjddled. Utformning av brobanan blir därför viktig för att på ett effektivt sätt minska vindlastens påverkan. I hängverkansbroar ingår snedkabelbroar samt hängbroar vars utformning samt verkningssätt illustreras i figur 4.9 samt 4.10.



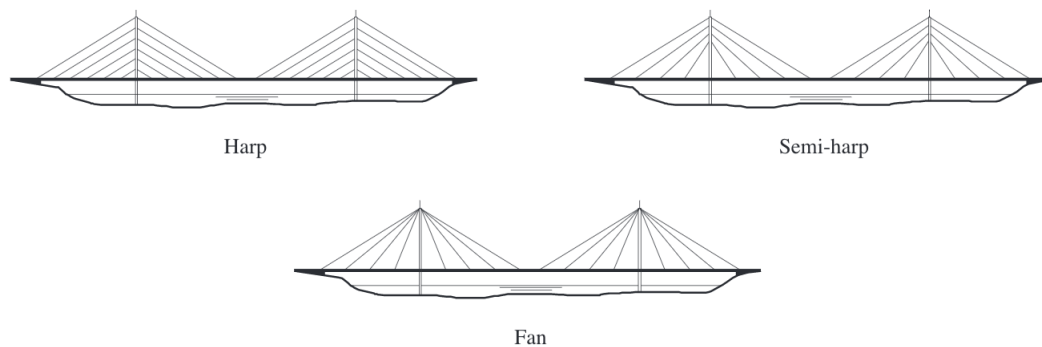
Figur 4.9: Hängbro och snedkabelbro (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.



Figur 4.10: Hängverkan (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.

4.3.1 Snedkabelbro

Pylontornen, snedkablarna och avstyvningsbalken, även kallad brobanan, utgör huvudbärverket i en snedkabelbro (Trafikverket, 2014a, s. 45). Kablarnas förankring i pylontornen som brobanan hängs upp i kan utföras på olika sätt (Trafikverket, 1996, s. 66). Exempel på detta är solfjäderform, halv-solfjäderform och harpliknande form som illustreras i figur 4.11. Solfjäderform är då alla kablarna är förankrade i toppen av pylontornen. Halv-solfjäderform då kablarna är spridda över en längre sträcka på pylontornen. Harpliknande form är då kablarna förankras jämt utspritt över pylontornen så de löper parallellt. Pylontornen blir främst belastade med stora tryckkrafter medan snedkablarna bär genom dragkrafter (Trafikverket, 2014a, s. 45). En konsekvens av denna konstruktion är att brobanan blir utsatt för tryckpåkänningar. Snedkabelbron lämpar sig främst för längre spännvidder (Hirt och Lebet, 2013, s. 78). En fördel med snedkabelbron är att den monteras utan ställning genom successiv utbyggnad från pylontornen (Trafikverket, 1996, s. 66). Dock är avstyvningsbalken det enda som stabiliserar under utbyggnad innan ihopbyggnad i mitten utav spannet görs, vilket gör den känslig för vindlaster.



Figur 4.11: Olika utförande av snedkabelbroar (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.

4.3.2 Hängbro

Pylontornen, huvudkablarna, hängarna och avstyvningsbalken, även kallad brobanan, utgör huvudbärverket i en hängbro (Trafikverket, 2014a, s. 46-47). Två huvudkablar, förankrade i hängbrons ankare, löper över pylontornen. Dessa ankare kan vara i form av tunga betongfästen, alternativt fästs kablarna direkt i berg. Huvudkabeln består av delkablar som i sin tur är uppbyggda av flera parallella trådar. Med hängare av en mindre dimension hängs brobanan upp i huvudkablarna. Pylontornen blir främst belastade med stora tryckkrafter medan huvudkablarna och hängarna bär genom dragkrafter. Hängbroar lämpar sig för längre spännvidder och har byggts med ca 1990 m spännvidd i spannet (Hirt och Lebet, 2013, s. 78). En fördel med hängbron är att den monteras utan ställning (Trafikverket, 1996, s. 67). Huvudkablarna monteras var på sektioner av brobanan hissas upp och fästs i hängarna från huvudkabeln. Hängbrons brobana är dessutom relativt stabil mot vindlaster under brons utbyggnad.

5 Produktionsmetoder

För att ta fram ett lämpligt brokoncept måste produktionsmetoden tas i beaktning. Produktionen av en bro är ofta en tidskrävande process som i hög grad påverkar omgivningen. Plats måste tas i anspråk i upprättandet av en etablering, innehållande produktionsledning, redskapsbodar, materialupplägg samt eventuella maskiner. Dessutom kräver många produktionsmetoder uppförande av temporära konstruktioner, vilket både är tidskrävande och tar plats. Det föreligger ofta krav på att produktionen ska ske med minimal påverkan på befintlig trafik. En analys av platsen och dess förutsättningar är därför viktigt för att utvärdera lämpliga produktionsmetoder. Enligt Per-Ola Svahn, teknisk chef på Skanska Sverige AB (Föreläsning produktionsmetoder, Kandidatarbete BRO 2018, Chalmers tekniska högskola, 2 februari 2018) innebär en bra produktionsmetod att den är väl anpassad till platsen, säker att genomföra och uppfyller följande punkter:

- God arbetsmiljö.
- Förutsägbar tidsåtgång.
- Få temporära konstruktioner.
- Låg kostnad.

5.1 Platsgjutning

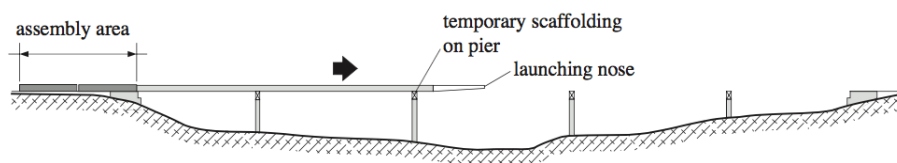
För betongbroar tillhör platsgjutning de allra vanligaste produktionsmetoderna. Förenklat innebär metoden att det byggs en form på platsen för den framtida bron, varefter armering placeras ut i formen innan betongen gjuts. Denna metod ställer höga krav på den temporära stödkonstruktion som måste byggas för att bära formen. Produktionen av bron, inklusive byggnationen av form och stödkonstruktion är således en process som är tidskrävande och tar stora ytor i anspråk. Fördelen är att hela eller stora delar av bron kan gjutas i ett stycke och att brons utformning går att anpassa. Det medför hög kvalitet och god beständighet.

5.2 Prefabricering

Prefabricering innebär att sektioner av den framtida bron förtillverkas på fabrik, innan de transporteras till byggplatsen för montage. Konstruktionsdelar av samtliga byggnadsmaterial beskrivna i kapitel 3 kan prefabriceras. Metoden kommer till sin fördel då det föreligger krav på kort produktionstid eller liten påverkan på omgivningen i samband med byggnationen. Den industriella produktionen innebär att yttre omständigheter så som väder och vind kan kontrolleras samt att mänskliga brister i utförandet kan minimeras. Således kan hög kvalitet garanteras. Nackdelarna med prefabricering är transport och montage av de ofta stora broelementen. Dessa aspekter ställer höga krav på omgivande vägnät och lyftanordning. En annan nackdel är att det blir skarvar mellan elementen, vilket kan leda till beständighetsproblem då vatten, salt och smuts samlas där.

5.3 Horisontell lansering

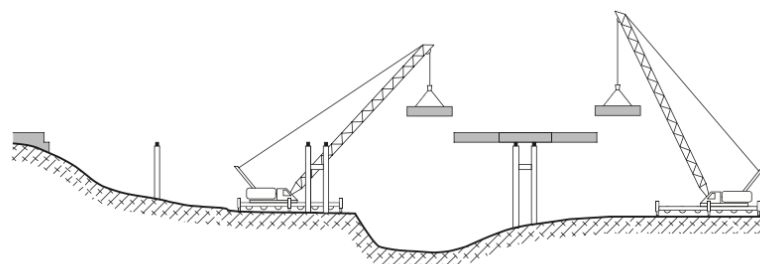
Horisontell lansering är en metod för produktion av balkverkansbroar och innebär att broelement förtillverkas vid sidan av bron innan brobanan skjuts ut över stöden. För att underlätta lanseringen appliceras en lanseringsnos längst fram på brobanan som kompenserar för brobanans nedböjning. Metoden tillämpas främst då kranar inte kan användas, som till exempel vid höga brohöjder, över vatten eller då underliggande markyta är begränsad (Hirt och Lebet, 2013, s. 137). Enligt Hirt och Lebet medför förtillverkningen av broelementen att arbetet kan ske i en säkrare och mer passande miljö vilket resulterar i både bättre arbetsmiljö och högre kvalitet. Horisontell lansering illustreras i figur 5.1.



Figur 5.1: Horisontell lansering (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.

5.4 Balanserad utbyggnad

Vid balanserad utbyggnad av en bro utgår produktionen ifrån ett eller flera mittstöd varefter broelement gjuts eller monteras symmetriskt vid varje sida. På så vis befinner sig konstruktionen i jämvikt, vilket gör att inga temporära stödkonstruktioner krävs. Precis som för horisontell lansering kommer metoden till sin fördel vid höga brohöjder, över vatten eller då underliggande markyta är begränsad (Hirt och Lebet, 2013, s. 135). Metoden lämpar sig för produktion av balkbroar såväl som hängverkansbroar. Balanserad utbyggnad illustreras i figur 5.2.



(b) Symmetrically, from either side of a pier

Figur 5.2: Balanserad utbyggnad (Hirt och Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.

6 Grundläggning och landfäste

De rådande geotekniska förutsättningarna är vad som i hög grad styr val av grundläggning. Val av brokonstruktion påverkar även då olika konstruktionslösningar ger upphov till olika stödreaktioner som ska tas upp i grundläggningen.

6.1 Platta på mark

Platta på mark innebär att det gjuts en platta på marken i läget för brostödet. Plattan ska fördela trycket från brolasten och tillämpas då marken anses ha tillräcklig bärförmåga. Det finns underkategorier till denna metod där alternativen lämpar sig för olika geotekniska förutsättningar (Vägverket, 2004).

Platta på jord

Om den befintliga marken anses ha tillräcklig bärförmåga kan metoden platta på jord användas. För platta på jord bestäms grundläggningsnivån utifrån bland annat från rådande bärförmåga och sättningnsrisk (Vägverket, 2004). Det ska även tas hänsyn till arbetsutförande och erosionsrisk. Lastresultanten ska ligga minst 0,3 m från närmsta kant på plattan. Eftersom plattan läggs direkt på jord måste den gutas på en tjälsäker nivå (Vägverket, 2004).

Platta på fyllnadslager

Om de geotekniska förutsättningarna är sådana att det finns ett lager med sämre grundläggningsmaterial ovanför bättre grundläggningsmaterial kan det vara mer ekonomiskt att ersätta det materialet mot packad sprängstens- eller grusfyllning (Trafikverket, 1996). Materialet måste packas på ett sådant sätt att bärighet garanteras och sättningar undviks (Trafikverket, 1996).

Platta på berg

Vid grundläggning av platta direkt på berg bör berget antingen vara plant eller plansprängt. Dimensionerande bärförmågan för berg är hög vilket gör att plattan kan göras relativt liten (Vägverket, 2004). Grundläggning på berg ger en styv infästning av brostöden. Till skillnad mot platta på jord behöver lastresultanten bara ligga minst 0,1 m från plattans närmsta kant (Vägverket, 2004).

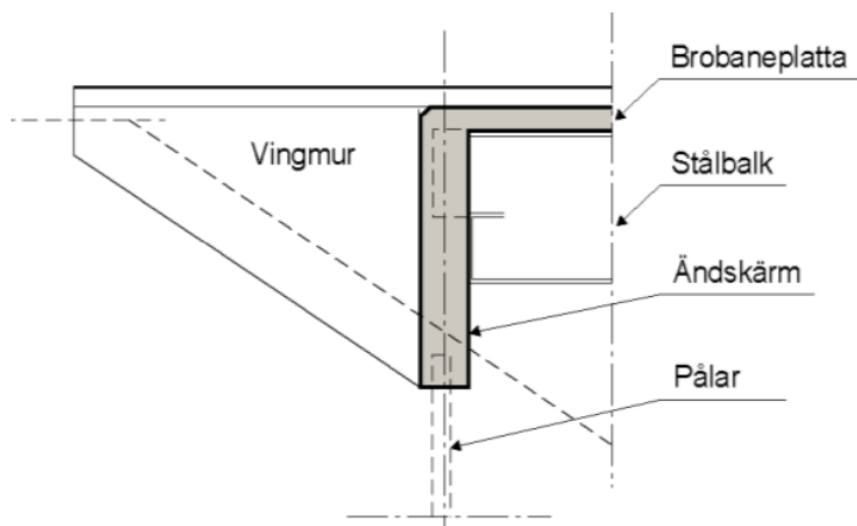
6.2 Pål

Pålgrundläggning krävs då marken inte har tillräcklig bärförmåga för att ta hand om lasterna genom platta på mark. I kohensionsjordar är slagna betongpålar att föredra, men i en blockrik miljö är nedskruvade stålpålar ett bättre alternativ (Trafikverket, 1996). Det finns två olika typer av pålar: Mantelburna och spetsburna pålar. Bärförmågan hos mantelburna pålar utgörs av mantelbärförmåga, vilket innebär att skjuvspänningar fördelas från mantelytan av pålen till den omslutande jorden. Med spetsburna pålar bärs lasten upp av att pålen drivs ner i marken till ett material med hög bärförmåga, exempelvis berg. Även den här typen av pålar får en viss mantelbärförmåga, men den försummas vid beräkningar (Mazzo, 2014).

6.3 Landfäste

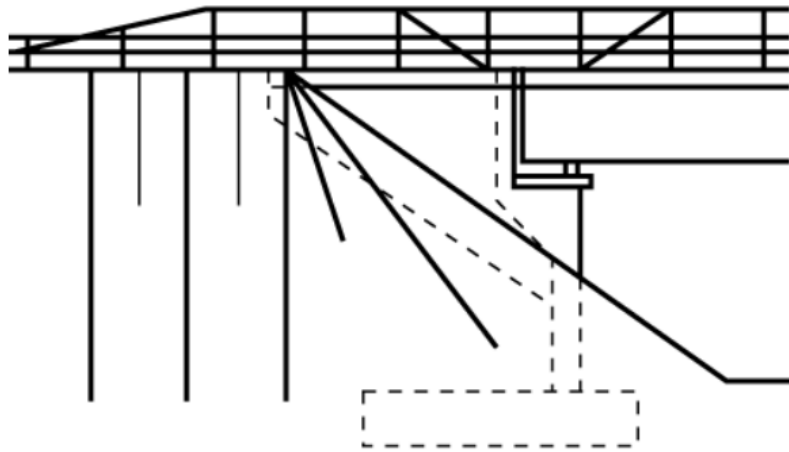
Genom upplagets utformning kan randvillkoren samt läget för brons övergångskonstruktion anpassas. Det vanligaste randvillkoret för balkverkansbroar samt bågbroar med dragband är fritt upplagd (Trafikverket, 1996). Det innebär att balken är låst i horisontal- och vertikalled i ena änden men bara i vertikalled i den andra. På så vis tillåts bron röra sig i längsled. En känslig del av ett landfäste är de lager som bron vilar på. De är som regel tillverkade i stål och därmed utsatta för korrosion (Trafikverket, 1996). Broars landfäste konstrueras i största allmänhet på två sätt, integrerat landfäste med ändskärm eller fristående landfäste. (Trafikverket, 1996).

Vid integrerat landfäste med ändskärm gjuts ändskärmen och vingmuren ihop med brokonstruktionen, som i sin tur vilar på stöd (Trafikverket, 1996). Denna typ av landfäste illustreras i figur 6.1. En ändskärm fästs i varje broände och en vingmur byggs snett ut från ändskärmens kant. Ändskärmens uppgift är att ta upp det horisontella tryckkrafterna som vägbanken orsakar och vingmuren ska ta hand om de höjdskillnader som finns vid ändstöden (Trafikverket, 1996). En fördel med det här alternativet är att en övergångskonstruktion mellan vägbanan och brobanan inte används, vilket ger god beständighet.



Figur 6.1: Integrerat landfäste med ändskärm (Trafikverket, 2018). Återgiven med tillstånd.

I det andra alternativet, fristående landfäste, är bron fritt upplagd på en frontmur. Denna typ av landfäste illustreras i figur 6.2. Frontmurens uppgift är att ta upp vertikala laster från bron samt det horisontella tryck som vägbanken orsakar (Trafikverket, 2018). Vingmuren ska ta hand om de höjdskillnader samt eventuella jordtryck uppstår vid slänten. Frontmur grundläggs och ovanför frontmuren placeras ett lager som för ner lasterna från bron (Trafikverket, 2018). Med denna konstruktion krävs en övergångskonstruktion ovanför stödet, vilket kan medföra beständighetsproblem.



Figur 6.2: Fristående landfäste (Trafikverket, 2018). Återgiven med tillstånd.

7 Inspektioner och underhåll

Eftersom broar dimensioneras för en livslängd på 80-120 år, är det naturligt att inspektioner och underhåll får stor betydelse för hur broarna utformas. Fördelaktigt är om bron kan konstrueras på ett sätt som gör att den kräver lite underhåll och att det underhåll som krävs är lätt att utföra.

7.1 Broinspektioner

Regelbundna inspektioner är viktiga för att säkerställa upprätthållandet av god funktion och säkerhet på broar. Inspektionerna syftar till att ge en tydlig bild av konstruktionens tillstånd och vid behov kunna planera nödvändiga åtgärder. De är dessutom viktiga för att förhindra att eventuella skador blir omfattande och därmed leder till höga förvaltningskostnader (Trafikverket, 2015a, s.15).

Det finns tre huvudsakliga typer av inspektioner: Översiktlig inspektion, allmän inspektion och huvudinspektion (Trafikverket, 2015a, s.15). Översiktliga inspektioner ska genomföras minst en gång om året och görs av underhållsentreprenören. Endast de element som enligt kontrakt ska underhållas av entreprenören inspekteras. Allmän inspektion är en typ av uppföljning av huvudinspektionerna och genomförs så ofta som anses nödvändigt med hänsyn till brons skick. Huvudinspektioner ska göras minst vart sjätte år. Då görs en bedömning av eventuella brister som inom en tioårsperiod kan påverka brons säkerhet eller funktion. Hittas sådana görs en plan för hur dessa ska åtgärdas. Huvudinspektionen omfattar samtliga konstruktionselement. Detta innebär att de i många fall kräver mer avancerad utrustning för att kunna genomföras. Det är också viktigt att vid design av broar ta hänsyn till att det ska gå att genomföra inspektioner av alla konstruktionsdelar.

Vid inspektion är det viktigt att alla typer av brister uppmärksammas, även de som i sig inte utgör risker för konstruktionens funktion och säkerhet. I tabell 7.1 nedan redovisas vanligt förekommande brister hos brokonstruktioner.

Tabell 7.1: Exempel från Vägverkets Broinspektionshandbok (1996) på brister hos brokonstruktioner.

Skadetyper	Orsak
Vittring	Salt, frost eller nötning från vatten
Spjälkning	Frostsprängning
Avflagnig	Miljöpåverkan, felaktigt material eller undermåligt underhåll
Korrosion	Dåligt täckande betongskikt, kloridinträngning, miljöpåverkan, kemiskt angrepp
Röta	Exponering för syre och vatten
Sprickor	Belastning, t.ex. krympning, krypning, temperaturändringar och sättningar
Spjälkning	Frostsprängning

Utöver skadetyperna som nämns i tabell 7.1 är det även vanligt förekommande att det uppkommer läckage där konstruktionen har designats för att vara tät, eller att exempelvis dräneringssystem förlorar sin genomsläpplighet. I tabellen nämns heller inte de skadetyper som orsakas av olyckor så som brott, krossning, lossade infästningar, deformationer och repor.

De olika skadetyperna drabbar olika konstruktioner och material. Betongkonstruktioner bör kontrolleras för urlakning, vittringsprickor, krossning och korrosion av armeringen. Stålkonstruktioner bör kontrolleras för korrosion, avflagning, deformationer och sprickor. Det är också extra viktigt att kontrollera skruv- och nitförband då dessa bedöms som känsliga partier (Vägverket, 1994, s. 93). Kontroller ska då utföras för att säkerställa att det inte förekommer spaltkorrosion, att inga skruvar/nitar är lösa, avskjuvade eller saknas och att ingen rörelse förekommer i förbandet. Träkonstruktioner ska kontrolleras för röta och även här är det av stor vikt att kontrollera förbanden. Generellt för alla material gäller att kantbalkar, räcken och övergångskonstruktioner är svaga punkter i konstruktionen (Vägverket, 1994).

7.2 Brounderhåll

Brounderhåll är nödvändigt för att broar ska kunna användas under hela sin livslängd. Underhåll innefattar både underhållsåtgärder och förbättringsåtgärder, där omfattningen av dessa åtgärder beror till stor del på konstruktionsval. I Sverige sker brounderhållsarbetet standardiserat enligt aktuella dokument från Trafikverket (Trafikverket, 2017).

Enligt Trafikverket delas olika konstruktioner och åtgärder in i fem grupper baserat på komplexiteten hos konstruktionen eller åtgärden. Denna gruppindelning fyller syftet att man på ett strukturerat sätt ska kunna knyta olika standarder och krav till en grupp istället för varje fall för sig, vilket underlättar tydligheten och ordningen i hur arbetet ska utföras. Grupperna benämns A, B, C, D och E, där A innehåller de mest komplexa konstruktionerna och åtgärderna, och där D och E innehåller de mest enkla (Trafikverket, 2017). Olika underhållsåtgärder särskiljs också beroende på om de är tillståndsbaserade eller förutbestämda. I tabell 7.2 nedan följer exempel på konstruktioner och åtgärder från varje grupp.

Tabell 7.2: Exempel på konstruktioner och åtgärder från varje underhållsgrupp.

Grupp A	Åtgärder på häng-, båg- och snedkabelbroar. Åtgärder på broöverbyggnad med huvudbalkar av fackverk. Åtgärder på öppningsbar bro.
Grupp B	Åtgärder på broöverbyggnad för trågbalkbro och lådbalkbro. Förbättring av konstruktion av förspänd betong. Breddning av broar som inte är utförda som platt- och plattrambroar.
Grupp C	Förbättring av bärverk av stål, trä, aluminium eller armerad betong. Förbättring av rörbro. Utbyte av lager.
Grupp D	Utbyte av kantbalk i konstruktion med ospänd armering. Ommålning av stålkonstruktioner om bärigheten påverkas av åtgärden. Reparation av stenvalvsbroar.
Grupp E	Åtgärder på skärm, vägg eller skärmtak vid järnväg. Injektering av sprickor i betongkonstruktioner.

7.2.1 Tillståndsbaserat underhåll

Tillståndsbaserat underhåll innebär att underhåll utförs förebyggande, där underhållsbehovet bestäms via t.ex. mätningar av sprickbredd i betong. Dessa underhållsåtgärder kan delas in efter konstruktionsmaterial och har då krav enligt Trafikverket (2017) som exempelvis:

- En pågjutning av betong ska ha en tjocklek på minst 10 mm.
- Före svetsning i en belastad konstruktionsdel ska det undersökas om säkerheten äventyras på grund av att hållfastheten sätts ned under svetsningen.

Denna underhållstyp är alltid aktuell och mängden underhåll går att minimera genom noggrann konstruktion och effektiv detaljutformning.

7.2.2 Förutbestämt underhåll

Förutbestämt underhåll innebär att underhållsarbetet sker förutbestämt. Typiskt detta fall är att beställaren har ett antal angivna tillfällen då byggnadsverkens krav ska vara uppfyllda.

8 Urval

För att ta fram ett slutgiltigt brokoncept som på bästa sätt är anpassat till Hössnamotet delas urvalet in i två processer. Den första urvalsprocessen ska resultera i tre brokoncept som i andra processen ska utvärderas, jämföras och poängsättas utifrån nedan nämnda utvärderingskriterier.

8.1 Utvärderingskriterier

Utvärderingskriterier har tagits fram för att kunna jämföra de framtagna brokoncepten. Dessa kriterier gör det möjligt att utvärdera koncepten inom specifika områden under hela processen. Vid val av utvärderingskriterier har intressen från beställare, produktion samt miljö och förvaltning tagits i beaktning. Däremot har inte säkerhet inkluderats i utvärderingskriterierna, detta eftersom säkerhet är ett krav som alla brokoncept måste uppfylla. Eftersom vissa koncept ändå kan ha säkerhetsfördelar, diskuteras fenomenet i löptext under 8.2 samt 8.3. Nedan presenteras de tio utvalda utvärderingskriterierna som anses aktuella för platsen vid Hössnamotet.

Konstruktionens kostnad

Vid brokonstruktion är ekonomin av stor vikt, dock har detta område inte lika stor betydelse i detta projekt då det inte kommer göras några kostnadskalkyler. En låg konstruktionskostnad anses ändå viktig, vilket avser en uppskattad kostnad för val av brotyp och material.

Anpassning till omgivningen

Vid val av den konceptuella designen kommer hänsyn tas till det befintliga landskapet för att bron ska passa bra in i omgivningen. Bron kan antingen i sig vara estetiskt tilltalande eller så smälter den in i det befintliga landskapet. Denna kategori kommer bedömas subjektivt.

Omgivningspåverkan

Hur mycket den mänskliga aktiviteten påverkas under uppförandet av bron är av stor vikt. Att stänga av och att leda om trafik genererar stora kostnader vilket gör att en låg omgivningspåverkan är önskvärd.

Produktionstid

Produktionstiden bör hållas så kort som möjligt för att minska påverkan på trafik och för att hålla nere produktionskostnaden. Denna kategori utvärderas utifrån val av produktionsmetod och brotyp som har stor inverkan på produktionstiden.

Antal stödkonstruktioner

Val av produktionsmetod och brotyp avgör mängden stödkonstruktioner som krävs. Antalet tillfälliga konstruktioner bör vara så få som möjligt för att minska produktionskostnader och produktionstid.

Arbetsmiljö

Arbetsmiljön ska hållas god för att inte utsätta platsarbetarna för risker. Möjlighet att kunna arbeta ergonomiskt har stor betydelse, samt vilken typ av material som ska hanteras. Här är det val av produktionsmetod som vägs in.

Grundläggning

Grundläggningen som krävs för brokonceptet bör vara lämplig i förhållande till rådande markförutsättningar. Här spelar geotekniska aspekter stor roll, även spännvidd och antal stöd har en inverkan på grundläggningen. Smarta val vid framtagning av koncept kan resultera i betydligt lägre grundläggningskostnader. Kostnaden uppskattas eftersom det inte görs någon kostnadskalkyl med avseende på grundläggningen.

Krav på underhåll

Under förvaltningen av bron utförs underhåll och kontroller för att säkerställa att konstruktionen fortfarande uppfyller de tidigare ställda kraven. En bro som kräver mycket underhåll under sin livstid orsakar höga kostnader. Mängden underhåll som krävs påverkas av materialval, omgivande miljö, utformning och slitage.

Möjlighet att underhålla

Hur tillgängligt det är att underhålla bron är också en viktig aspekt. Beroende på tvärsnittets utformning krävs olika mycket arbete för att kunna utföra underhållsarbetet. När arbetet blir svårare ökar underhållskostnaderna och det är därför viktigt att planera för att göra arbetet så enkelt som möjligt vid utformningen.

Miljöpåverkan från material

Materialvalet har betydelse för brons miljöpåverkan som bör hållas så låg som möjligt. Här tas hänsyn till materialproduktionen samt återvinningsbarheten hos materialet.

8.1.1 Viktning av utvärderingskriterier

Utifrån rådande förutsättningar för Hössnamotet viktas de olika kriterierna mot varandra. Kriterierna samt viktningen presenteras i figur 8.1. Varje kriterium viktas mot resterande kriterier, anses det viktigare markeras det med + och anses det mindre viktigt markeras det med -. Anses två kriterium lika viktiga markeras de med 0. Ett kriterium kan inte viktas mot sig själv och lämnas då blankt. - ger 1 poäng, 0 ger 2 poäng och + ger 3 poäng. Poängen summeras och det kriterium med flest poäng rankas högst. Denna viktning används sedan i urvalsprocess II för att kunna ta fram ett slutgiltigt koncept.

kriterier	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Σ	ranking	viktning
1. Konstruktionens kostnad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	10	5%
2. Anpassning till omgivningen	+		+	+	+	-	0	-	0	-	19	4	11%
3. Omgivningspåverkan	+	-		-	0	-	-	-	-	0	13	8	7%
4. Produktionstid	+	-	+		+	0	+	-	0	-	19	4	11%
5. Antal stödkonstruktioner	+	-	0	-		-	-	-	-	-	12	9	7%
6. Arbetsmiljö	+	+	+	0	+		+	-	0	-	21	3	12%
7. Grundläggning	+	0	+	-	+	-		-	+	-	18	6	10%
8. Krav på underhåll	+	+	+	+	+	+	+		+	+	27	1	15%
9. Möjlighet att underhålla	+	0	+	0	+	0	-	-		-	18	6	10%
10. Miljöpåverkan från material	+	+	0	+	+	+	+	-	+		24	2	13%
											180		100%

Figur 8.1: Viktning av utvärderingskriterier. Författarens egen figur.

8.2 Urvalsprocess I

Först görs en grov uppdelning av potentiella brokoncept utifrån spännvidd och brotyp. De brotyper som inte anses vara aktuella för Hössnamotet är fackverksbro, hängbro, snedkabelbro och valvbro. Fackverksbroar byggs idag inte permanent för vägtrafik på grund av dess höga kostnad. Häng- och snedkabelbroar lämpar sig främst för större spännvidder medan valvbroar inte klarar de spännvidder som erfordras. I figur 8.2 presenteras kombinationer av spännvidder och brotyper för Hössnamotet. De kombinationer som ej anses vara genomförbara utifrån rådande krav och förutsättningar är rödmarkerade medan de gul- och grönmarkerade är potentiella koncept. Vidare diskuteras i följande stycken varför de grönmarkerade koncepten anses mer lämpliga än de gulmarkerade.

	samverkansbro	balkbro	plattbro	rambro	bågbro körbana under	körbana i mitten
1 spann						
2 spann						
3 spann						

Figur 8.2: Alternativa brokoncept. Författarens egen figur.

8.2.1 Gemensamma faktorer

För samtliga brokoncept i detta fall finns det ett par gemensamma faktorer så som grundläggningsförhållanden och materialval.

Grundläggningsförhållanden

Oavsett brokoncept kommer grundläggningsförhållandena vara samma. På grund av områdets blockiga morän innefattar en pällösning troligen skruvade stålplåtar, vilket är dyrt. Förutsatt att bärigheten i moränen är tillräckligt hög bör platta på mark därför användas. Moränens bärighet är inte angiven vilket gör detta till en osäker parameter. Är moränens bärighet låg blir konsekvensen att relativt stora plattor erfordras, alternativt att pålning krävs.

Materialval

För de olika brotyperna har endast trä, stål och betong utvärderats. Kompositmaterial utesluts då kompositmaterial i dagsläget inte kan konkurrera med de konventionella byggnadsmaterialen när det kommer till överbyggnad av motorväg för biltrafik. Det beror främst på kompositmaterialens höga kostnad men det beror också på att dess goda hållfasthetsegenskaper har större betydelse för mer spektakulära broar.

8.2.2 Balkbro

Balkbron är en relativt vanlig lösning för att överbygga motorvägar. De kan utföras på en mängd olika sätt, med variationer på exempelvis material, balktvärsnitt och stödplacering. Om bron byggs i armerad betong kan denna antingen platsgjutas eller prefabriceras, där platsgjutningen har fördelar i form av att skarvar i konstruktionen kan undvikas, medan prefabriceringen framför allt ger fördelar i form av kortare byggtid. Då bron vid Hössnamotet inte byggs över befintlig väg är det rimligt att prioritera goda beständighetsegenskaper före kort byggtid. Stålbalkar är ett annat möjligt materialval. När stålbalkar används i kombination med betongplatta utnyttjas dock med fördel samverkan mellan

materialen, vilket i detta fall skulle göra att bron kategoriseras som en samverkansbro. I spann upp till 25 m är det möjligt att utföra bron med endast slakarmering.

Vid alternativet att utföra bron i ett spann väljs lämpligen någon form av spännarmerat lådtvårsnitt. Nackdelar med denna lösning är att konstruktionshöjden blir hög och dessutom är det betydligt kostsammare än att lägga upp bron på mellanstöd. Då lasterna från bron förs ner i endast två stöd ställs högre krav på brostödens grundläggning. Ett argument för att ändå välja detta brokoncept är dess estetiska fördelar. En bro i ett spann ger en öppen känsla, och ett slutet tvärsnitt i form av en lådbalk upplevs mer harmoniskt än ett öppet tvärsnitt.

Vid användning av mellanstöd kan dessa placeras antingen vid sidan av vägbanorna eller mellan dem. Båda alternativen är välbeprövade och kostnadseffektiva koncept med god beständighet, de kräver lite underhåll och är relativt lätta att utföra. En bro med stöd vid sidan av vägbanorna skapar ett mer öppet intryck än om ett stöd placeras mitt under bron. Bortsett från detta och utifrån det material som läggs fram i denna rapport, är de två koncepten likvärdiga.

Det finns två aktuella landfästen för balkbron: fristående landfäste eller integrerat landfäste med ändskärm. Då balkbron i betong platsgjuts är det fördelaktigt att välja integrerat landfäste med ändskärm för att undvika övergångskonstruktioner, något som fås med fristående landfäste. Däremot är fristående landfäste en konstruktionsmässigt enklare lösning som lämpar sig för balkbroar i andra material.

8.2.3 Plattbro

Plattbrons egenskaper liknar till stor del balkbrons. De mest avgörande skillnaderna är att plattbron har en högre egenvikt sett till sin kapacitet och längd, samt att dess konstruktionshöjd är lägre. Eftersom platsen ställer högre krav på brons spännvidd än dess konstruktionshöjd lämpar sig en balkbro bättre än en plattbro.

8.2.4 Rambro

Rambroar är som mest effektiva i spann upp till 20 m. För lägre spännvidder krävs spännarmering eller högre tvärsnitt. Produktionsmetoden är platsgjutning vilket resulterar i ett behov av temporära stödkonstruktioner och förhållandevis lång produktionstid. Då underliggande väg inte är trafikerad under byggskedet är detta ej något större problem. En möjlig brolösning för Hössnamotet är att bygga en rambro i två spann, vilket skulle resultera i en spännvidd på något under 20 m. Problemet med denna lösning är att kantstöden och mittstödet hamnar nära körbanan och skulle kunna utgöra en säkerhetsrisk. Dessutom är den totala brolängden vid Hössnamoten bestämd till 60 m vilket gör rambron till en ineffektiv lösning. Därför är liknande alternativ, så som en balkbro mer passande för ändamålet.

8.2.5 Samverkansbro

Samverkansbroar har vanligtvis en spännvidd på 20 m – 70 m vilket gör denna brotyp passande för överbyggningen vid Hössnamotet. En samverkansbro i ett spann skulle få ett relativt högt tvärsnitt vilket kan bli problem då den underliggande körbanan har 4,7 m som krav på fri höjd. En annan möjlighet är att placera två mellanstöd vid sidan av motorvägen vilket resulterar i tre spann. Dock anses denna lösning ineffektiv i förhållande till brons kapacitet. Därför anses en samverkansbro i två spann mest lämplig.

Ett lådtvärnsnitt blir lättare att underhålla gentemot ett öppet tvärsnitt då lådtvärnsnittet har färre detaljer och ett slutet tvärsnitt. Det krävs även mindre material och arbete då balkarna inte behöver stagas. För att undvika detaljer och skarvar bör överliggande körbana platsgjutas. På så sätt kan beständigheten ökas. Då balkarna är prefabricerade krävs inga stödkonstruktioner vilket leder till kort produktionstid. På grund av produktionsmetoden samt brons utformning bör ändupplagen vara av typen fristående landfästen, även om detta kräver en övergångskonstruktion.

8.2.6 Bågbro

En bågbro med körbana under bågarna är möjlig i både ett och två spann, där ett spann anses vara mer estetiskt. I denna lösning kan körbanan verka som dragband. En bågbro med körbana placerad i mitten av bågarna är endast genomförbar i ett spann på grund av krav på fri höjd under bron. En bågbro med dragband är fördelaktigt med hänsyn till grundläggning då inga horisontella tryckkrafter erhålls. I detta fall är fristående landfästen det bäst lämpade ändstödet. I övriga fall blir grundläggningen mer komplex då horisontella och vertikala reaktionskrafter ska tas upp.

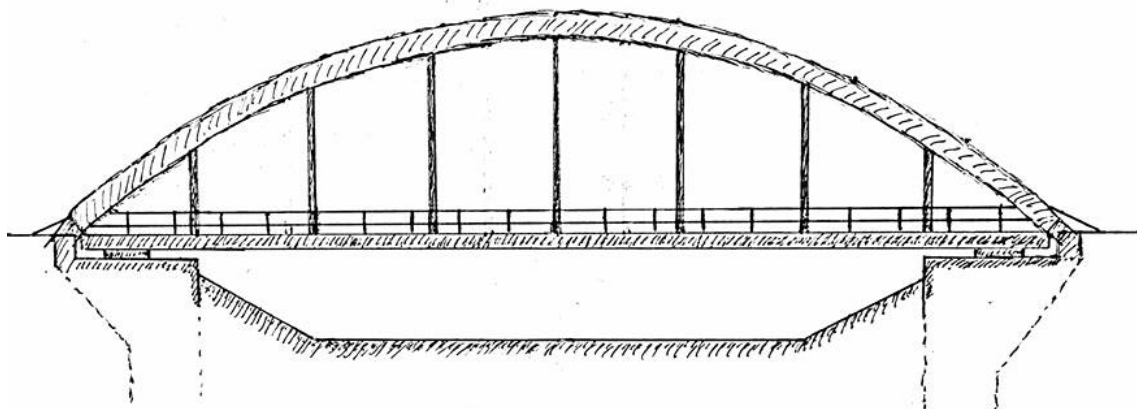
Bågbron kan utföras i stål, trä och armerad betong. Stål är ett dyrt material som kräver mycket underhåll, särskilt för en bågbro med många detaljer. En fördel med stål är att det till hög grad kan återvinnas och återanvändas. Trä är ett miljövänligt och billigt alternativ där en lätt konstruktion erhålls. Däremot anses spännvidden i detta fall för stor för att trä ska vara aktuellt. Fördelar med bågar i stål och trä är att de kan förtillverkas och monteras på plats med kran. En bågbro av betong kräver flera tillfälliga stödkonstruktioner på grund av platsgjutning. Av estetiska skäl är bågbron ett bra alternativ.

8.3 Presentation av konceptalternativ

Efter utvärdering av ovan beskrivna brotyper har tre brokoncept valts och presenteras nedan. En enkel riskanalys av varje koncept har även gjorts för att ta hänsyn till eventuella kritiska händelser som kan uppkomma under processen från projektering till förvaltning.

8.3.1 Bågbro av stål med dragband

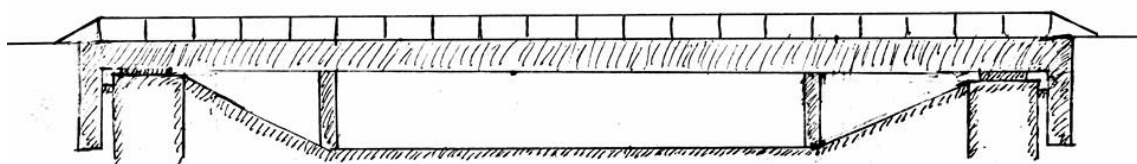
För att effektivt överbrygga väg 40 i ett spann en bågbro av stål ett alternativ. Bågbron är estetiskt tilltalande och ger god trafiksäkerhet då inga mittstöd används. Valt koncept för bågbron är av typen dubbelbåge av stålbalkar, uppspända med dragband. För att effektivt utnyttja dragbanden och garantera fri höjd på 4,7 m över väg 40 läggs körbanan i bågens underkant. Total spännvid bestäms till ca 60 m. Horisontell stabilitet uppnås genom stagning av bågarna i överkant. Vald grundläggning är skruvade stålplåtar och ändstöden utformas som fristående landfästen. Vid produktion av bågbron sker monteringen av bågen på hög höjd, vilket medför risktagande i utförandet. Konceptet illustreras i figur 8.3.



Figur 8.3: Bågbro av stål med dragband. Författarens egen figur.

8.3.2 Balkbro av betong i tre spann

Balkbro av betong i tre spann är ett beprövat och effektivt koncept för ändamålet. Bron utformas med T-tvärsnitt i slakarmerad betong där det längsta spannet är ca 30 m. Bron har två stöd, ett på var sida om väg 40. Detta för att passagen under bron ska kännas mer öppen och säker jämfört med en bro med mittstöd. Bron grundläggs med skruvade stålplålar. Vid ändstöden ska integrerade landfästen med ändskärm användas för att undvika beständighetsproblem som medföljer en övergångskonstruktion. Detta kräver dock platsgjutning, vilket medför risker i form av sämre arbetsmiljö jämfört med prefabricering. Konceptet illustreras i figur 8.4.

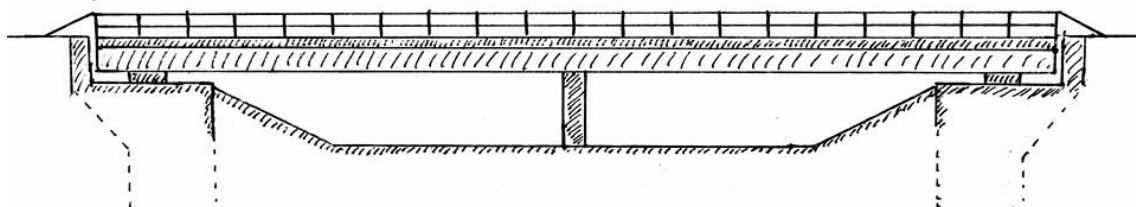


Figur 8.4: Balkbro av betong i tre spann. Författarens egen figur.

8.3.3 Samverkansbro i två spann

Konceptet är en samverkansbro i två spann med mittstöd där spannvidden kommer att vara ca 30 m. Huvudbärverket för balken är ett stängt lådtvärsnitt i stål för att minimera risken för korrosion. Broplattan är gjord av betong med längs- och tvärgående armering. Stålelementen prefabriceras och lyfts på plats, därefter platsgjuts brobanan. Grundläggningen för bron sker med skruvade stålplålar och landfästena vid broändarna är av typen fristående landfäste. Mittstödet kan dock utsättas för olyckslast i form av påkörning. Ett mittstöd kan också medföra en något ökad säkerhetsrisk för

trafikanter på väg 40. Konceptet illustreras i figur 8.5.



Figur 8.5: Samverkansbro i två spann. Författarens egen figur.

8.4 Urvalsprocess II

I denna process utvärderas och jämförs de tre framtagna brokoncepten utifrån viktningen av utvärderingskriterierna (se 8.1). För att urskilja hur väl brokoncepten uppfyller varje enskilt kriterium betygsätts de med en poängskala 1-5, där 5 är högst och 1 är lägst. Det sammanställda resultatet är inte bestämmande i sig utan ska fungera som en riktlinje i följande diskussion. Tabell 8.6 visar hur brokoncepten har betygsatts.

kriterier	Bågbro i stål viktning			Balkbro i betong viktning			Samverkansbro viktning		
1. Konstruktionens kostnad	1	5%	0,05	5	5%	0,25	3	5%	0,15
2. Anpassning till omgivningen	4	11%	0,44	3	11%	0,33	3	11%	0,33
3. Omgivningspåverkan	4	7%	0,28	1	7%	0,07	4	7%	0,28
4. Produktionstid	3	11%	0,33	2	11%	0,22	5	11%	0,55
5. Antal stödkonstruktioner	5	7%	0,35	2	7%	0,14	5	7%	0,35
6. Arbetsmiljö	2	12%	0,24	1	12%	0,12	4	12%	0,48
7. Grundläggning	2	10%	0,20	5	10%	0,5	4	10%	0,40
8. Krav på underhåll	1	15%	0,15	5	15%	0,75	3	15%	0,45
9. Möjlighet att underhålla	1	10%	0,10	5	10%	0,5	3	10%	0,30
10. Miljöpåverkan från material	1	13%	0,13	2	13%	0,26	1	13%	0,13
	Σ 2,27			3,14			3,42		

Figur 8.6: Resultat av poängsättning på brokoncepten med viktade utvärderingskriterier. Författarens egen figur.

Som resultatet visar har bågbroen lägst poäng. Det beror framförallt på att bågbroen har många detaljer som kräver mycket underhåll. Dessutom är den dyr att producera. Det som talar för bågbroen är den estetiska aspekten samt att den är trafiksäker då den byggs i ett spann. Fördelarna anses inte väga upp för konceptets svagare sidor vilket gör att brokoncept inte väljs.

Samverkansbron och balkbron har liknande resultat, därför jämförs de mer ingående. Ur en ekonomisk aspekt är balkbron billigare att producera än samverkansbron, främst på grund av att balkbron kan platsgutas och enklare anpassas till platsen. Dessutom är balkbron fördelaktig ur underhållssynpunkt

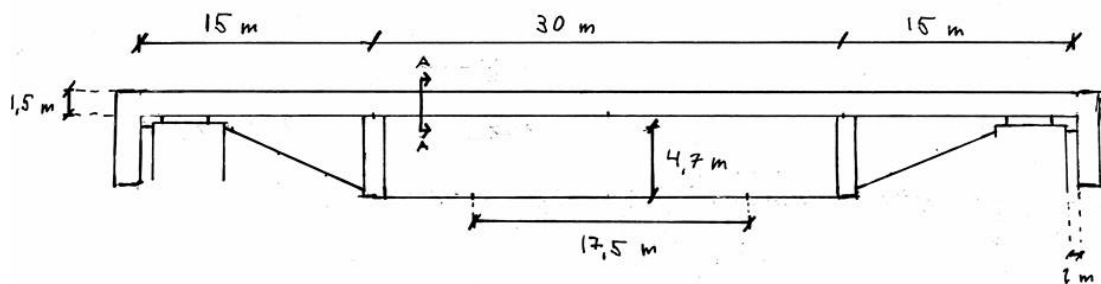
då samverkansbron kräver övergångskonstruktion vid upplag och underhållsarbete med stålet. Det som talar för samverkansbron är att den är mer estetiskt tilltalande. Eftersom stålelementen prefabriceras föreligger inga krav på stödkonstruktioner, vilket hade varit av större vikt om bron byggts över en trafikerad väg.

Som tidigare nämnt, så är viktningen av utvärderingskriterierna en grov modell med relativt stor felmarginal. Därför finns det anledning att diskutera brokonceptens för- och nackdelar för att sedan välja det brokoncept som har störst fördelar i de avseenden som är relevanta vid Hössnamotet. Utöver detta beaktas att mycket liten vikt läggs vid den ekonomiska aspekten i utvärderingskriterierna, varför ekonomin anses kunna användas för att urskilja koncepten ytterligare.

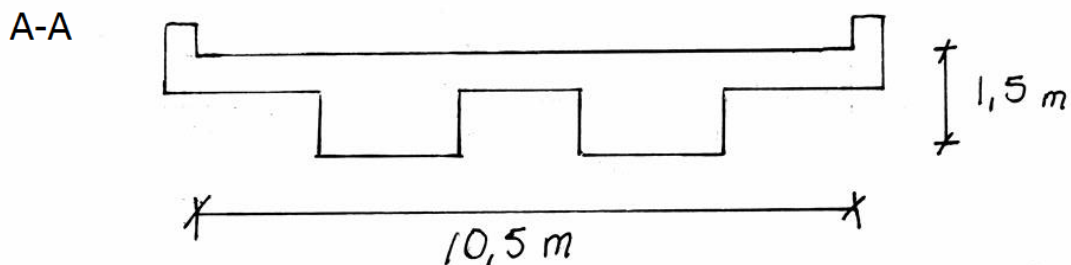
Samverkansbron får något högre resultat än balkbron i betong. En del av anledningen till samverkansbrons höga poäng är att den har kort produktionstid och få stödkonstruktioner, detta tillhör samtidigt balkbrons största nackdelar. Hänsyn bör tas till att den aktuella platsen ställer låga krav på dessa två egenskaper. Detta tillsammans med balkbrons ekonomiska fördelar, resulterar i att balkbron anses vara bäst lämpad för Hössnamotet.

9 Valt brokoncept

Det valda brokonceptet som ska preliminärdimensioneras i Del II av rapporten är en balkbro av betong i tre spann med dubbelt T-tvärsnitt. Brokonceptet har landfästen bestående av en ändskärm, som är sammangjuten med brobanan, samt vingmurar. Preliminära dimensioner för bron illustreras i figur 9.1 och 9.2. Vidare följer en beskrivning av det valda brokonceptet.



Figur 9.1: Schematisk figur av brokonceptet. Författarens egen figur.



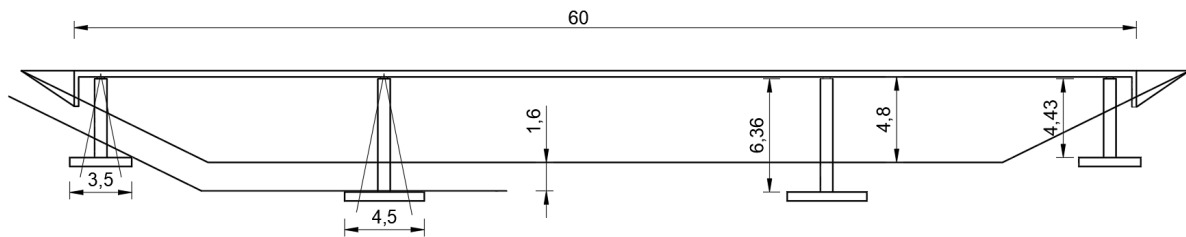
Figur 9.2: Sektion A-A. Schematisk figur av brokonceptets tvärsnitt. Författarens egen figur.

9.1 Grundläggning

Grundläggningen av bron kommer att göras med spetsburna stålplåtar som skruvas ned till berg. Det är möjligt att all eller viss grundläggning kan göras med platta på mark, men för att säkerställa att konceptet är genomförbart väljs pålning som grundläggningsmetod. Plåtar ansluter till en bottenplatta där pelarna fästs. De pelarpar som befinner sig på samma ställe i bron längsled delar bottenplatta. Bottenplattan anläggs på minst tjälfrött djup, vilket är 1,6 m enligt *TK Geo 13*, tabell 6.3-1, givet att bron befinner sig i klimatzon 2 och det värsta fallet antas då det inte finns någon information om vilken tjälfarlighetsklass undergrunden har.

Enligt Staffan Lindén (gruppchef brokonstruktion COWI, personlig kommunikation, 26 april 2018) ska de yttersta plåtarna på bottenplattan anläggas med en lutning på ca 1:5 (se figur 9.3). En effektiv

placering av pålarna uppnås genom att en linje med samma lutning som pålarna dras från brobanan ned till bottenplattan. De yttre pålarna bör då fästas där linjen korsar underkanten av bottenplattan (se figur 9.3). Pålarna bör också fästas minst en meter från bottenplattans kant, vilket ger plattornas dimensioner i brons längsled. Bottenplattans dimensioner i brons tvärled fås av pelarnas avstånd till varandra. Bottenplattans kant ska vara minst 0,3 m från kanten av pelarna. Således blir plattornas dimensioner ca 3,5 m × 7,5 m vid ändstöden och 4,5 m × 7,5 m vid mittstöden. Alla plattor antas vara 0,5 m höga.



Figur 9.3: Utformning av bottenplattor. Författarens egen figur.

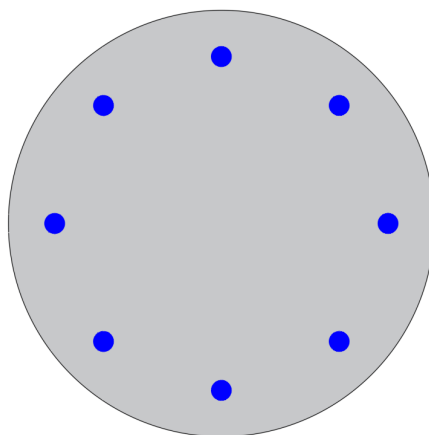
9.2 Underbyggnad

Underbyggnaden innefattar element som befinner sig över grundläggningen men under överbyggnaden. För brokonceptet innefattar detta pelare, ändskärm och vingmur.

9.2.1 Pelare

Bron kommer att utföras med cirkulära pelare som mittstöd och skivpelare som ändstöd. I underkant är pelarna sammangjutna med bottenplattan, vilket medför en styv koppling. I överkant av pelarna är lager monterade. Dessa kopplar ihop pelare och överbyggnad och syftar till att överföra last mellan dessa. Eftersom pelarna har olika typer av lager (se avsnitt 9.3.4) varierar också randvillkoren i överkant.

Pelarna behöver främst ta upp laster från egenvikt, trafik och vind. Även olyckslast i form av påkörning kan bli aktuellt. Vid dimensionering av pelarna kan lasteffekt från egenvikten och trafiklasten erhållas ur beräkningar i bilaga D och G. Resultaten kan tillsammans med randvillkoren för pelarna användas för att ta fram dimensionerande krafter från överbyggnaden. Utöver detta behöver vindlasten beaktas. Denna verkar främst på överbyggnadens långsida samt trafik på bron. Vindlastens storlek per kvadratmeter beräknas varpå denna placeras ut på alla ytor som påverkas av vindlast. För att erhålla en kraftresultant på överbyggnaden multipliceras vindlasten med arean av överbyggnadens långsida. Den aktuella brons kraftresultant, $F_{w,x}$, beräknades till 185,68 kN (se bilaga O) enligt (SS-EN 1991-1-4). Då inte alla lager tar upp krafter i vindlastens primära riktning kommer vissa pelare påverkas betydligt mer än andra av vindlasten. För att tåla påtvingade dragspänningar till följd av bl.a. vindlasten armeras tvärsnittet. I figur 9.4 visas en konceptuell bild över design av en cirkulär pelares tvärsnitt.



Figur 9.4: Konceptuell utformning av cirkulär pelare. Författarens egen figur.

9.2.2 Ändskärm

Ändskärmen ska utgöra en övergång mellan brobanan och vägbanken. Utifrån geometrier av föreskriven släntlutning väljs ändskärmens höjd till 2 m. Ändskärmen dimensioneras för det jordtyck som vägbanken ger upphov till. För att undvika skarvar gjuts ändskärmen samman med brobanan i ett stycke. Vingmurar appliceras på ändskärmen för att stabilisera närliggande jord.

9.2.3 Vingmur

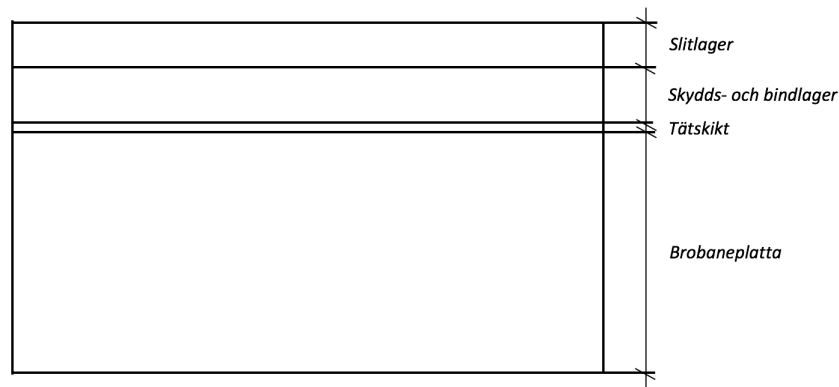
Vinkeln på vingmurarna från ändskärmen är vald till 90° . Beslutet togs i samråd med en brospecialist på Trafikverket, Karin Mehlberg (personlig kommunikation, 6 maj 2018). Främsta anledningen till beslutet var brons gestaltning, då kombinationen med vingmur och ändskärm vanligtvis utförs med 90° vinkel av estetiska skäl.

9.3 Detaljutformning

Här presenteras utformningen av detaljer så som beläggning, kantbalkar, räcken, lager samt vattenavledning.

9.3.1 Beläggning

Beläggning på bron är vald enligt Teknisk beskrivning (se bilaga A). Beläggningen på vägbanan består av en 10 mm tjock tätskiktsmatta på MMA-primer, ett kombinerat skydds- och bindlager på 50 mm samt ett permanent slitlager på 40 mm. Beläggningen illustreras i figur 9.5.



Figur 9.5: Illustration av beläggning på brobaneplatta. Författarens egen figur.

På gång- och cykelbana krävs enligt Teknisk beskrivning en tjockare beläggning. För mer utförlig beskrivning av denna, se bilaga A.

9.3.2 Kantbalkar

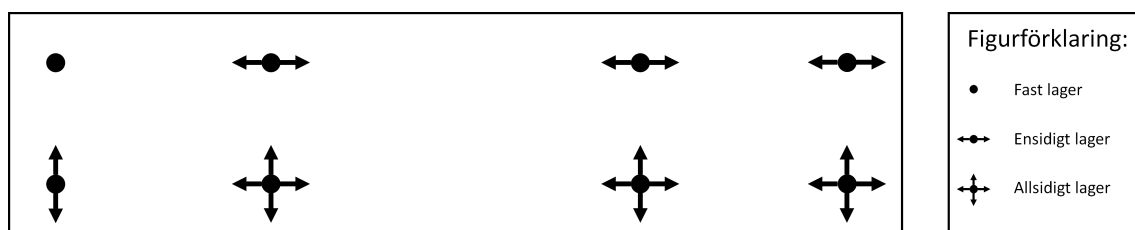
Kantbalkens bredd är enligt Teknisk beskrivning 500 mm (se bilaga A), och höjden är satt till 600 mm. Erforderlig höjd på kantbalken beräknades genom angivelser från Krav Brobyggande (TDOK 2016:0204, B.1.11.2). Enligt detta stycke måste en brobana över trafikerad väg ha kantbalkar som är upphöjda minst 80 mm över beläggningen på bron. Detta ger en erforderlig höjd på 580 mm. Vidare dimensionering av kantbalkarna ska göras enligt förslagsritningen (se bilaga B).

9.3.3 Räckten

Räckena utformas enligt Teknisk beskrivning (se bilaga A). De dimensioneras efter rådande trafiksituation och ska säkerställa en god säkerhet. Räckesständerna monteras på kantbalkarna med skruv, det är viktigt att räckesskruvarna inte kommer i kontakt med armeringen i kantbalken.

9.3.4 Lager

Krafterna från överbyggnaden förs ner i brostöden via lager. För att bron ska vara tillräckligt väl förankrad samtidigt som tvångskrafter i konstruktionen undviks i så stor utsträckning som möjligt har lösningen som visas i figur 9.6 valts.



Figur 9.6: Bild ovanifrån som visar olika lagertyper vid respektive stöd. Författarens egen figur.

Lagrena dimensioneras för de stödkrafter de utsätts för. De vertikala stödkrafter lagren bör dimensioneras för redovisas i bilaga G. Endast lager som tar upp horisontella krafter behöver dimensioneras

för dessa. I övrigt utförs lagren enligt *SS-EN 1337*. För beräkningarna i Del II av rapporten har de uppskattade dimensionerna 400 mm × 400 mm använts på samtliga lager.

9.3.5 Vattenavledning

För att garantera brons funktion och beständighet är det viktigt att vattnet på bron leds bort och tas om hand på ett kontrollerat sätt. Enligt Teknisk beskrivning (se bilaga A) kommer två ytavlopp att placeras ut på bron. De kommer att vara placerade intill gång- och cykelvägen samt intill kantbalken. Vägens bombering och längslutning får dagvattnet att rinna ner i ytavloppen och vidare ut till dagvattenbrunnar som bör placeras utanför vägrenen på väg 40.

9.4 Produktionsplan

Broproduktion är ett riskfyllt arbete och det är därför viktigt att ha en tydlig produktionsplan för att uppförandet av det valda brokonceptet ska ske på ett säkert sätt. Produktionsplanen innefattar tillvägagångssätt för varje del av produktionen samt vilka risker som finns vid de olika momenten.

Först upprättas en etablering i anslutning till Hössnamotet för att ge grundläggande förutsättning till produktionen. För att upprätthålla god tillgänglighet och för att minimalt påverka trafiken på riksväg 40 upprättas etableringen söder om riksvägen. Etableringen ska bestå av bl.a. infrastruktur, materialupplag samt arbetsbodar.

När etableringen är uppförd startar markarbetet som består av schaktning samt markförstärkning. Först schaktas mulljorden samt merparten av den sandiga silten, därefter förstärks marken med utfyllningsmassor. Vid läge för brostöden schaktas det ner till tjälsäker nivå och pålar drivs ner.

Efter att markarbetet genomförts påbörjas upprättningen av stödkonstruktioner som inleds med att gjuta en bottenplatta i betong. På schaktbotten, i läge för brostöden, byggs en armerad form innan gjutning av bottenplattan påbörjas. När betongen härdat tillverkas pelarna på liknande sätt, genom formbyggnation, armering och slutligen gjutning av betong. När arbetet med pelarna är klart och betongen hunnit härda monteras lager och därefter blir nästa steg att gjuta brobanan samt ändskärmarna. Först tillverkas den temporära stödkonstruktion som ska bära gjutformen under gjutningen. Detta arbete är omfattande och utgör ett kritiskt moment då flera olyckor inträffat p.g.a. att stödkonstruktionen gett vika vid gjutning av betongen. För att förebygga detta är det viktigt att byggnationen av stödkonstruktionen inte förhastas så att gjutningen därefter kan ske på ett säkert sätt.

När brobanan och ändskärmarna härdat monteras detaljer så som avrinningssystem och räcken. Det sista som görs innan bron är färdigställd är att förse brobaneplattan med beläggning. Eftersom att arbete med både brobanan och detaljerna sker på hög höjd finns det risk för fallolyckor. Därför är det viktigt att skyddsanordningar så som fallskyddsräcken och ställningar upprättas.

9.5 Underhållsplan

För att garantera brons funktion under hela livslängden ska en underhållsplan upprättas. Underhållsplanens utformning grundas i Trafikverkets Råd Brobyggnade (Trafikverket, 2016a), Teknisk beskrivning (se bilaga A) samt kapitel 7.

Underhållsplanen ska innehålla bland annat aktiviteter för tillståndskontroller, en beskrivning av metoder för tillståndskontroller samt en beskrivning av utbyte av konstruktionsdelar, så som kantbalkar och lager (Trafikverket, 2016a, A.3.3.8). Underhållsplanen ska också baseras på konstruktionens särart, en betongbalkbro. Detta innebär att mycket av underhållsplanen kommer att bestå av betonginriktade åtgärder för problem så som urlakning, vittringssprickor, krossning och armeringskorrosion. Mer generella åtgärder så som behandling av räcken, rengöring av bron och rensning av avlopp behöver också vara med i underhållsplanen.

Del II

Preliminärdimensionering

10 Exponeringsklasser och säkerhetsfaktorer

För att säkerställa brons beständighet, med hänsyn till miljöns inverkan på betongen, tilldelas brons olika konstruktionsdelar exponeringsklasser. Val av exponeringsklasser har gjorts i enlighet med Trafikverkets Råd Brobyggnad (TDOK 2016:0203, Tabell D.1-1) och redovisas i tabell 10.1. I tabell 10.2 beskrivs de olika exponeringsklasserna.

Tabell 10.1: Val av exponeringsklasser

Överbyggnad	XD3, XF4
Kantbalk	XD3, XF4
Landfäste	XD1, XF4
Pelare	XD3, XF4

Tabell 10.2: Förklaring av aktuella exponeringsklasser (SS-EN 1992-1-1, Tabell 4.1).

Korrosion orsakad av andra klorider än de från havsvatten

XD1	Måttlig fuktighet, ex. betongytor utsatta för luftburna klorider.
XD3	Cykliskt våt och torr, ex. brodelar utsatta för stänk innehållande klorider.

Angrepp av frysning/tining

XF4	Nära vattenmättad, med avisningsmedel, ex. väg- och brofarbanor utsatta för avisningsmedel.
-----	---

Utifrån dimensionerande exponeringsklass, valt vct_{ekv} och livslängdsklass bestäms täckande betongskikt, $c_{min,dur}$, (TRVFS 2011:12, Tabell a) och acceptabel sprickbredd, w_{max} (TRVFS 2011:12, Tabell b). En teknisk livslängd på 80 år motsvarar livslängdsklass L50. Från dimensionerande exponeringsklass fås även rekommenderade hållfasthetsklasser (SS-EN 1992-1-1, Tabell E1.N). Värdena presenteras i tabell 10.3.

Tabell 10.3: Dimensionerande parametrar utifrån exponeringsklass.

	Max vct_{ekv}	$c_{min,dur}$	w_{max}	Rekommenderad hållfasthetsklass
XD1	0,45	25 mm	0,3 mm	C30/37
XD3	0,4	35 mm	0,2 mm	C35/45

För en mer effektiv produktion gjuts hela bron i samma sorts betong och därför väljs hållfasthetsklass C35/45.

Säkerhetsklass 3 bör tillämpas för broar enligt Trafikverkets författningssamling (TRVFS 2011:12). I de fall då enskilda konstruktionsdelar beaktas får säkerhetsklass 2 tillämpas för vingmurarna medan

säkerhetsklass 3 används för resterande konstruktionsdelar. Vid dimensionering i brottgränstillstånd används partialkoefficienten, γ_d , som för säkerhetsklass 2 och 3 är 0,91 respektive 1,0.

11 Lasteffekt

För att kunna dimensionera bron behöver dimensionerande moment och tvärkraft beräknas vilket görs genom att ta fram verkande laster på bron. Detta görs enligt *SS-EN 1990*, *SS-EN 1991-2* samt Trafikverkets författningssamling *TRVFS 2011:12*. Med hjälp av materialparametrar och tvärsnittskonstanter tas de minst gynnsamma lastfallen fram med CALFEM-funktioner i MATLAB. Beräkningarna redovisas i bilagorna C - G. Först görs beräkningarna i tvärled eftersom det ger ingångsvärden för beräkningar i längsled. Beräkningsgång samt resultat redovisas i detta kapitel.

11.1 Lastkombinering

För att ta fram hur bron belastas i verkligheten görs en förenkling i form av lastmodeller som består av dimensionerande lastkombinationer. Lastkombineringen görs enligt *SS-EN 1990*. Huvudlasten indexeras med 1 och resterande laster indexeras med ett högre index. Lastkombinationerna används vid olika delar i dimensioneringen och beräknas enligt ekvationerna nedan.

Brottgränstillstånd

Lastkombinering i brottgränstillstånd utförs enligt det minst gynnsamma utfallet av följande två ekvationer:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (SS-EN 1990, 6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (SS-EN 1990, 6.10b)$$

Karakteristisk lastkombination

Den karakteristiska lastkombinationen bestäms enligt:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (SS-EN 1990, 6.14b)$$

Frekvent lastkombination

Den frekventa lastkombinationen bestäms enligt:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (SS-EN 1990, 6.15b)$$

Kvasipermanent lastkombination

Den kvasipermanenta lastkombinationen bestäms enligt:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (SS-EN 1990, 6.16b)$$

De lastreduktionstal samt koefficienter som används i lastkombinationerna presenteras i tabell 11.1 samt 11.2.

Tabell 11.1: Lastreduktionstal. Hämtad från SS-EN 1990, tabell A2.1.

Boggi-system	
ψ_0	0,75
ψ_1	0,75
ψ_2	0
Jämmt utbredd last	
ψ_0	0,4
ψ_1	0,4
ψ_2	0

Tabell 11.2: Koefficienter. Hämtad från SS-EN 1990, tabell A2.4(B).

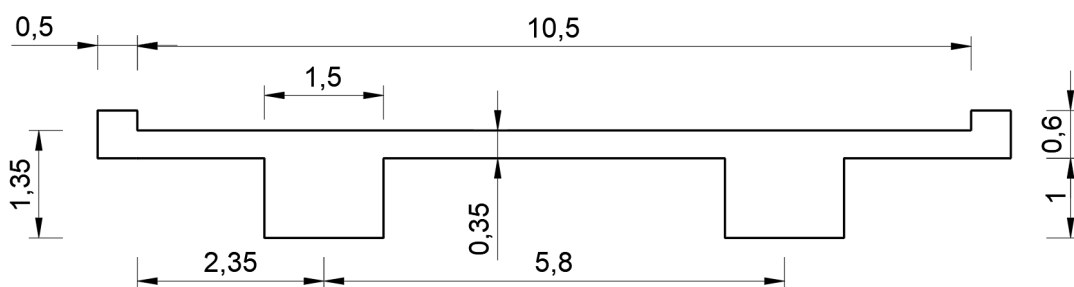
Lastkoefficienter	
γ_G	1,35
γ_Q	1,5
ξ	0,85

11.2 Tvärled

För att beräkna lasteffekten i tvärled tas först de karakteristiska lasterna fram som verkar på en meterstrimma av bron. Därefter kombineras lasterna enligt lastkombinationerna i avsnitt 11.1 och den minst gynnsamma lastplaceringen kontrolleras. Därefter kan dimensionerande moment och tvärkraft beräknas.

11.2.1 Tvärsnitt

Tvärsnittet som ska dimensioneras illustreras i figur 11.1.



Figur 11.1: Tvärsnitt. Författarens egen figur.

Tvärsnittskonstanter

$$A = 1 * h_{platta} = 0,35 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{1 * h_{platta}^3}{12} = 0,0036 \text{ m}^4$$

$$E = 34 \text{ GPa}$$

11.2.2 Karakteristiska laster

Först tas de karakteristiska lasterna fram som verkar på brobanan i tvärled (se bilaga C). Beräkningarna görs på en meterstrimma av bron. Beläggningen över hela betongplattan antas vara 0,1 m tjock och ha en tunghet på 22 kN/m^3 . Betongplattan och de längsgående balkarna antas ha en tunghet på 25 kN/m^3 .

För att ta fram trafiklasterna som verkar i tvärled delas körbanan in i tre stycken 3 m breda lastfält samt i ytterligare ett lastfält på 1,5 m enligt Lastmodell 1 (SS-EN 1991-2). Gång- och cykelbanan dimensioneras på samma sätt som övriga körbanan för att kunna tillgodose en framtida trafikökning. Lastfält 1 och 2 belastas med en utbredd last samt en punktlast från ett boggisystem. Resterande lastfält belastas inte eftersom att lastfält 1 och 2 i kombination ger störst lasteffekt. För lastfälten används olika anpassningsfaktorer för de utbredda lasterna samt punktlaster. Dessa faktorer återfinns i tabell 11.3.

Tabell 11.3: Anpassningsfaktorer.

α_{Q1}	0,9	(TRVFS 2011:12, Tabell 7.1)
α_{Q2}	0,9	(TRVFS 2011:12, Tabell 7.1)
α_{q1}	0,8	(TDOK 2016:0204, Kap 6)
α_{q2}	1,0	(TRVFS 2011:12, Tabell 7.1)

De karakteristiska lasterna presenteras i tabell 11.4. $q_{1,2}$ är utbredda fillaster i de tre meter breda lastfälten och $Q_{1,2}$ är punktlaster från axellasterna placerade mitt i lastfälten. Eftersom beräkningarna görs på en meterstrimma av bron ryms endast en av axellasterna från boggisystemet inom området.

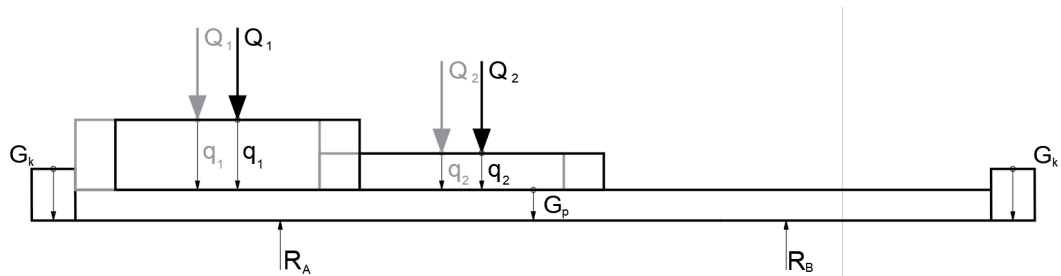
Tabell 11.4: Laster verkande på brobanan i tvärled.

Last	Värde
$g_{kantbalk}$	16,25 kN/m
g_{platta}	10,95 kN/m
g_{balk}	37,5 kN
Q_1	270 kN
Q_2	180 kN
q_1	7,2 kN/m
q_2	2,5 kN/m

11.2.3 Ogynnsam lastplacering

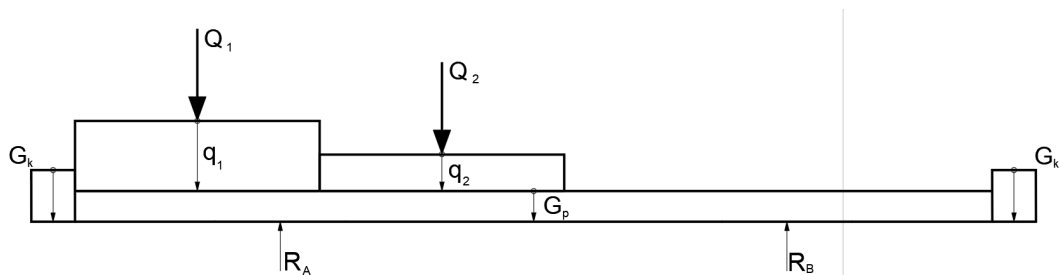
För att ta fram den mest ogynnsamma placeringen av trafiklasterna kombinerades först de karakteristiska lasterna enligt de olika lastkombinationerna i avsnitt 11.1. Trafiklasterna har därefter tillåtits vandra över brobanan för att få fram de mest ogynnsamma lastplaceringarna, alltså de positioner då maximalt stöd- och fältmoment samt tvärkraft erhålls. Från en given startposition har lasten flyttats i sidled med 0,005 m åt gången varefter nya snittkrafter beräknats med hjälp av CALFEM. Denna procedur upprepas tills dess att det värsta lastfallet och motsvarande snittkrafter är framtagna. Se bilaga C och D för beräkningar. Vid beräkningar i tvärled görs en förenkling enligt beräkningsmodellen i

figur 11.2 där även förflyttningen av trafiklasterna illustreras.



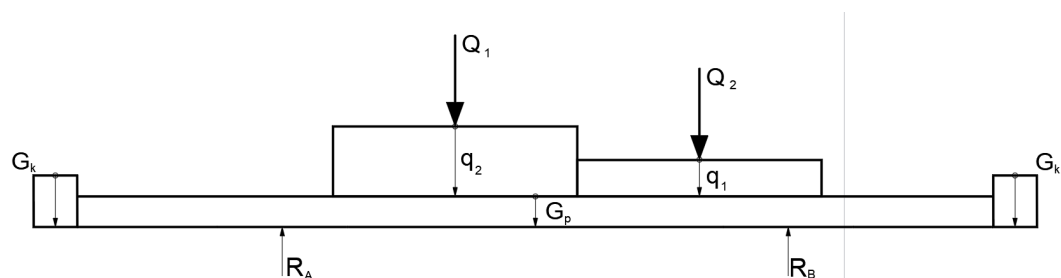
Figur 11.2: Beräkningsmodell med förflyttning av trafiklaster. Författarens egen figur.

För att få fram maximalt stödmoment samt tvärkraft sätts lastens startposition till då vänstra sidan av q_1 placeras precis intill kantbalken. Vid samma placering fås maximalt stödmoment samt tvärkraft, enligt figur 11.3.



Figur 11.3: Lastplacering för maximalt stödmoment samt tvärkraft. Författarens egen figur.

För att få fram maximalt fältmoment sätts lastens startposition till då vänstra sidan av q_1 placeras precis intill stöd A. Maximalt fältmoment erhålls då vänstra sidan av q_1 är placerad 0,541 m till höger om stöd A, enligt figur 11.4.



Figur 11.4: Lastplacering för maximalt fältmoment. Författarens egen figur.

I tabell 11.5 redovisas maximala moment och tvärkrafter för lastfallen vid respektive lastkombination.

11.2.4 Filfaktorer

När bron belastas tar de längsgående balkarna upp olika stor del av lasten till följd av lastens placering. Filfaktorerna tas fram i tvärkraftsberäkningarna och anger hur stor procentuell del av den totala lasten som förs ner i varje balk vid de olika lastfallen. Filfaktorer samt stödreaktioner redovisas i tabell 11.6.

Se bilaga D för beräkningar.

11.2.5 Resultat

Avsnittet presenterar resultaten från beräkningar som gjorts i tvärled. Här ingår dimensionerande moment och tvärkrafter samt filfaktorer, se respektive bilaga för fullständiga beräkningar.

Tabell 11.5: Dimensionerande stöd- och fältmoment samt tvärkraft för varje lastkombination. Se bilaga C och D för beräkningar.

Lastkombination	Fältmoment	Stödmoment	Tvärkraft
Brottgränstillstånd	698,24 kN m	−492,16 kN m	520,10 kN
Karakteristisk lastkombination	460,02 kN m	−358,15 kN m	366,61 kN
Frekvent lastkombination	321,53 kN m	−247,12 kN m	256,78 kN
Kvasipermanent lastkombination	−5,3 kN m	−51,36 kN m	33,98 kN

Tabell 11.6: Stödreaktioner och filfaktorer för stöd A och B för varje lastkombination. Se bilaga D för beräkningar.

Lastkombination	Stödreaktion A	Stödreaktion B	Filfaktor A	Filfaktor B
Brottgränstillstånd	885,27 kN	157,60 kN	85 %	15 %
Karakteristisk lastkombination	650,57 kN	165,46 kN	80 %	20 %
Frekvent lastkombination	455,69 kN	123,21 kN	79 %	21 %
Kvasipermanent lastkombination	103,24 kN	103,24 kN	50 %	50 %

11.2.6 Förenklingar

Beräkningsmodellen är förenklad på så sätt att brobaneplattan är dimensionerad som en balk fritt upplagd på två stöd. Detta gör att centrumavståndet blir hela spännvidden. I verkligheten är dock spännvidden lägre eftersom stöden utgörs av de två längsgående balkliven som är vardera 1,5 m breda. Det medför att de egentliga snittkrafterna blir lägre än vad som används vid dimensioneringen. Det faktum att plattan dimensioneras som fritt upplag på två stöd, gör att stödmomenten blir högre jämfört med om plattan hade varit fast inspänd i stöden som den i verkligheten är. Denna förenkling i beräkningsmodellen gör att bron överdimensioneras.

Eftersom beräkningarna är en iterativ process har måtten på tvärsnittet förändrats. Tjockleken på plattan ändrades under ett sent skede i beräkningsprocessen vilket gjorde att även kantbalkarnas höjd kunde minskas till 600 mm. Beräkningarna i tvärled har dock gjorts på en 650 mm hög kantbalk vilket gör att bron blir överdimensionerad.

11.3 Längsled

För att beräkna lasteffekt i längsled tas först de karakteristiska lasterna fram. Därefter ställs en längsledmodell upp i CALFEM. Bron modelleras som 57 m istället för 60 m då brospannet räknas från ändstöden. Sedan kombineras lasterna enligt lastkombinationerna i avsnitt 11.1 och därefter kan dimensionerande moment och tvärkraft bestämmas.

11.3.1 Karakteristiska laster

För längsledsberäkningar tas först de karakteristiska lasterna fram för brobanan. Till dessa hör egentyngheden g_k , en jämn utbredd trafiklast q_{trafik} samt ett boggisystem Q_{trafik} . Bron har även en ändskärm vid varje landfäste vilket ger upphov till ett ändmoment M_{end} från jordtrycket och ändskärmens egenvikt. Då bron är över 10 m lång kan boggisystemet ses som en punktlast (SS-EN 1990, s. 35).

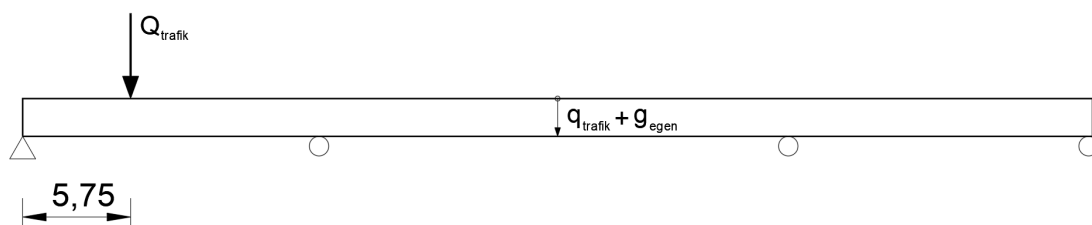
De variabla trafiklasterna erhålls från tvärlägsberäkningarna (se tabell 11.4) och egentyngheden antas vara halva tvärsnittsarean multiplicerat med en tunghet 24 kN/m^3 . I tabell 11.7 presenteras de karakteristiska lasternas värden.

Tabell 11.7: Karakteristiska laster i längsled.

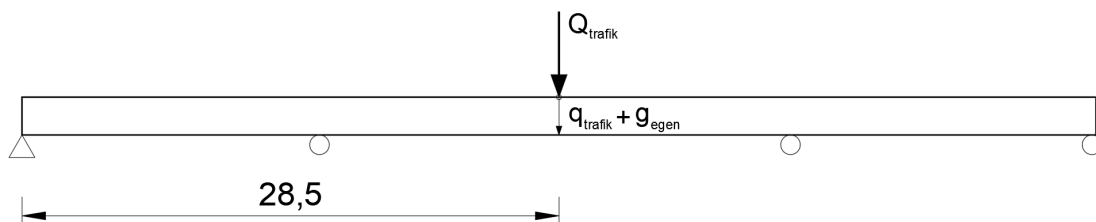
Last	Värde
g_k	87,30 kN/m
q_{trafik}	40,35 kN/m
Q_{trafik}	800 kN
M_{end}	362,4 kN m

11.3.2 Ogynnsam lastplacering

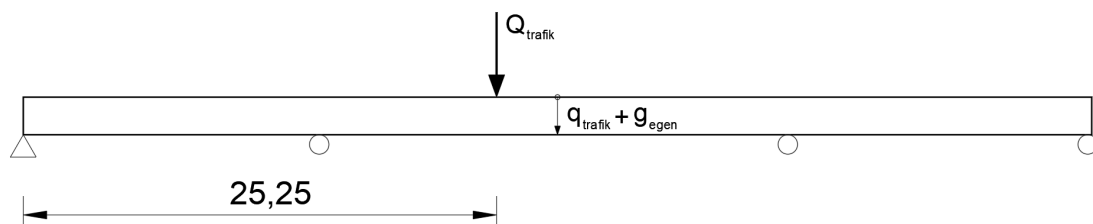
För att ta fram de dimensionerande lasterna i längsled sätts en CALFEM-modell upp (se bilaga E) där punktlasten Q_{trafik} stegas med jämna intervall över brobanan. Ur stegningen erhålls fem olika lastfall där varje lastfall ger ett dimensionerande moment eller en dimensionerande tvärkraft. Lastfallen består av tre dimensionerande moment och två dimensionerande tvärkrafter. I figur 11.5 till och med figur 11.9 presenteras lastfallen och vilka dimensionerande moment eller tvärkrafter dessa ger upphov till.



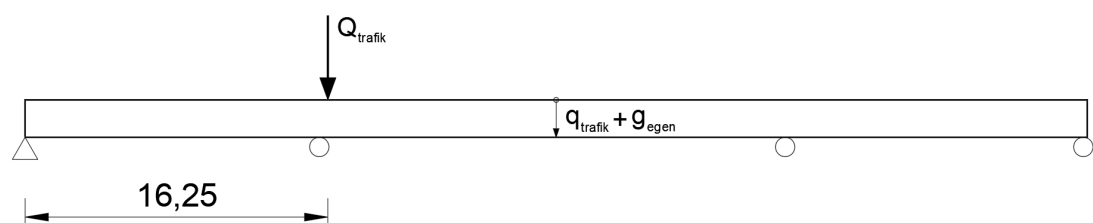
Figur 11.5: Beräkningsmodell för lastfall 1. Detta fall resulterar i ändfältets dimensionerande moment. Författarens egen figur.



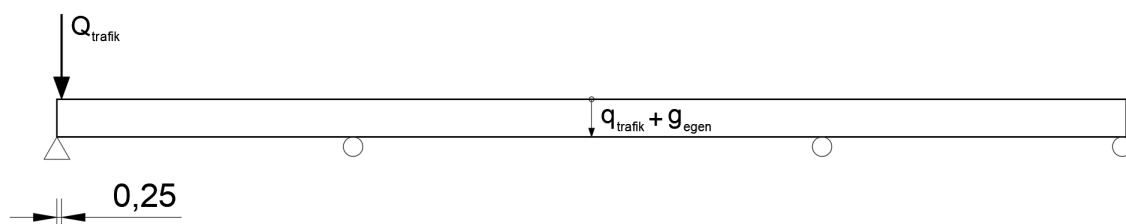
Figur 11.6: Beräkningsmodell för lastfall 2. Detta fall resulterar i mittfältets dimensionerande moment. Författarens egen figur.



Figur 11.7: Beräkningsmodell för lastfall 3. Detta fall resulterar i dimensionerande moment över stöd. Författarens egen figur.



Figur 11.8: Beräkningsmodell för lastfall 4. Detta fall resulterar i dimensionerande tvärkraft över mittstöd. Författarens egen figur.



Figur 11.9: Beräkningsmodell för lastfall 5. Detta fall resulterar i dimensionerande tvärkraft över ändstöd. Författarens egen figur.

I bilaga F redovisas hur punktlastpositionerna tagits fram genom laststegning. De sista två figurerna i bilagan illustrerar hur M_{Ed} och V_{Ed} varierar beroende på var punktlasten Q_{trafik} placeras.

När lastfallen tagits fram kombineras de karakteristiska lasterna från tabell 11.7 enligt avsnitt 11.1 samt multipliceras med filfaktorerna från tabell 11.6. Med de nya dimensionerande lasterna erhålls moment- och tvärkraftsdiagram (se bilaga G) och ur dessa tas de olika M_{Ed} och V_{Ed} fram. Resultatet presenteras i tabell 11.8 och 11.9.

11.3.3 Resultat

Avsnittet presenterar resultaten från beräkningar som gjorts i längsled. Här ingår dimensionerande moment och tvärkrafter för respektive lastfall, se bilagor för fullständiga beräkningar.

Tabell 11.8: Dimensionerande moment vid respektive lastfall för varje lastkombination. Se bilaga G för beräkningar.

Lastkombination	Lastfall 1	Lastfall 2	Lastfall 3
Brottgränstillstånd	4,079 MN m	8,065 MN m	−7,923 MN m
Karakteristisk lastkombination	3,191 MN m	5,864 MN m	−6,083 MN m
Frekvent lastkombination	2,477 MN m	4,776 MN m	−5,094 MN m
Kvasipermanent lastkombination	0,914 MN m	2,852 MN m	−3,968 MN m

Tabell 11.9: Dimensionerande tvärkraft vid respektive lastfall för varje lastkombination. Se bilaga G för beräkningar.

Lastkombination	Lastfall 4	Lastfall 5
Brottgränstillstånd	−2,524 MN	−1,645 MN
Karakteristisk lastkombination	−1,889 MN	−1,167 MN
Frekvent lastkombination	−1,563 MN	−0,938 MN
Kvasipermanent lastkombination	−1,061 MN	−0,473 MN

11.3.4 Förenklingar

Likt lastberäkningarna i tvärled har även förenklingar använts i längsled. Balken i beräkningsmodellen är upplagd på en led och tre rullstöd, medan bron i verkligheten kommer att ligga på lager. Dessa lager har en bredd på 400 mm och kommer därför att ge något kortare spann än de som angivits i beräkningsmodellen. Det resulterar således i en överdimensionering likt den i tvärledsberäkningarna.

11.4 Ändskärm

Vid dimensionering av ändskärmen är det brons rörelse mot vägbanken som är styrande. Faktorerna som påverkar detta är temperaturförändring, broms- och accelerationskrafter från trafik, samt det jordtryck vägbanken ger upphov till mot ändskärmen.

Längdutvidgningen på grund utav temperaturlast beräknas till 32,4 mm (se bilaga I) enligt (SS-EN 1991-1-5). Längdutvidgningen ger upphov till tvångskrafter då jorden motverkar rörelseutvidgningen. Jordens maximala förmåga att begränsa rörelsen motsvaras passivt jordtryck. Enligt Trafikverkets Råd Brobyggande utvecklas passivt jordtryck då ändskärmens rörelse mot jorden är större än $h_{ändskärm} / 200$ (TDOK 2016:0203) vilket innebär att passivt jordtryck i detta fall är utvecklat (se bilaga K). Enligt (SS-EN 1991-2) beräknas broms- och accelerationskraften till 522 kN (se bilaga J), men då passivt jordtryck redan är utvecklat kommer dessa krafter inte att påverka dimensioneringen av ändskärmen.

Jordtrycket beräknas till 165,6 kN (se bilaga K) och är det som ger upphov till dimensionerande moment, M_{Ed} och tvärkraft, V_{Ed} för ändskärmen. Beräkningar görs i snitt vid överbyggnadens underkant och ger $M_{Ed} = 146,28 \text{ kN m}$ och $V_{Ed} = 165,6 \text{ kN}$ (se bilaga N).

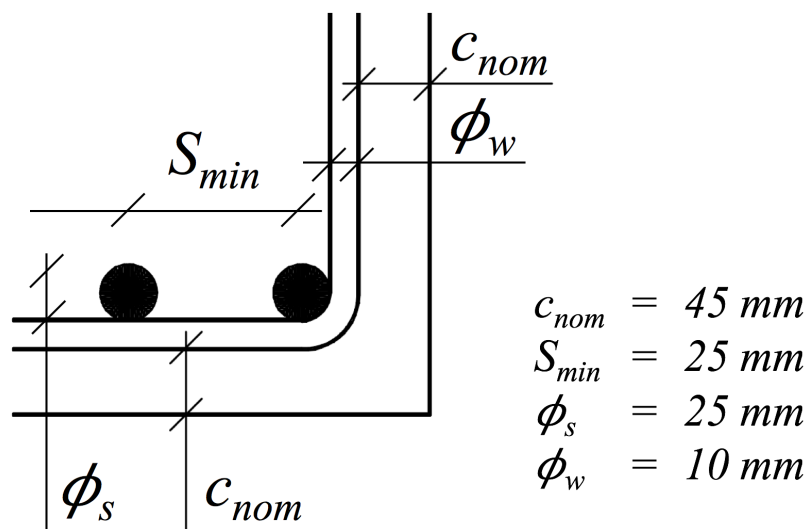
12 Preliminärdimensionering - ULS

För att bestämma tvärsnittsdimensioner och erforderlig mängd drag- och tvärkraftsarmering görs en preliminärdimensionering. Brottgränstillstånd, ULS är dimensionerande och beräkningarna görs enligt EC 2 (SS-EN 1992-1-1).

12.1 Täckande betongskikt

För att garantera konstruktionens beständighet bestäms en tjocklek på täckande betongskikt. Den nominella tjockleken på det täckande betongskiktet beaktar vidhäftning av armering och korrosionsskydd. Även ett minsta avstånd mellan armeringsstängerna beräknas så att vidhäftning kan säkerställas samt för att underlätta vid gjutning och kompaktering av betongen. För beräkningar, se bilaga M.

För att bestämma ovan nämnda parametrar behövs dimensioner på armeringsstängerna. Då det är en tung konstruktion som ska dimensioneras för en hög lasteffekt krävs relativt stora dimensioner på armeringen. Däremot, med hänsyn till arbetsmiljö och för att underlätta produktionen är allt för stora dimensioner inte önskvärt. Armeringsstålet som kommer att användas är B500B och diametern på bygelarmeringen, ϕ_w , väljs till 16 mm och dragarmeringen, ϕ_s , till 25 mm. Valda armeringsdimensioner kommer att användas i hela konstruktionen. I figur 12.1 presenteras beräknade avstånd som är en förutsättning för att bestämma tvärsnittets dimensioner samt preliminär inplacering av armering.



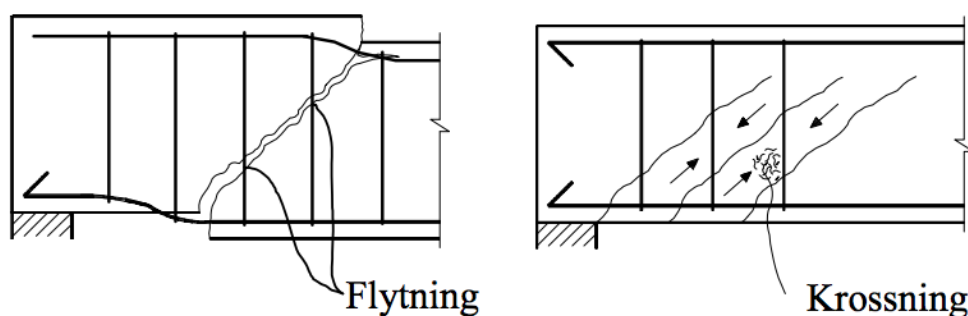
Figur 12.1: Preliminär utformning av armering (Al-Emrani, Engström, Johansson och Johansson, 2013). Återgiven med tillstånd.

12.2 Beräkningsgång, drag- och tvärkraftsarmering

Beräkningarna görs i brobanans tvärled, längsled samt för ändskärmen. I fallet för ändskärm och brons tvärled görs beräkningarna per längdmeter bro och i längsled görs beräkningarna på endast en balk då symmetri av tvärsnittet utnyttjas. Först beräknas erforderlig mängd dragarmering, A_s , utefter dimensionerande moment, M_{Ed} , och placeras in i maxmomentsnitten. Armeringen ska rymmas inom

The diagram illustrates a reinforced concrete slab with two rectangular openings. The total width of the slab is denoted by b . The effective width of the slab is b_{eff} . The width of each opening is b_w . The distance from the left edge of the slab to the center of the first opening is b_1 , and the distance from the center of the first opening to the center of the second opening is b_1 . The distance from the center of the second opening to the right edge of the slab is b_2 . The effective width of the slab is divided into two parts, $b_{\text{eff},1}$ and $b_{\text{eff},2}$, which are the effective widths of the slab segments on either side of the openings.

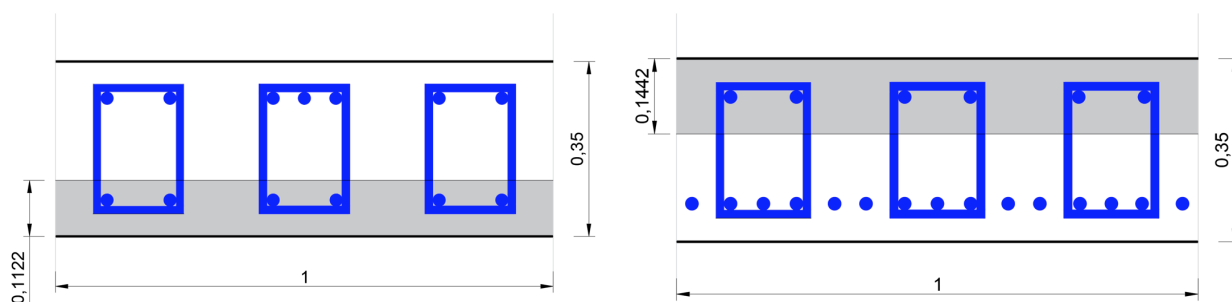
Betongens tvärkraftskapacitet kontrolleras med hänsyn till livtryckbrott och skjuvglidbrott (se figur 12.4), vilket visar huruvida tvärkraftsarmering krävs. Om tvärkraftsarmering krävs beräknas erforderlig mängd tvärkraftsarmering som dimensioneras utefter den dimensionerande tvärkraften, V_{Ed} . För att ta fram avstånd mellan tvärkraftsarmeringen, s , väljs en spricklutning på 35° . Hänsyn tas till krav på maximalt avstånd mellan tvärkraftsarmering och minsta mängd armeringsinnehåll. För beräkningar i tvärled, se bilaga L, i längsled, se bilaga M, och för ändskärmen, se bilaga N.



Figur 12.4: Illustration av skjuvglibbrott med flytande tvärarmering och livtryckbrott (Al-Emrani, Engström, Johansson och Johansson, 2013). Återgiven med tillstånd.

12.3 Resultat tvärled

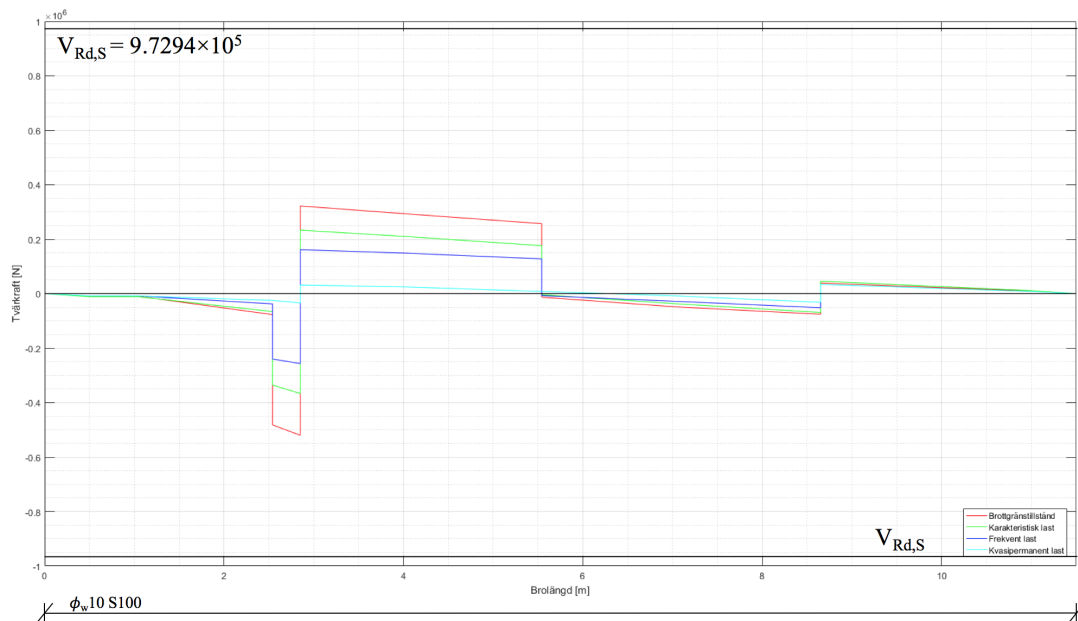
Nedan presenteras erforderliga mängder drag- och tvärkraftsarmering i tvärled för maxmomentsnitt i stöd och fält. Maximala avståndet mellan byglarna, $s_{t,max}$, beräknades till 210 mm vilket ligger till grund för valet av 3 st tvärkraftsbyglar. För att fixera tvärkraftsbyglarna placeras 6 st tryckarmeringsstänger in i tvärsnittet. Erforderligt antal dragarmeringsstänger beräknades till 7 st i stöd och 15 st i fält. Tryckzonen uppgår till 112 mm i stöd och 144 mm i fält. Samtliga resultat illustreras i figur 12.5. Tvärsnittens dimensionerande moment, M_{Ed} , bärförmåga, M_{Rd} samt utnyttjandegrad, η , presenteras i tabell 12.1. Då tjockleken av brobaneplattan endast är 350 mm blir det maximala bygelavståndet, $s_{l,max}$, relativt kort. Det resulterar i överkapacitet av bärförmågan, $V_{Rd,S}$, vilket visas i figur 12.6. Trots inplacering av tryckarmering i tvärsnittet uppfylls inte kravet på segt verkningssätt. För att åtgärda detta måste brobanas tjocklek troligen ökas vilket måste beaktas i vidare dimensionering.



Figur 12.5: Sektionsskisser i maxmomentsnitt i stöd och fält, tvärled. Författarens egen figur.

Tabell 12.1: Tvärsnittens utnyttjandegrad.

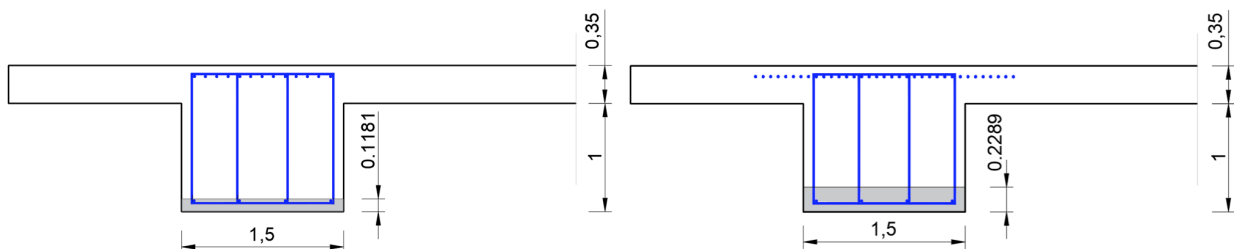
	M_{Ed}	M_{Rd}	η
Stödsnitt	326,17 kN m	635,19 kN m	51,35 %
Fältsnitt	698,24 kN m	754,67 kN m	92,52 %



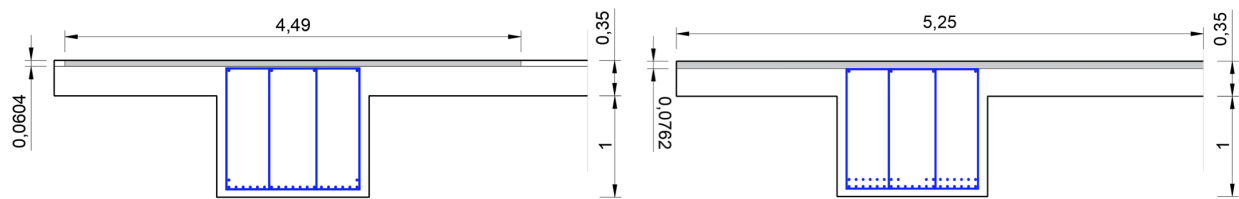
Figur 12.6: Placering av tvärkraftsarmering, tvärled. Författarens egen figur.

12.4 Resultat längsled

Nedan presenteras erforderliga mängder drag- och tvärkraftsarmering i längsled för maxmomentsnitt i stöd och fält. Maximala avståndet mellan byglarna, $s_{l,max}$ beräknades till 600 mm vilket ligger till grund för valet av 2 st tvärkraftsbyglar. För att fixera tvärkraftsbyglarna placeras 4 st tryckarmeringsstänger in i tvärsnittet. Erforderligt antal dragarmeringsstänger beräknades till 14 resp. 34 st i stöd och 20 resp. 34 st i fält. Tryckzonen uppgår till 118 mm resp. 229 mm i stöd och 60 mm resp. 76 mm i fält. Samtliga resultat illustreras i figur 12.7 och 12.8. Tvärsnittens dimensionerande moment, M_{Ed} , bärförmåga, M_{Rd} , samt utnyttjandegrad, η , presenteras i tabell 12.2. Figur 12.9 visar inplacering av tvärkraftsarmeringen i längsled. Det största tillåtna avståndet mellan tvärkraftsbyglarna, s_{min} är beräknat till 240 mm och ger tillräcklig kapacitet på större delen av bron. För att ha tillräcklig kapacitet över mittstöden placeras tvärkraftsarmeringen med ett s-avstånd på 160 mm. Då tvärkraften reduceras över stöden dimensioneras inte tvärkraftsarmeringen efter de maximala tvärkrafterna. Krav på segt verkningsätt uppfylls i samtliga maxmomentsnitt.



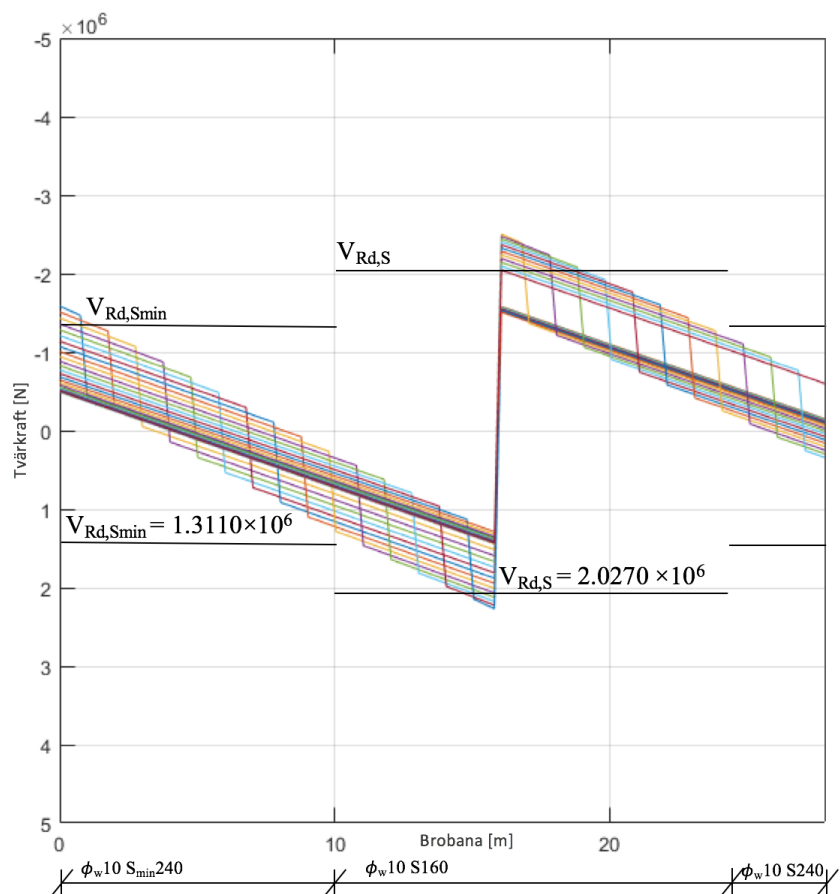
Figur 12.7: Sektionsskisser i maxmomentsnitt i stöd 1 och 2, längsled. Författarens egen figur.



Figur 12.8: Sektionsskisser i maxmomentsnitt i fält 1 och 2, längsled. Författarens egen figur.

Tabell 12.2: Tvärsnittens utnyttjandegrad.

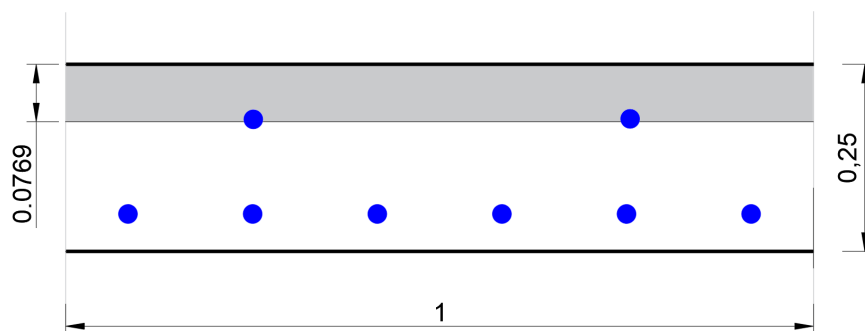
	M_{Ed}	M_{Rd}	η
Stödsnitt 1	0,34 MN m	4,43 MN m	7,62 %
Fältsnitt 1	4,71 MN m	5,29 MN m	88,95 %
Stödsnitt 2	7,75 MN m	8,38 MN m	92,54 %
Fältsnitt 2	8,07 MN m	8,86 MN m	91,01 %



Figur 12.9: Placering av tvärkraftsarmering, längsled. Författarens egen figur.

12.5 Resultat ändskärm

Nedan presenteras erforderliga mängder dragarmering i ändskärmens maxmomentsnitt. Erforderligt antal dragarmeringsstänger beräknades till 6 st. För att klara kravet på segt verkningsätt placeras 2 st tryckarmeringsstänger i tvärsnittet. Tryckzonen uppgår till 77 mm. Samtliga resultat illustreras i figur 12.10. Tvärsnittets dimensionerande moment, M_{Ed} , bärförmåga, M_{Rd} , samt utnyttjandegrad, η , presenteras i tabell 12.3. Enligt beräkningarna krävs ingen tvärkraftsarmering för ändskärmen.



Figur 12.10: Sektionsskiss i maxmomentsnitt, ändskärm. Författarens egen figur.

Tabell 12.3: Tvärsnittens utnyttjandegrad.

	M_{Ed}	M_{Rd}	η
Kritiskt snitt	146,28 kN m	238,83 kN m	61,25 %

13 Preliminärdimensionering - SLS

I bruksgränstillstånd, SLS, finns begränsningar av spänningar i tvärsnittet, sprickbredd samt deformation. För att kontrollera dessa krav har beräkningar gjorts enligt EC 2 (SS-EN 1992-1-1).

13.1 Beräkningsgång

Om det dimensionerande momentet, M_{Ed} , är större än sprickmomentet, M_{cr} , uppstår sprickor i tvärsnittet. Med hjälp av Naviers formel beräknas M_{cr} till 3,6 MN m i längsled. Då $M_{cr} < M_{Ed}$ och tvärsnittet spricker måste beräkning av sprickbredd göras för att kontrollera att sprickbredden inte överstiger tillåten sprickbredd enligt tabell 10.3. Beräkning utav sprickbredd, w_k , görs endast i längsled då det antas att om kraven uppfylls i längsled kommer de även att uppfyllas i tvärlängd.

För att beräkna maximala betong- och stålspänningar vid långtidslast behöver inverkan av betongens krympning och krypning beaktas. Krympning ger upphov till krympkrafter i tvärsnittet som beaktas vid beräkning av spänningar. Krypning är en tidsberoende deformation som påverkas av betongens sammansättning, dimensioner och omgivningens relativa fuktighet. Dessa parametrar beaktas i kryptalet, $\varphi(\infty, t_0)$, som sedan används för att beräkna α_{ef} . Denna parameter används för att göra om stålet till ekvivalent betongarea och för att beräkna ekvivalenta tvärsnittskonstanter. Med Naviers formel beräknas betongspänningen, σ_{cc} , i betongens tryckta kant och kontrolleras så att det uppfyller kravet $\sigma_{cc} < 0,45 f_{ck}$. Stålspänningen, σ_s , beräknas i tryck och drag och kontrolleras så att den uppfyller kravet $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$. Därefter beräknas den karakteristiska sprickbredden, w_k , genom det maximala sprickavståndet, $s_{r,max}$, samt differensen mellan stålets och betongens medeltöjning (se bilaga M).

För att kontrollera att bron klarar kraven på nedböjning används CALFEM. Den maximala nedböjningen beräknas i tvär- och längsled vid frekvent lastkombination (TDOK 2016:0204). Då tvärsnittet spricker i både tvär- och längsled görs nya beräkningar av tvärsnittskonstanter i stadium II, därefter beräknas slutgiltig nedböjning (se bilaga C).

13.2 Resultat

I resultatdelen görs en kortfattad presentation av resultatet från beräkningarna. För fullständiga beräkningar, se respektive bilaga. Kontroll av betong- och stålspänningar samt sprickbredd för stöd och fält i längsled presenteras i tabell 13.1. Resultaten visar att samtliga krav uppfylls.

Tabell 13.1: Kontroll av betong- och stålspänningar samt sprickbredd. Se bilaga M för beräkningar

	σ_{cc}	$< 0,45 f_{ck}$	$\sigma_{s,t}$	$\sigma_{s,d}$	$< 0,8 f_{yk}$	w_{max}	$< w_k$
Stöd	7,01 MPa	15,75 MPa	111,11 MPa	71,25 MPa	400 MPa	0,2 mm	0,14 mm
Fält	-6,72 MPa	15,75 MPa	63,36 MPa	113,85 MPa	400 MPa	0,2 mm	0,09 mm

Kontroll av nedböjning vid frekvent lastkombination i tvär- och längsled presenteras i tabell 13.2 resp. 13.3. Resultaten visar att samtliga krav uppfylls.

Tabell 13.2: Nedböjning vid frekvent lastkombination, tvärled. Se bilaga C för beräkningar.

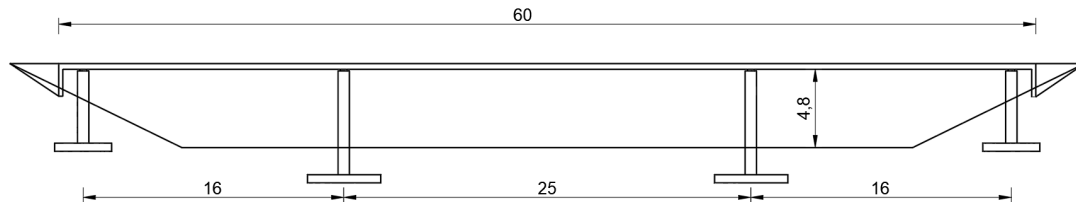
	Nedböjning	Krav ($L/500$)
Utanför stöd	2,8 mm	5,7 mm
Fält	7,2 mm	11,6 mm

Tabell 13.3: Nedböjning vid frekvent lastkombination, längsled. Se bilaga H för beräkningar.

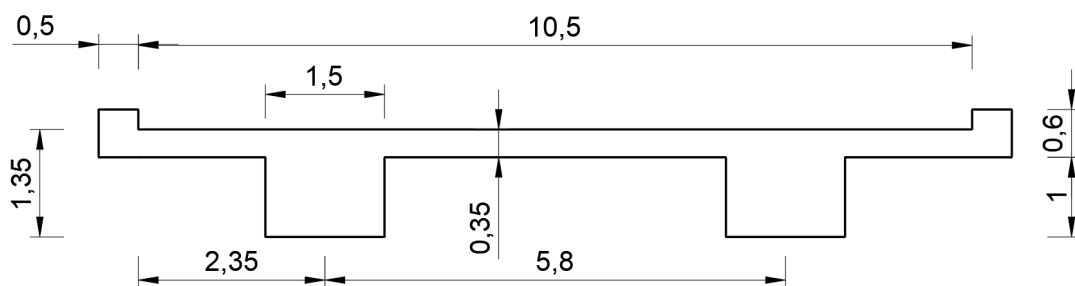
	Nedböjning	Krav ($L/500$)
Ändfält	5 mm	32 mm
Mittfält	24 mm	50 mm

14 Preliminärdimensionerat koncept

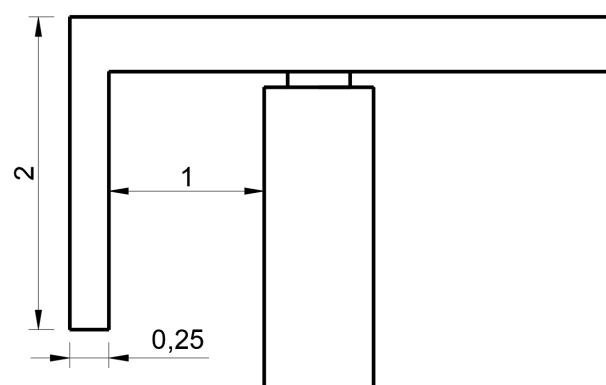
Preliminärdimensioneringen resulterade i ett slutgiltigt koncept där brobanan samt ändskärmarna dimensionerades. Det preliminärdimensionerade konceptet med spännvidder presenteras i figur 14.1. Utformning av ändskärmar och brobana illustreras i figur 14.2 samt 14.3.



Figur 14.1: Preliminärdimensionerat brokoncept med spännvidder. Författarens egen figur.



Figur 14.2: Preliminärdimensionerat tvärsnitt av överbyggnad. Författarens egen figur.



Figur 14.3: Utformning av ändskärm. Författarens egen figur.

15 Diskussion

Uppgiften var att ta fram det bäst lämpade brokonceptet för Hössnamotet för att sedan göra en preliminärdimensionering. Frågeställningen var ett öppet problem då det inte fanns en entydig lösning och det var även en definitionsfråga vad som skulle ingå i resultatet. Diskussionen kommer att behandla hur tillvägagångssättet för framtagning av brokoncept hanterats och hur det hade kunnat ske annorlunda. Även tillvägagångssättet för preliminärdimensioneringen kommer att diskuteras och hur det har påverkat slutresultatet.

Under framtagningen av brokonceptet har vi utgått från Trafikverket och deras styrande dokument, vilka har blivit vår mest använda källa. Då Trafikverket är både beställare och den myndighet som reglerar brobyggandet i Sverige har vi valt att följa deras direktiv utan att direkt ifrågasätta dem. Detta har begränsat utrymmet för val av brokoncept samt möjlighet till mer innovativa lösningar.

Trafikverkets krav på livslängdsklass är något som i stor grad begränsar val av brokoncept. Vår bro ska enligt Teknisk beskrivning dimensioneras för en livslängd på 80 år (se bilaga A) vilket ur ett hållbarhetsperspektiv kan anses vara bra. Vi lever dock i ett ständigt föränderligt samhälle där urbaniseringen sker drastiskt och det är svårt att avgöra hur det på sikt kommer påverka trafikflödena. För att ta hänsyn till detta har vår bro dimensionerats på så sätt att gång- och cykelbanan skulle kunna göras om så att vi får tre filer istället för två om trafiksituationen i framtiden skulle kräva det. Det är dock svårt att i dagsläget avgöra om detta är en användbar lösning då de inte är möjligt att veta om trafiken i området kommer att öka eller minska. Utifrån ovissheten om den framtida trafiksituationen är det intressant att fundera kring ifall det hade varit mer hållbart att sänka kravet på livslängd. Då hade exempelvis träbroar blivit mer konkurrenskraftiga, vilka i många fall ger mer hållbara lösningar med hänsyn till resursanvändning, ekonomi och arbetsbelastning. Träbroar är också mer anpassningsbara på kort sikt.

En annan faktor som också begränsat valet av brokoncept är ekonomi. I dagens samhälle är det, i majoriteten av fallen, ekonomin som är styrande vid val av koncept. Även om vi i vårt arbete har valt att avgränsa oss från ekonomin genom att inte göra några ingående kostnadskalkyler har den ekonomiska aspekten ändå påverkat val av brokoncept. Det har bidragit till att det i slutändan valdes en balkbro i tre spann vilket är en relativt enkel, beprövad och kostnadseffektiv konstruktion där materialen utnyttjas väl.

Vid preliminärdimensioneringen av det framtagna brokonceptet var det från början svårt att överblicka hela processen. Detta berodde delvis på problembeskrivningens formulering samt på gruppens brist av erfarenhet inom området. Arbetet blev således mer iterativt och val som gjordes i början var tvungna att ändras när ny information erhöles senare i processen. Ett exempel är när brobaneplattans dimensioner var tvungna att ändras då kravet på fri höjd inte uppfylldes p.g.a. brons nedböjning. Detta medförde även en förändrad kantbalkshöjd vilket resulterade i förändrad lasteffekt. Eftersom lasteffekten används i flera av beräkningarna behövde dessa korrigeras. Detta blev en tidskrävande process som begränsade slutresultatets omfattning.

Uppgiftens öppna problembeskrivning gjorde det möjligt att bestämma vad som skulle ingå i vår preliminärdimensionering. Beräkningar av dragkraftsbehov samt förankring och avkortning av armering är ytterligare beräkningar som enligt oss bör ingå i en preliminärdimensionering. Dessa har dock prioriterats lägre än övriga beräkningar och därav inte gjorts på grund av tidsbrist. Vår ambition var även att preliminärdimensionera pelarna, men då vi insåg omfattningen av beräkningarna

valde vi att avgränsa oss ifrån dessa och främst fokusera på överbyggnaden. Avsaknaden av dessa beräkningar har inte påverkat resultatet av beräkningarna som gjorts, vilket är anledningen till att just dessa beräkningar har prioriterats lågt. Däremot innebär avgränsningarna att den resterande dimensioneringen av bron blir mer omfattande.

Ingen preliminärdimensionering har gjorts med hänsyn till vind- och olyckslaster. Vindlasten försumrades vid dimensioneringen av överbyggnaden då bron ansågs ha en hög böjstyvhets kring den vertikala axeln. Vindlasten tas i huvudsak upp av pelarna som ej preliminärdimensioneras. Olyckslaster togs inte med i beräkningarna för överbyggnaden eftersom även dessa i första hand ansågs vara relevanta för pelarna. Om nämnda avgränsningar inte hade gjorts, hade det inneburit vissa skillnader i resultatet så som högre ställda krav på konstruktionen till följd av förhöjd lasteffekt.

Avgränsningar har även gjorts i val av beräkningsmodeller och program. I preliminärdimensioneringen har beräknade dimensioner och armeringsmängder använts för att säkerställa att brons bärförmåga är tillräcklig. Endast MATLAB har använts för att genomföra beräkningarna och vidare fördjupning i andra beräkningsprogram har således inte gjorts. Detta har förenklat beräkningarna genom att de utförts tvådimensionellt när konstruktionen i praktiken är tredimensionell. Ett tredimensionellt program hade kunnat kombinera beräkningarna i tvär- och längsled vilket hade givit ett noggrannare resultat. Programmet hade även kunnat visualisera exempelvis nedböjning vilket hade gjort det lättare att upptäcka brister i modellen. Brister hade också kunnat upptäckas genom att validera resultatet med en annan metod.

Det är svårt att avgöra hur nära verkligheten vårt preliminärdimensionerade koncept egentligen ligger. Exempelvis måste utformningen av armering vara genomförbar, vilket är svårt att avgöra utan någon erfarenhet av praktisk tillämpning eller tidigare beräkningar av broar. För att bron ska anses produktionstekniskt genomförbar måste även utformning av tillfälliga stödkonstruktioner och gjutformar genomföras. Denna utformning ingår inte i preliminärdimensioneringen och har således inte gjorts. Detta är dock centralt för brons utformning och beroende på rådande förhållanden på platsen skulle utformningen av bron kunna behöva ändras för att produktionen ska kunna ske på ett effektivt sätt. Detta bör dock inte vara fallet då bron byggs på oexploaterad mark där tillfälliga konstruktioner kan placeras relativt obehindrat.

Preliminärdimensioneringen är endast en del av den fullständiga dimensioneringen och för ett fullständigt brokoncept ska ytterligare dimensionering göras. Grundläggningen har behandlats på ett översiktligt sätt med hjälp av geometrier, men för att säkerställa kvalitén måste mer ingående beräkningar genomföras. Vidare måste utmattningsberäkningar utföras för att kontrollera att konstruktionens hållfasthet över tid är tillräcklig. Detaljer så som gjutskarvar och infästningar måste dimensioneras eftersom dessa är svaga punkter i konstruktionen. Anslutningar kan ge sänkt kapacitet vilket bör tas i beaktning och kontrolleras. En annan detalj som måste dimensioneras är vingmurarna då de ska ta hand om de höjdskillnader som finns vid ändskärmen. Installationsteknik måste även planeras för bron då exempelvis belysning ska installeras för att ge god sikt och ökad säkerhet. Beräkningar av kantbalkarnas dimensioner har genomförts, men bör genomgå en mer detaljerad utformning och detaljer så som droppnäsor bör designas. Detaljritningar av vattenavledningssystemet ska även uppföras.

16 Slutsats

Rapporten har resulterat i en balkbro med dubbelt T-tvärsnitt i tre spann. Denna bro uppfyller syftet genom att åstadkomma en säker och planskiljd korsning mellan väg 40 och väg 1721. Bron uppfyller även Trafikverkets ställda krav på exempelvis fri höjd och trafikkapacitet.

Balkbroar är vanligt förekommande på liknande platser som Hössnamotet och har visats sig väl fungerande under hela sin livslängd. Utöver eventuella kantbalksbyten krävs endast lättare underhåll vilket vid valet av koncept värderades högt.

På grund av rådande förutsättningar och projektets begränsade tidsram fick vissa avgränsningar göras och vidare dimensionering krävs för att konceptet ska anses fullständigt. Trots detta visar resultatet från preliminärdimensioneringen att konstruktionen är genomförbar och uppfyller sitt syfte väl.

Referenser

- Burström, P. G. (2007). *Byggnadsmaterial*. Lund: Studentlitteratur.
- De Frumerie, M. (2017). Framtidsbro byggd i Malmö. *Byggindustrin*.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner del 1*. Institutionen för bygg- och miljöteknik, Avdelning för konstruktionsteknik. Göteborg.
- Friberg, E. & Olsson, J. (2014). Application of fibre reinforced polymer materials in road bridges – General requirements and design considerations.
- Greenspec. (2018). The Environmental Impacts of Concrete. Hämtad från <http://www.greenspec.co.uk/building-design/environmental-impacts-of-concrete>
- Hirt, M. & Lebet, J.-P. (2013). *Steel Bridges*. EFPL Press. doi:10.1201/b15429
- Mazzo, A. (2014). Pile foundation. *Access Science*. doi:10.1036/1097-8542.516900
- Moffit, B. (2013). Composite Materials in Building and Construction Applications. *ACMA's Corrosion, Mining, Infrastructure & Architecture Conference*.
- Swedish Standards Institute. (2003a). *SS-EN 1991-1-5*.
- Swedish Standards Institute. (2003b). *SS-EN 1991-2*.
- Swedish Standards Institute. (2004). *SS-EN 1337*.
- Swedish Standards Institute. (2005a). *SS-EN 1991-1-4*.
- Swedish Standards Institute. (2005b). *SS-EN 1992-1-1*.
- Swedish Standards Institute. (2014). *SS-EN 1990*.
- SMHI. (2018). Klimatdata. Hämtad från <https://www.smhi.se/klimatdata>
- Stålbyggnadsinstitutet. (2017). Hållbart byggande. Hämtad från <http://sbi.se/om-stal/hallbart-byggande>
- Svenskt Trä. (2003). Projektering - TräGuiden. Hämtad från <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/projektering/>
- Trafikverket. (1996). *Broprojektering - En handbok*. Enheten för statlig väghållning.
- Trafikverket. (2011). *TRVFS 2011:12*.
- Trafikverket. (2013). Projekt Väg 40 Dällebo-Ulricehamn Delen Dällebo-Hester, Etapp 3.
- Trafikverket. (2014a). Kodförteckning och beskrivning av Brotyper.
- Trafikverket. (2014b). *TK Geo 13*.
- Trafikverket. (2015a). *Handbok för inspektion av byggnadsverk*.
- Trafikverket. (2015b). Modellen med klimatzoner. Hämtad från <https://www.trafikverket.se/tjanster/ansok-om-ansok-om-bidrag-ansok-om-bidrag-for-enskild-vagar-Arligt-driftbidrag/Modellen-med-klimatzoner/>
- Trafikverket. (2016a). *TDOK 2016:0203*.
- Trafikverket. (2016b). *TDOK 2016:0204*.
- Trafikverket. (2017). *Krav Brounderhåll*.
- Trafikverket. (2018). Broprojekteringshandbok Förhandsutgåva.
- Ulricehamn kommun. (2017a). Miljöfarlig verksamhet. Hämtad från <https://www.ulricehamn.se/boendeochmiljo/kommunens-miljoarbete/miljofarlig-verksamhet/>
- Ulricehamn kommun. (2017b). Ulricehamns kommuns vattenskyddsområden. Hämtad från <https://www.ulricehamn.se/innehall/2015/01/Vad-g-A4ller-inom-Ulricehamns-kommuns-egna-vattenskyddsomr-C3-A5den.pdf>
- Uppenberg, S., Ekström, D., Liljenroth, U. & Al-Ayish, N. (2017). *Klimatoptimerat byggande av betongbroar* (doktorsavhandling).
- Vägverket. (1994). *Broinspektionshandbok*.

- Vägverket. (2004). ATB – Bro 2004. Hämtad från <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/Bro-och-tunnel/Allmanna-tekniska-beskrivningar/ATB---Bro-2004/>
- Vonsky87. (2012). Stone Arch Bridge. Hämtad från https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stone_Arch_Bridge,_Kenoza_Lake_NY.JPG

A Teknisk beskrivning

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

TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVERK

avseende

15-1762-1

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

OBJEKTNR 85 43 60 30

CHAOSNR 3K110002

Handlingen upprättad 2012-09-15

Handlingen reviderad: 2013-05-03

Innehåll

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA	Objektdata	5
	Dokumentdata	5
REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING		6
Dokumentutformning		6
Avsnitt		6
Rubriker enligt Dispositionen		6
Typer av konstruktioner		6
Kravhierarkier		7
Förteckning över okodade underrubriker		7
B. TRAFIK		8
B1. Vägtrafik		8
C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER		9
C1. Befintlig mark och miljö		9
C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden		9
C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden		9
C1. Befintlig mark och miljö/ Bergtekniska förhållanden		10
C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden		10
D. VÄGANLÄGGNING		11
DB. Vägkonstruktion		13
DB2. Underbyggnad/ Vägbro		13
DC. Vägbro		14
DC1. Bärverk i vägbro		14
DC12. Balk/ Kantbalk		14
DC13c. Upplagsanordningar		14
DC13cb. Lager		14
DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning		15
DC2. Grundläggning av vägbro/ fyllning		15
DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta		16
DC3. Komplettering i vägbro		16
DC31. Beläggning		16
DC33. Beläggning/ Slitlager		16
DC31. Beläggning/ Bindlager		17
DC31. Beläggning/ Kantstöd		17
DC33. Tätskikt, skyddslager		17
DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt		17
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa		17
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Länkplattor		17
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb		17
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubbar		17
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Konsol för belysningsstolpe		18
DC4. Slänt eller kon		18
DC41. Slänt		18
DC42. Kon		18
DE. Avvattningssystem		18
DE1. Dagvattensystem		18

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

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATAObjektdata

Vägnummer: Väg 40

Vägnamn: Väg 40 Borås - Ulricehamn

Objektnamn: Delen Dällebo – Hester, Etapp 3

Objektnummer: 85 43 60 30

Kommun: Ulricehamns Kommun

Län: Västra Götaland

Dokumentdata

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

Dokumentslag: 3K110003, Bygghandling

Utgivningsdatum: 2012-09-15

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Gunnar Jellbin

Konsulter: COWI AB

Carl Kiviloo Broprojektör

Lennart Johansson Geotekniker

REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING

Dokumentutformning

Avsnitt

För denna OTB gäller att den innehåller rubriker under avsnitten:

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

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

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

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

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

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

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

Rubriker enligt Dispositionen

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

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

Typer av konstruktioner

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

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

Typ av konstruktion uttrycks i Dispositionen av rubrik för konstruktion följt av "/x" där x anger typ av konstruktion. Exempel på rubrik är "DC11. Brobaneplatta/ Platsgjuten brobaneplatta" där brobaneplatta är konstruktion och platsgjuten brobaneplatta är typ av sådan konstruktion.

Kravhierarkier

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

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

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

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

Förteckning över okodade underrubriker

Under okodade underrubriker anges krav indelade enligt följande.

De okodade underrubrikerna är:

- Omfattning
- Funktion
- Teknisk lösning
- Kontroll

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

Under "Funktion" hanteras följande:

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

Under "Teknisk lösning" hanteras följande:

- Material
- Vara
- Konstruktion
- Utförande
- Märkning

Under "Kontroll" hanteras följande:

- Provning (inklusive mätning)
- Beräkning
- Besiktning

B. TRAFIK

B1. Vägtrafik

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

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

C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER

Omfattning

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

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

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

Funktion

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

Kontroll

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

C1. Befintlig mark och miljö

Se plan och tvärsektioner på ritning nummer 3 47 G 1101, 3 47 G 1201, 3 47 G 1301 och 3 47 G 1302.

C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden

Omfattning

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

C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden

Omfattning

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

Teknisk lösning

Schakt för väg kommer att utföras enligt TB/väg.

C1. Befintlig mark och miljö/ Bergtekniska förhållanden

Omfattning

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

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

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

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

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

C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden

Omfattning

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

D. VÄGANLÄGGNING

Omfattning

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

Kontroll

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

Funktion

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

Vid dimensionering ska VVFS 2003:140 "Vägverkets föreskrifter om tekniska egenskapskrav vid byggande på vägar och gator (vägregler)" och VVFS 2010:18 "Vägverkets föreskrifter om bärförmåga, stadga och beständighet hos byggnadsverk vid byggande av vägar och gator" följas i kombination med VVFS 2011:12 "Vägverkets föreskrifter om tillämpning av europeiska beräkningsstandarder".

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

Vid utformning och dimensionering av de delar i väganläggning som omfattas av Vägverkets publikation 2009:120 VVK Väg ska minst krav i kap. 1, 2 och 4 uppfyllas.

Vid utformning och dimensionering av byggnadsverk ska VV publikation 2009:27 TK Bro följas. TK Bro ska tillämpas enligt avsnitt A.1.5.3. För dimensioneringsmetoder, utformningar eller utförandemetoder och som har använts av entreprenören och som inte är beskrivna i TK Bro ska förslag till teknisk lösning innehållande en särskild kravspecifikation upprättas enligt avsnitt A.1.4 Teknisk lösning. Väganläggningens utformning, gestaltning och miljö ska uppfylla krav i denna TB.

All utformning ska utgå från ett trafiksäkerhetstänkande samt att drift och underhåll ska kunna utföras effektivt och med moderna metoder. Trafikmiljön ska utformas förlåtande. Oskyddade trafikanter ska beaktas.

Entreprenadarbeten ska bedrivas så att fornminnen inte skadas.

För del av väganläggning där krav inte ställts ska den ambitions- och kvalitetsnivå följas som uttryckts genom ställda krav för övriga delar av aktuell väganläggning.

Kontroll. Funktion

Under byggskedet ska entreprenören följa upp och kontrollera i tillräcklig omfattning att beräkningsförutsättningar, beräkningsantaganden, materialegenskaper och lagertjocklekar samt övriga produktionsresultat och gjorda utfästelser för material och varor som förutsatts vid projekteringen överensstämmer med förutsättningar och antaganden som använts vid projekteringen.

För dimensioneringsmetoder, utformningar eller utförandemetoder som inte omfattar krav på produktionsresultat som ansluter till AMA Anläggning 07 ska kontroll uppfylla krav enligt en särskild kravspecifikation som är upprättad och godtagen enligt VV publikation 2009:27 TK Bro, A.1.4 och A.1.9.

Teknisk lösning

Avvikelse från förfrågningsunderlagets profilhöjder får inte ske.

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

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

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

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

Material ska vara:

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

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske i byggskedet enligt av entreprenören upprättat kontrollprogram

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

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

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

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

Teknisk lösning. Märkning

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

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

Märkning ska placeras synlig.

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

Märkkulörer ska vara enligt SS 03 14 11.

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

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

Kontroll. Teknisk lösning. Märkning

Kontroll ska ske genom besiktning.

DB. Vägkonstruktion

DB2. Underbyggnad/ Vägbro

Teknisk lösning

Fyllning mot bro skall utföras enligt AMA CEB.52 med förstärkningslagermaterial enligt DCB.211 och krossad sprängsten enligt CEB.521, samt enligt TK Geo, tabell 7.3-1. Fyllning mot bro ska utföras upp till terrassnivå för anslutande väg, och upp till underkant för släntkappor.

Fyllning skall ske med försiktighet så att betongkonstruktioner inte skadas.

Aktuell vägöverbyggnad framgår av normalsektionsritning.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske genom besiktning och provning.

DC. Vägbro

Funktion

Funktionskrav utöver VV publikation 2009:27 TK Bro framgår av geometriska krav för fria utrymmen enligt förslagsritning 3 47 K 2001.

Formgivningsvillkor framgår av förslagsritning.

Bron ska ha en dimensionerad teknisk livslängd på 80 år.

Broarbetet påverkas inte av allmän trafik.

Kontroll. Funktion

Grundläggningsarbetena skall kontrolleras i Geoteknisk kategori GK2.

Teknisk lösning

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

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

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

DC1. Bärverk i vägbro

Teknisk lösning

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

Minsta differens mellan basmått skall vara 10 mm.

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

DC12. Balk/ Kantbalk

Teknisk lösning

Kantbalkens bredd ska vara 500 mm. Vid kantbalksände fasas kantbalk 100 mm i plan på 200 mm längd på sida som vetter mot överliggande väg enligt förslagsritning 3 47 K 2002.

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

DC13c. Upplagsanordningar

DC13cb. Lager

Teknisk lösning

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

DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning

Funktion

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

Kontroll. Funktion

Kontroll ska ske genom mätning.

Teknisk lösning

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

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

Endast elektroniska sprängkapslar får användas.

Schaktnings- och fyllningsarbeten för bottenplattor ska ske i torrhet.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska utföras genom besiktning.

DC2. Grundläggning av vägbro/ fyllning

Teknisk lösning

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

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

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

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

DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta

Teknisk lösning

Gjutningsarbete för bottenplattor ska förutsättas ske i torrhet.

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

Gjutning godtas utförd mot vattenavvisande papp eller plastfolie.

DC3. Komplettering i vägbro

Teknisk lösning

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

Klotterskydd av typ ”offerskydd” ska anbringas på synliga betongytor på ändstöd och vingar. Klotterskyddet ska vara utprovat tillsammans med valt ytbehandlingspreparat.

DC31. Beläggning

DC33. Beläggning/ Slitlager

Teknisk lösning

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

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

DC31. Beläggning/ Bindlager

Teknisk lösning

Kombinerat skydds- och bindlager utförs med 50 mm PGJA.

DC31. Beläggning/ Kantstöd

Teknisk lösning

Kantstöd limmas på PGJA.

DC33. Tätskikt, skyddslager

DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt

Teknisk lösning

Bron försees med tätskikt av isoleringsmatta på MMA-primer.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa

Teknisk lösning

Fog med fogmassa djup 40, bredd 20, utförs i slitlagret längs kantbalkar.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Länkplattor

Teknisk lösning

Bron ska försees med länkplattor.

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

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

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

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningsdubb

Teknisk lösning

Bron ska försees med avvägningsdubbar enligt TK Bro.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Loddubbar

Teknisk lösning

Mellanstöd ska försees med loddubbar enligt TK Bro.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Konsol för belysningsstolpe

Teknisk lösning

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

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

DC4. Slänt eller kon

Omfattning

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

DC41. Slänt

Teknisk lösning

Slänter runt bron (dock ej under bron) kläs med släntkappor bestående av 100 mm mineraljord som besås, GR2-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 i Handling 11.1, TB väg.

Slänter i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:2.

DC42. Kon

Teknisk lösning

Koner runt bron kläs med släntkappor bestående av 100 mm mineraljord som besås, GR2-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 i Handling 11.1, TB väg.

Koner i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:2.

DE. Avvattningssystem

DE1. Dagvattensystem

Funktion

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

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

Kontroll. Funktion

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

Teknisk lösning

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

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

DE2. Dränvattensystem

Omfattning

Dränvattensystem avleder dräneringsvatten och omfattar dräneringsledningar och dräneringsbrunnar.

Funktion

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

Kontroll. Funktion

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

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

DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro

Teknisk lösning

Grundavlopp enligt VV ritning 584:6 S-g, rev A och 584:6 S-m samt anordnas längs de norra kantbalkarna. Grundavloppsrör och trätt skall utföras av syrafast rostfritt stål enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436.

DF. Trafikskyddsanordning

DF2. Räcke

DF21. Sidoräcke

Omfattning

I anslutning till broräcke ska vägräcke förses med kapacitetsutjämnande övergång enligt TK Bro G.9.1.8. Ingår i vägarbetet.

DF21. Sidoräcke/ Broräcke

Omfattning

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

Teknisk lösning

Broräcken ska utföras enligt förslagsritning och TK Bro.

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

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

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

På broar med kantbalk ska räckesständer skruvas fast.

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

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

Fotplåtar ska inte undergjudas.

Skruvarna förses med grafitfett eller vax.

Räckesskruvar får inte komma i kontakt med kantbalkens armering.

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

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

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

Ingjutningsgods för montage av tillhandahållet broräcke ingår i broarbetet.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

DK. Elsystem och telesystem

DK. Elsystem och telesystem/ Kabelskyddsrör i betongkonstruktion

Teknisk lösning

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

X. DOKUMENTATION

X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering

Se handling 11.1 TB Väg, YC.

XB. Projekteringshandling

XB. Projekteringshandling/ Design basis

Entreprenören ska inledningsvis lämna en redogörelse för förutsättningar och metoder vanligen benämnd ”design basis”. Denna ska minst behandla följande:

- objektspecifika förutsättningar för dimensionering och utformning
- beskrivning av beräknings- och analysmetoder som avses att användas vid dimensionering och utformning
- objektspecifika val avseende material och utförande
- beskrivning av provnings- och kontrollmetoder som avses att användas samt avstämning hur gjorda beräkningsantaganden, materialval, utförandemetod etc. säkerställs och hur avvikelser av dessa hanteras och åtgärdas
- beskrivning av rutiner för verifiering
- en redovisning av principer för hur dokumentation av provnings- och kontrollresultat samt verifiering av dessa ska utföras
- en redovisning av hur dokumentation avseende drift- och underhållsplaner upprättas.

XC. Arbetshandling

Entreprenören ska projektera och upprätta konstruktionshandlingar med beräkningar, ritningar, beskrivningar och kontrollprogram med tillhörande kontrollplaner.

Kontroll av projekteringsresultatet ska ske före arbetenas påbörjande, dels genom entreprenörens kontroll i tillräcklig omfattning och dels genom beställarens granskning. Detta ska även ske under byggskedet och för vissa delar även under garantitiden.

Kontroll av fri höjd, angiven på av beställaren godtagen arbetsritning skall utföras av entreprenör innan arbete med broöverbyggnad påbörjas. Kontroll ska utföras genom mätning och mätresultat skall protokollföras.

För de delar i väganläggningen som omfattas av VV publikation 2009:27 TK Bro ska krav på konstruktionsredovisning och kontroll av konstruktionsredovisning i denna uppfyllas.

Arbetshandlingar ska levereras digitalt.

XC. Arbetshandling/ Vägbro

I inledning av konstruktionsarbetet ska entreprenör kalla till startmöte enligt VV publikation 2009:27 TK Bro. Vid mötet skall redogörelse för förutsättningar och metoder för dimensionering presenteras. Eventuella förändringar i förhållande till förfrågningsunderlaget ska redovisas tydligt. Beställaren ska ges möjlighet att lämna remissynpunkter på handlingarna inom 10 arbetsdagar.

Konstruktionsredovisningen och eventuella remissyttranden sänds för kontroll tillsammans med den av beställaren godtagna förslagsritningen till Trafikverket, avdelning Teknik och Miljö, enhet Byggnadsverk, IVtb och till Trafikverkets projektledning.

Vid tillämpning av VV publikation 2009:84 "Kontroll av konstruktionsredovisning" kan en indelning i grupper enligt råden i denna publikation preliminärt förutsättas. Gruppindelningen bestäms slutgiltigt efter att entreprenörens förslag till tekniska lösningar har presenterats.

En tidplan för insändandet av konstruktionsredovisning för kontroll ska upprättas av entreprenören och insändas till beställaren. Beställarens redovisningskrav och administrativa krav som ska uppfyllas framgår av VV publikation 2009:27 TK Bro, del A.

Beställarens rutiner för kontroll framgår av handling 9, AF Bilaga 3.

Kopior av märkta handlingar fördelas av entreprenören enligt följande:

- tre omgångar ritningar och beskrivningar sänds till beställarens projektledning
- en omgång handlingar enligt krav i VV publikation 2009:27 TK Bro del A sänds till Trafikverket, avdelning Teknik och Miljö, enhet Byggnadsverk, IVtb.

XD. Relationshandling

Relationshandlingar för utförda arbeten ska utgöra informationsunderlag under garantitid samt efterföljande drift och underhåll under anläggningens hela livslängd.

Alla relationshandlingar som produceras i projektet ska levereras till beställarens projekthanteringssystem och i dess struktur. Relationshandlingar ska vara daterade, granskade och godkända av ansvarig person hos entreprenören. Relationshandlingar ingår i entreprenaden och ska godkännas av beställaren. Krav på leveranstid för relationshandlingar anges i Entreprenadkontraktet § 7.2.

Blanketterna "Registrering av beläggningsåtgärder" och "För rapportering av fri höjd i vägportar" ska ifyllas efter färdigställt objekt och redovisas till beställaren.

Relationshandlingar för byggnadsverk ska dokumentera lägen, dimensioner, använda material, uppmätta funktionella egenskaper, utföranden o.d., med beräkningar, ritningar och beskrivningar samt protokoll för utförda kontrollmätningar.

Beställda utförandehandlingar, protokoll och intyg från beställda provningar och kontroller samt produktverifikationer i nivåer 1, 2 och 3 enligt YE i handling 11.1, TB Väg, ska bifogas relationshandlingarna.

Bestyrkta egenskaper för produkter enligt SS-EN ska vara dokumenterade.

Relationshandling ska vara daterad och signerad av ansvarig person hos entreprenören samt försedd med uppgift om vilken anläggningsdel som handlingen avser. Förteckning över aktuella relationshandlingar ska bifogas.

Relationsritning ska vara försedd med "RELATIONS-RITNING" i statusraden i ritningshuvudet.

Symboler, beteckningar, definitioner, scheman o.d. ska vara enligt svensk standard där sådan finns.

Handlingar för drift- och underhåll ska vara skrivna på svenska.

Skalenliga ritningar ska förses med grafisk skala.

Handling ska vara i format enligt A-serien.

Inmätning för relationshandling ska utföras i för objektet gällande koordinat- och höjdsystem.

Anordning som ska fyllas över eller på annat sätt blir dold ska mätas in under arbetets gång.

Material som av miljöskäl enligt handlingarna ska hanteras på angivet sätt dokumenteras med avseende på kemisk sammansättning, placering och vidtagna skyddsåtgärder.

Material som kan orsaka skada vid oriktig behandling ska dokumenteras.

Relationshandlingar i original är beställarens egendom.

Relationshandlingar i original ska vara arkivbeständiga.

Planritningar ska vara försedda med koordinatbestämt rutnät.

Drift- och underhållsinstruktion ska upprättas enligt Arbetsmiljöverkets författningssamling AFS 1999:39 1§ rörande objektets slutliga konstruktion och utformning samt de byggprodukter som använts, i den omfattning som är av betydelse för säkerhet och hälsa vid arbete med drift, underhåll, reparation, ändring och rivning av objektet.

XD. Relationshandling/ Vägbro

För de handlingar som omfattas av kraven på konstruktionsredovisning enligt VV publikation 2009:27 TK Bro gäller denna i sin helhet.

Relationshandlingar ska bestå av:

- arbetsritningar i original (ovikta)
- under byggskedet tillkommande geotekniska utredningar, beräkningar, beskrivningar och ritningar
- betonggjutningsjournaler
- eventuella avvikelserapporter
- förteckning över aktuella handlingar
- ifyllda kontrollplaner för tilläggskontroll
- mätprotokoll avseende lagerinställningar, lod- och avvagningsdubbar
- provningsintyg
- arbetsbeskrivningar upprättade av entreprenören
- verifikat och certifikat enligt SS-EN standard alternativt YE i handling 11.1, TB Väg

På original exemplet av sammanställningsritningen ska redovisas

- använd typ av tillsatsmedel i betong
- förteckning över av beställaren godtagna handlingar
- lagerinställningar
- sammansättning av injekteringsbruk med uppgift om cementfabrikat, tillsatsmedel, dosering samt $v_{ct_{ekv}}$

- typ av och beteckning på lager inklusive antal per stöd
- uppmätta värden vid inmätning av lod- och avvagningsdubbar
- vid grundläggning på berg, höjder för bottenplattas underkant.

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

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

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

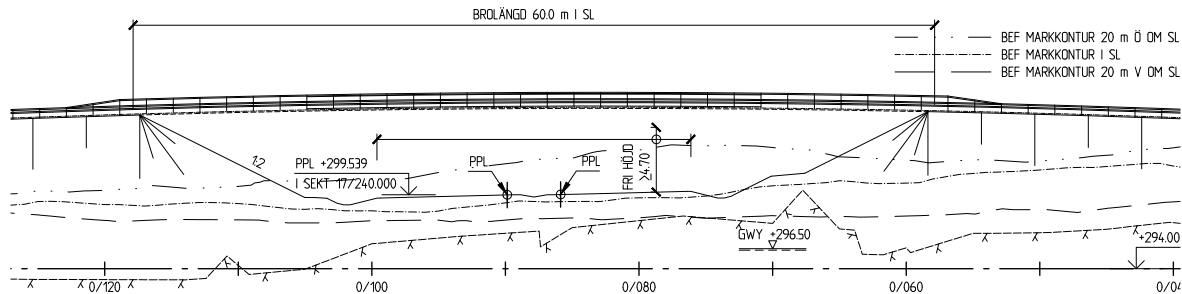
Eventuella smärre avsteg från godtagen ritning ska vara införda på originalritningarna.

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

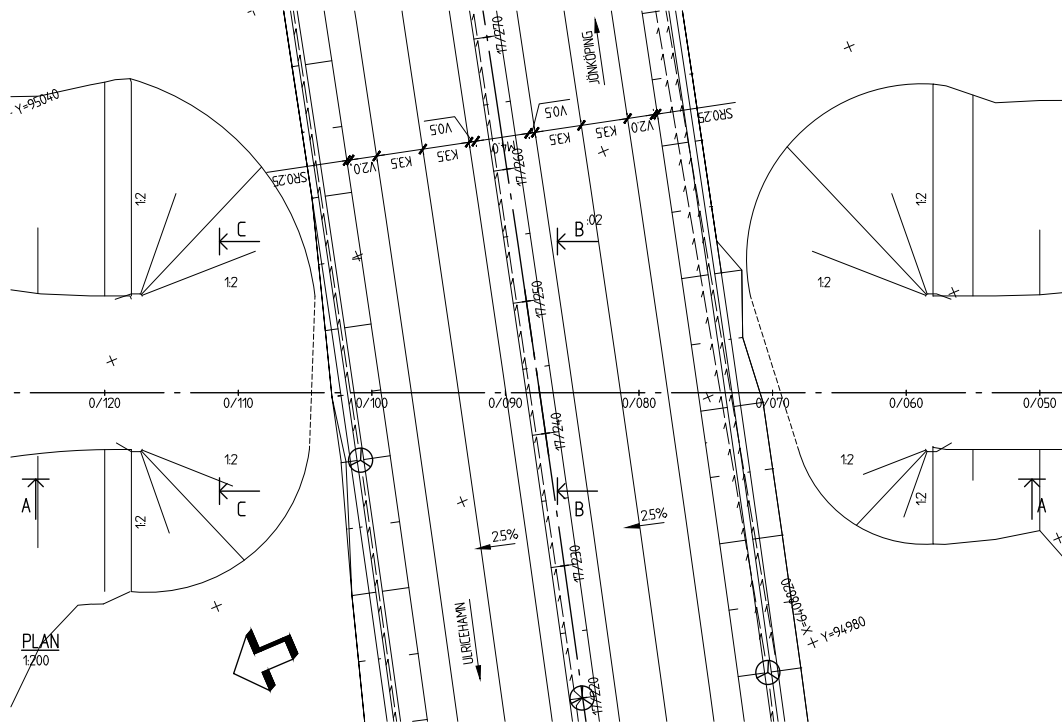
Mätprotokollen avseende inmätning av lod- och avvagningsdubbar ska utöver mätresultaten innehålla datum för mätningen, lufttemperaturen vid mätningen, mätmetod samt uppgift om vilken fixpunkt som använts. Inmätningen ska utföras enligt BJB.22 i handling 11.1, TB Väg.

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

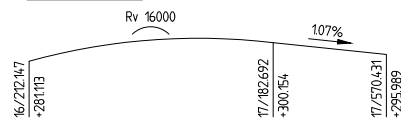
B Förfrågningsunderlag



ELEVATION A-A
1:200



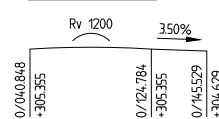
PROFIL VÄG 40



PLANDATA VÄG 40

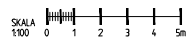
PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM.
1	16/132.182	6409272.348	93990.111	R=3700
2	17/927.677	6408717.778	95679.337	

PROFIL VÄG 1721



PLANDATA VÄG 1721

PUNKT	SEKTION	X	Y	ANM.
1	0/000.000	6408751037	94970.959	RL
2	0/169.122	6408906.623	95037.260	



ALLMÄNNA ANVISNINGAR

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

NORMER, FÖRESKRIFTER
OCH BESKRIVNINGAR:

BRON SKALL DIMENSIONERAS OCH UTFÖRAS ENLIGT
TK BRÖ (PUBL. 2009:27) OCH TK GEO (PUBL. 2009:46)
SAMT TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK 3K110003
UPPRÄTTAD AV COWI AB, DATERAD 2012-09-15.

FÖRKLARINGAR

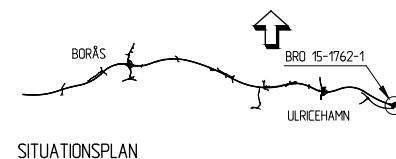
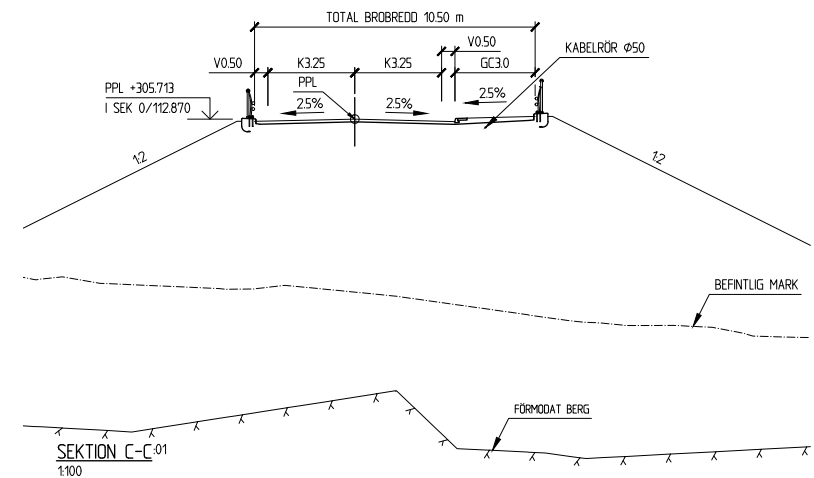
FL/RL AVSER FAST RESPEKTIVE RÖRLIGT LAGER
1) AVSER KONSOL FÖR BELYSNINGSSTOLPE

HÄNVISNINGAR

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

TECKENFÖRKLARINGAR

— — — — —	NY DRÄNINGSLEDNING
⊗	DAGVATTENBRUNN



REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	GGK	DATUM	VY DATUM	VY DIARIENUMMER
BYGGHANDLING			FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG			
 TRAFIKVERKET			VÄG 40 BORÅS-ULRICEHAMN DELEN DÄLLEBO - HESTER ETAPP 3 BRÖ ÖVER ALLMÄN VÄG I HÖSSNAMOTET, Ö ULRICEHAMN			
			KM 17/250 FÖRSLAGSRITNING			
Cowi AB Skillingstugatan 1 BOX 12008 Göteborg			010-450 10 00 www.cowi.se			
UPPDRAGSANSVÄRIG A BERGHOLTZ			UPPDRAGSNUMMER 161925		PLAN, ELEVATION	
KONTOR C KIVILÖD			GRANSK M BACKSTRÖM			
GÖTEBORG A BERGHOLTZ			2012-09-15		FORMAT A1 ENLIGT FIGUR	
			OBJEKT NR 85436030		BYGGNING 347K2001	
						REV

C MATLAB: Tvärledsberäkning för moment och nedböjning

Table of Contents

Karakteristiska laster i tvärled	1
Maximalt fältmoment	2
Nedböjning i fält	8
Maximalt stödmoment	10
Nedböjning i stöd	16

Karakteristiska laster i tvärled

```
clc
clear all
close all

D = 1;           % Beräkningarna görs på en meterstrimma

% Beräkning av egentyngd
h_platta = 0.35;    % [m]
h_belaggnig = 0.1;   % [m]

tunghet_platta = 25000;    % [N/m3]
tunghet_belaggnig = 22000; % [N/m3]

g=-(D*h_platta*tunghet_platta+D*h_belaggnig*tunghet_belaggnig); %
[N/m]

g_k=-D*0.65*25000*1;    % Egentyngd kantbalk [N/m]
g_balk=-D*1.5*1.0*25000; % Punktlast från längsgående balkar [N]

% Karaktäristisk trafiklast (Tabell 4.2 SS-EN 1991-2 )
% Beräkningarna görs på en meterstrimma och endast ett exalpar rym
inom
% meterstrimman

% Anpassningsfaktorer
alfaQ1 = 0.9;
alfaQ2 = 0.9;

alfaqa1 = 0.8;
alfaqa2 = 1.0;

% Punktlaster
Q1 = -300*1000*alfaQ1;    % [N]
Q2 = -200*1000*alfaQ2;    % [N]

% Utbredda laster
q1 = -D*9*1000*alfaqa1;    % [N/m]
q2 = -D*2.5*1000*alfaqa2;  % [N/m]
```

Maximalt fältmoment

```
E=34*10^9;           % [Pa]
A=1*0.35;           % [m2]
I=1*0.35^3/12;      % [m4]

ep=[E A I];         % Elementegenskaper
L_s=2.85;           % Avstånd till stöd [m]
N = 0.55;

psi_1_boogi=0.75;    % Tabell A2.1 SS-EN-1990
psi_1_utbredd=0.4;   % Tabell A2.1 SS-EN-1990

gamma_Qi=1.5;        % För ogynnsamma variabla laster, Tabell
                    % A1.2(B) SSEN-1990
gamma_Gj_sup=1.35;   % För ogynnsamma permanenta laster, Tabell
                    % A1.2(B) SSEN-1990
Xi=0.85;             % Tabell A1.2(B) SSEN-1990

for j=1:4

    falt_1=q1*3;      % Körfält 1
    falt_2=q2*3;      % Körfält 2
    G=g*10.5;         % Egentyngd platta
    G_k=g_k*1;        % Egentyngd för en kantbalk
    G_balk=g_balk;    % Egentyng för en balk

    if j==1           % Lastkombination för brottgränstillstånd

        % ekv 6.10a SS-EN-1990
        Ed_a=gamma_Gj_sup*(G+G_k*2*0.5+2*G_balk)+ ...

        gamma_Qi*psi_1_utbredd*(falt_1+falt_2)+gamma_Qi*psi_1_boogi*(Q1+Q2);

        % ekv 6.10b SS-EN-1990
        Ed_b=Xi*gamma_Gj_sup*(G+G_k*2*0.5+2*G_balk)+gamma_Qi* ...
            (falt_1+falt_2+Q1+Q2);

        if abs(Ed_a)>abs(Ed_b)

            balk=gamma_Gj_sup*G_balk;
            gk=gamma_Gj_sup*G_k/1;
            gp=gamma_Gj_sup*G/10.5;
            q_1=gamma_Qi*psi_1_utbredd*falt_1;
            q_2=gamma_Qi*psi_1_utbredd*falt_2;
            Q_1=gamma_Qi*psi_1_boogi*Q1;
            Q_2=gamma_Qi*psi_1_boogi*Q2;

        else if abs(Ed_b)>abs(Ed_a)

            balk=Xi*gamma_Gj_sup*G_balk;
            gk=Xi*gamma_Gj_sup*G_k/1;
            gp=Xi*gamma_Gj_sup*G/10.5;
```

```

        q_1=gamma_Qi*falt_1;
        q_2=gamma_Qi*falt_2;
        Q_1=gamma_Qi*Q1;
        Q_2=gamma_Qi*Q2;

    end
end

else if j==2    % Karakteristisk lastkombination

    % ekv 6.14b SS-EN-1990
    Ed_kar=G_k*2*0.5+G+2*G_balk+falt_1+falt_2+Q1+Q2;

    balk=gamma_Gj_sup*G_balk;
    gk=gamma_Gj_sup*G_k/1;
    gp=gamma_Gj_sup*G/10.5;
    q_1=falt_1;
    q_2=falt_2;
    Q_1=Q1;
    Q_2=Q2;

end
end

if j==3        % Frekvent lastkombination

    % ekv 6.15b SS-EN-1990
    Ed_frek=G_k*2*0.5+G+2*G_balk
+psi_1_utbredd*(falt_1+falt_2)+psi_1_boogi*(Q1+Q2);

    balk=G_balk;
    gk=G_k/1;
    gp=G/10.5;
    q_1=psi_1_utbredd*falt_1;
    q_2=psi_1_utbredd*falt_2;
    Q_1=psi_1_boogi*Q1;
    Q_2=psi_1_boogi*Q2;

else if j==4    % Kvasipermanent lastkombination

    % ekv 6.16b SS-EN-1990
    Ed_kvasi=G_k*2*0.5+G+2*G_balk;

    balk=G_balk;
    gk=G_k/1;
    gp=G/10.5;
    q_1=0;
    q_2=0;
    Q_1=0;
    Q_2=0;

end
end

M_ref_max=0;

```

```

forskjutning_max=0;

eq=[0 gk;
    0 gp
    0 gp;
    0 gp+q_1;
    0 gp+q_1;
    0 gp+q_2;
    0 gp+q_2;
    0 gp+q_2
    0 gp;
    0 gk];

for i=0.001:0.005:N-0.005
    ex_1 = [0 0.5];
    ex_2 = [ex_1(2) 2.85];
    ex_3 = [ex_2(2) ex_2(2)+i];
    ex_4 = [ex_3(2) ex_3(2)+1.5];
    ex_5 = [ex_4(2) ex_4(2)+1.5];
    ex_6 = [ex_5(2) ex_5(2)+1.5];
    ex_7 = [ex_6(2) 8.65];
    ex_8 = [ex_7(2) ex_6(2)+1.5];
    ex_9 = [ex_8(2) 11];
    ex_10 = [ex_9(2) ex_9(2)+0.5];

    % Sätter in alla x i en global vektor
    ex = [ex_1; ex_2; ex_3; ex_4; ex_5;
          ex_6; ex_7; ex_8; ex_9; ex_10];

    ey=[0 0];

    Edof=[1  1 2 3 4 5 6
           2  4 5 6 7 8 9
           3  7 8 9 10 11 12
           4 10 11 12 13 14 15
           5 13 14 15 16 17 18
           6 16 17 18 19 20 21
           7 19 20 21 22 23 24
           8 22 23 24 25 26 27
           9 25 26 27 28 29 30
          10 28 29 30 31 32 33];

    bc=[7 0;
        8 0;
        23 0];           % Frittupplagd på två stöd

    K=zeros(33);
    f=zeros(33,1);

    f(8)=balk;           % Punktlast från balk
    f(14)=Q_1;           % Axellast
    f(20)=Q_2;
    f(23)=balk;

```

```

for z=1:1:10
    [Ke, fe]=beam2e(ex(z,:),ey,ep,eq(z,:));
    [K, f]=assem(Edof(z,:),K,Ke,f,fe) ;
end

[a, r] = solveq(K,f,bc);    % Calfem för att lösa ekvationen
ed = extract(Edof,a);      % Calfem för att ta fram
förskjutningar

% Beam2s för att ta fram snittkrafter
es1=beam2s(ex(1,:),ey,ep,ed(1,:),eq(1,:),30);
es2=beam2s(ex(2,:),ey,ep,ed(2,:),eq(2,:),30);
es3=beam2s(ex(3,:),ey,ep,ed(3,:),eq(3,:),30);
es4=beam2s(ex(4,:),ey,ep,ed(4,:),eq(4,:),30);
es5=beam2s(ex(5,:),ey,ep,ed(5,:),eq(5,:),30);
es6=beam2s(ex(6,:),ey,ep,ed(6,:),eq(6,:),30);
es7=beam2s(ex(7,:),ey,ep,ed(7,:),eq(7,:),30);
es8=beam2s(ex(8,:),ey,ep,ed(8,:),eq(8,:),30);
es9=beam2s(ex(9,:),ey,ep,ed(9,:),eq(9,:),30);
es10=beam2s(ex(10,:),ey,ep,ed(10,:),eq(10,:),30);

m =zeros(10,1);

% Kvasipermanent lastkombination måste ha egen if sats
% då momentet är störst över stöd

if j==4
    % Tar fram maximalt moment för varje element
    m(1,1)=max(es1(:,3));
    m(2,1)=max(es2(:,3));
    m(3,1)=max(es3(:,3));
    m(4,1)=max(es4(:,3));
    m(5,1)=max(es5(:,3));
    m(6,1)=max(es6(:,3));
    m(7,1)=max(es7(:,3));
    m(8,1)=max(es8(:,3));
    m(9,1)=max(es9(:,3));
    m(10,1)=max(es10(:,3));
    M_max=max(m);

    if M_max >= M_ref_max    % Tar fram största M_max i
        M_ref_max=M_max;
        forskjutning_max=i;
    end
else
    % Tar fram det maximala momentet för varje element
    m(1,1)=max(abs((es1(:,3))));
    m(2,1)=max(abs(es2(:,3)));
    m(3,1)=max(abs(es3(:,3)));
    m(4,1)=max(abs(es4(:,3)));
    m(5,1)=max(abs(es5(:,3)));
    m(6,1)=max(abs(es6(:,3)));

```

```

        m(7,1)=max(abs(es7(:,3)));
        m(8,1)=max(abs(es8(:,3)));
        m(9,1)=max(abs(es9(:,3)));
        m(10,1)=max(abs(es10(:,3)));

        M_max=max(abs(m));    % Tar fram det största momentet

        if M_max > M_ref_max    % Tar fram största M_max i loopen
            M_ref_max=M_max;
            forskjutning_max=i;
        end
    end

end

forskjutning(j)=forskjutning_max;
M_maximum=M_ref_max;
Moment_Max_falt(j,1)=M_maximum;

% Plottar momentdiagram
figure(1)
x1=linspace(0,ex(1,2),30);
x2=linspace(ex(1,2),ex(2,2),30);
x3=linspace(ex(2,2),ex(3,2),30);
x4=linspace(ex(3,2),ex(4,2),30);
x5=linspace(ex(4,2),ex(5,2),30);
x6=linspace(ex(5,2),ex(6,2),30);
x7=linspace(ex(6,2),ex(7,2),30);
x8=linspace(ex(7,2),ex(8,2),30);
x9=linspace(ex(8,2),ex(9,2),30);
x10=linspace(ex(9,2),ex(10,2),30);

M1=es1(:,3);
M2=es2(:,3);
M3=es3(:,3);
M4=es4(:,3);
M5=es5(:,3);
M6=es6(:,3);
M7=es7(:,3);
M8=es8(:,3);
M9=es9(:,3);
M10=es10(:,3);

farg=['r','g','b','c'];

% Plottar xled mot momenten i samma punkter
plotcolor(j)=plot(x1,-M1,farg(j));
hold on
plot(x2,-M2,farg(j))
plot(x3,-M3,farg(j))
plot(x4,-M4,farg(j))
plot(x5,-M5,farg(j))
plot(x6,-M6,farg(j))
plot(x7,-M7,farg(j))
plot(x8,-M8,farg(j))

```

```

plot(x9, -M9, farg(j))
plot(x10, -M10, farg(j))

l=linspace(0,11.5,30);
M11=linspace(0,0,30);

plot(l,M11,'k','Linewidth',1) % Plottar bron
hold on
title('Fältmoment för värsta placeringen i tvärled')
hold all
xlabel('Brolängd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')
hold on
end

Moment_Max_falt(4)=-5.3*10^3; %grafiskt

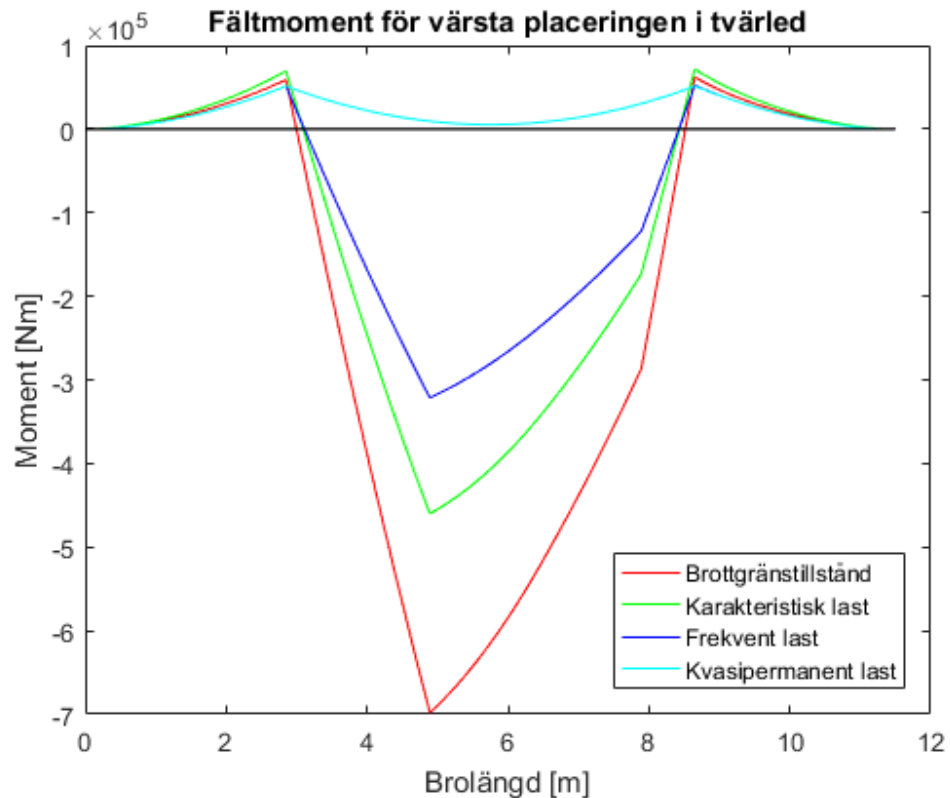
namn1={'Brottgränstillstånd','Karakteristisk last','Frekvent
last','Kvasipermanent last'};
legend([plotcolor(1) plotcolor(2) plotcolor(3)
plotcolor(4)],namn1,'Location','southeast')

table(Moment_Max_falt, 'VariableNames',
{'Moment_i_falt'}, 'rownames',namn1)

```

ans =

	<i>Moment_i_falt</i>
<i>Brottgränstillstånd</i>	6.9824e+05
<i>Karakteristisk last</i>	4.6002e+05
<i>Frekvent last</i>	3.2153e+05
<i>Kvasipermanent last</i>	-5300



Nedböjning i fält

```

b=1;
As=0.025^2*pi*16;
As_prim=0.016^2*pi*6;
d=0.25;
d_prim=0.1;
alpha_ef =15.3572;

syms x
x=root(-alpha_ef*As*(d-x)+(alpha_ef-1)*As_prim*(x-d_prim)+b*x^2/2,x);
x_vpa=vpa(x);
xt=x_vpa(2);
xtp=0.219;

A_II=b*xtp+alpha_ef*As+alpha_ef*As_prim;
I_II=(b*xtp^3)/3+alpha_ef*As*(d-xtp)^2+(alpha_ef-1)*As_prim*(xtp-
d_prim)^2;

ep=[E A_II I_II];           % Elementegenskaper

% ekv 6.15b SS-EN-1990
Ed_freke=G_k*2*0.5+G+2*G_balk
+psi_1_utbredd*(falt_1+falt_2)+psi_1_boogi*(Q1+Q2);

```

```

balk=G_balk;
gk=G_k/1;
gp=G/10.5;
q_1=psi_1_utbredd*falt_1;
q_2=psi_1_utbredd*falt_2;
Q_1=psi_1_boogi*Q1;
Q_2=psi_1_boogi*Q2;

bc=[7 0;
     8 0;
    23 0];           % Frittupplagd på två stöd

K=zeros(33);
f=zeros(33,1);

f(8)=balk;           % Punktlast från balk
f(14)=Q_1;           % Axellast
f(20)=Q_2;
f(23)=balk;

for z=1:1:10
    [Ke, fe]=beam2e(ex(z,:),ey,ep,eq(z,:));
    [K, f]=assem(Edof(z,:),K,Ke,f,fe) ;
end

[a, r] = solveq(K,f,bc); % Calfem för att lösa ekvationen
ed = extract(Edof,a);    % Calfem för att ta fram
förskjutningar

ey=zeros(size(ex));
w_max=max(ed(:,2))
plotpar=[1 2 1];
figure(2)
eldisp2(ex,ey,ed,plotpar);

title('Nedböjning i fält')
hold all
xlabel('Brolängd [m]')
ylabel('nedböjning [m]')

%tillåten nedböjning = L/500
w_till_falt = 5.8/500 % Krav på tillåten initial nedböjning i
brukgränstillstånd

if w_max<w_till_falt
    disp('Tillåten nedböjning')
    w_max;
    w_till_falt;
else
    disp('ej tillåten nedböjning')
    w_till_falt
    w_max
end

```

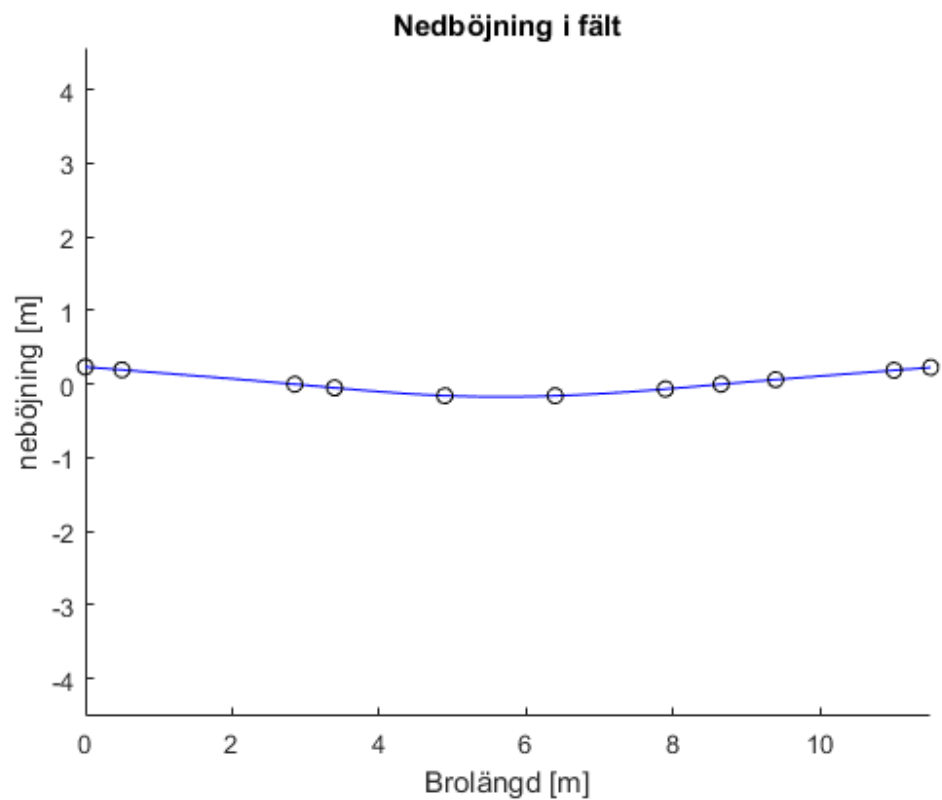
$w_{max} =$

0.0072

$w_{till_falt} =$

0.0116

Tillåten nedböjning



Maximalt stödmoment

$E=34 \cdot 10^9$; % [Pa]

$A=1 \cdot 0.35$; % [m²]

$I=1 \cdot 0.35^3/12$; % [m⁴]

$ep=[E \ A \ I]$; % Elementegenskaper

$L_s=2.85$; % Avstånd till stöd [m]

$N = 0.55$;

$\psi_{1_boogi}=0.75$; % Tabell A2.1 SS-EN-1990

$\psi_{1_utbredd}=0.4$; % Tabell A2.1 SS-EN-1990

```

gamma_Qi=1.5;           % För ogynnsamma variabla laster, Tabell A1.2(B)
                          SSEN-1990
gamma_Gj_sup=1.35;      % För ogynnsamma permanenta laster, Tabell
                          A1.2(B) SSEN-1990
Xi=0.85;                % Tabell A1.2(B) SSEN-1990

for j=1:4

    falt_1=q1*3;         % Körfält 1
    falt_2=q2*3;         % Körfält 2
    G=g*10.5;           % Egentyngd platta
    G_k=g_k*1;          % Egentyngd för en kantbalk
    G_balk=g_balk;       % Egentyng för en balk

    M1=zeros(30,1);
    M2=zeros(30,1);
    M3=zeros(30,1);
    M4=zeros(30,1);
    M5=zeros(30,1);
    M6=zeros(30,1);
    M7=zeros(30,1);
    M8=zeros(30,1);
    M9=zeros(30,1);
    M10=zeros(30,1);

    if j==1              % Lastkombination för brottgränstillstånd

        % ekv 6.10a SS-EN-1990
        Ed_a=gamma_Gj_sup*(G+G_k*2*0.5+2*G_balk)+gamma_Qi* ...
        psi_1_utbredd*(falt_1+falt_2)+gamma_Qi*psi_1_boogi*(Q1+Q2);

        % ekv 6.10b SS-EN-1990
        Ed_b=Xi*gamma_Gj_sup*(G+G_k*2*0.5+2*G_balk)+ ...
        gamma_Qi*(falt_1+falt_2+Q1+Q2);

        if abs(Ed_a)>abs(Ed_b)

            balk=gamma_Gj_sup*G_balk;
            gk=gamma_Gj_sup*G_k/1;
            gp=gamma_Gj_sup*G/10.5;
            q_1=gamma_Qi*psi_1_utbredd*falt_1;
            q_2=gamma_Qi*psi_1_utbredd*falt_2;
            Q_1=gamma_Qi*psi_1_boogi*Q1;
            Q_2=gamma_Qi*psi_1_boogi*Q2;

        else if abs(Ed_b)>abs(Ed_a)

            balk=Xi*gamma_Gj_sup*G_balk;
            gk=Xi*gamma_Gj_sup*G_k/1;
            gp=Xi*gamma_Gj_sup*G/10.5;
            q_1=gamma_Qi*falt_1;
            q_2=gamma_Qi*falt_2;
            Q_1=gamma_Qi*Q1;

```

```

        Q_2=gamma_Qi*Q2;

    end
end

else if j==2    % Karakteristisk lastkombination

    %ekv 6.14b SS-EN-1990
    Ed_kar=G_k*2*0.5+G+2*G_balk+falt_1+falt_2+Q1+Q2;

    balk=gamma_Gj_sup*G_balk;
    gk=gamma_Gj_sup*G_k/1;
    gp=gamma_Gj_sup*G/10.5;
    q_1=falt_1;
    q_2=falt_2;
    Q_1=Q1;
    Q_2=Q2;

end
end

if j==3        % Frekvent lastkombination

    %ekv 6.15b SS-EN-1990
    Ed_frek=G_k*2*0.5+G+2*G_balk
+psi_1_utbredd*(falt_1+falt_2)+psi_1_boogi*(Q1+Q2);

    balk=G_balk;
    gk=G_k/1;
    gp=G/10.5;
    q_1=psi_1_utbredd*falt_1;
    q_2=psi_1_utbredd*falt_2;
    Q_1=psi_1_boogi*Q1;
    Q_2=psi_1_boogi*Q2;

else if j==4    % Kvasipermanent lastkombination

    %ekv 6.16b SS-EN-1990
    Ed_kvasi=G_k*2*0.5+G+2*G_balk;

    balk=G_balk;
    gk=G_k/1;
    gp=G/10.5;
    q_1=0;
    q_2=0;
    Q_1=0;
    Q_2=0;

end
end

M_ref_max=0;
forskjutning_max=0;

eq=[0 gk;

```

```

0 gp
0 gp+q_1
0 gp+q_1;
0 gp+q_1;
0 gp+q_2;
0 gp+q_2;
0 gp;
0 gp;
0 gk];

forskjutning_max=0;

for i=0.001:0.005:N-0.005
ex=[0 0.5
    0.5 0.5+i
    0.5+i 0.5+i+1.5;
    0.5+i+1.5 L_s;
    L_s L_s+i+0.65;
    L_s+i+0.65 L_s+i+2.15;
    L_s+i+2.15 L_s+i+3.65;
    L_s+i+3.65 11.5-L_s;
    11.5-L_s 11;
    11 11.5];

ey=[0 0];

Edof=[1 1 2 3 4 5 6
      2 4 5 6 7 8 9
      3 7 8 9 10 11 12
      4 10 11 12 13 14 15
      5 13 14 15 16 17 18
      6 16 17 18 19 20 21
      7 19 20 21 22 23 24
      8 22 23 24 25 26 27
      9 25 26 27 28 29 30
      10 28 29 30 31 32 33];

bc=[13 0;
    14 0;
    26 0];

K=zeros(33);
f=zeros(33,1);
f(14)=balk;
f(11)=Q_1;
f(20)=Q_2;
f(26)=balk;

for z=1:1:10
    [Ke, fe]=beam2e(ex(z,:),ey,ep,eq(z,:));
    [K, f]=assem(Edof(z,:),K,Ke,f,fe) ;
end

[a, r] = solveq(K,f,bc); % Calfem för att lösa ekvationen

```

```

        ed = extract(Edof,a);    % Calfem för att ta fram
forskjutningar

    % Beam2s för att ta fram snittkrafter
    es1=beam2s(ex(1,:),ey,ep,ed(1,:),eq(1,:),30);
    es2=beam2s(ex(2,:),ey,ep,ed(2,:),eq(2,:),30);
    es3=beam2s(ex(3,:),ey,ep,ed(3,:),eq(3,:),30);
    es4=beam2s(ex(4,:),ey,ep,ed(4,:),eq(4,:),30);
    es5=beam2s(ex(5,:),ey,ep,ed(5,:),eq(5,:),30);
    es6=beam2s(ex(6,:),ey,ep,ed(6,:),eq(6,:),30);
    es7=beam2s(ex(7,:),ey,ep,ed(7,:),eq(7,:),30);
    es8=beam2s(ex(8,:),ey,ep,ed(8,:),eq(8,:),30);
    es9=beam2s(ex(9,:),ey,ep,ed(9,:),eq(9,:),30);
    es10=beam2s(ex(10,:),ey,ep,ed(10,:),eq(10,:),30);

    m =zeros(10,2);

    % Tar fram det maximala momentet för varje element
    m(1,2)=max(abs(es1(:,3)));
    m(2,2)=max(abs(es2(:,3)));
    m(3,2)=max(abs(es3(:,3)));
    m(4,2)=max(abs(es4(:,3)));
    m(5,2)=max(abs(es5(:,3)));
    m(6,2)=max(abs(es6(:,3)));
    m(7,2)=max(abs(es7(:,3)));
    m(8,2)=max(abs(es8(:,3)));
    m(9,2)=max(abs(es9(:,3)));
    m(10,2)=max(abs(es10(:,3)));

    M_max=max(m(:,2));    % Tar fram det största momentet

    if M_max > M_ref_max    % Tar fram största M_max i loopen
        M_ref_max=M_max;
        forskjutning_max=i;
        M1=es1(:,3);
        M2=es2(:,3);
        M3=es3(:,3);
        M4=es4(:,3);
        M5=es5(:,3);
        M6=es6(:,3);
        M7=es7(:,3);
        M8=es8(:,3);
        M9=es9(:,3);
        M10=es10(:,3);

    end
end
forskjutning_stod(j)=forskjutning_max;
M_maximum=M_ref_max;
Moment_Max_stod(j,1)=M_maximum;
i=forskjutning_stod(j);

    % Plotta diagram över moment
    figure(3)

```

```

x1=linspace(0,0.5,30);
x2=linspace(0.5,0.5+i,30);
x3=linspace(0.5+i,0.5+i+1.5,30);
x4=linspace(0.5+i+1.5,L_s,30);
x5=linspace(L_s,L_s+i+0.65,30);
x6=linspace(L_s+i+0.65,L_s+i+2.15,30);
x7=linspace(L_s+i+2.15,L_s+i+3.65,30);
x8=linspace(L_s+i+3.65,11.5-L_s,30);
x9=linspace(11.5-L_s,11,30);
x10=linspace(11,11.5,30);

farg=['r','g','b','c'];

% Plottar xled mot momenten i samma punkter
plotcolor(j)=plot(x1,-M1,farg(j));
hold on
plot(x2,-M2,farg(j))
plot(x3,-M3,farg(j))
plot(x4,-M4,farg(j))
plot(x5,-M5,farg(j))
plot(x6,-M6,farg(j))
plot(x7,-M7,farg(j))
plot(x8,-M8,farg(j))
plot(x9,-M9,farg(j))
plot(x10,-M10,farg(j))

l=linspace(0,11.5,30);
M11=linspace(0,0,30);
plot(l,M11,'k','Linewidth',1) % Plottar bron
title('Stödmoment för värsta placeringen i tvärled')
xlabel('Brolängd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')
end

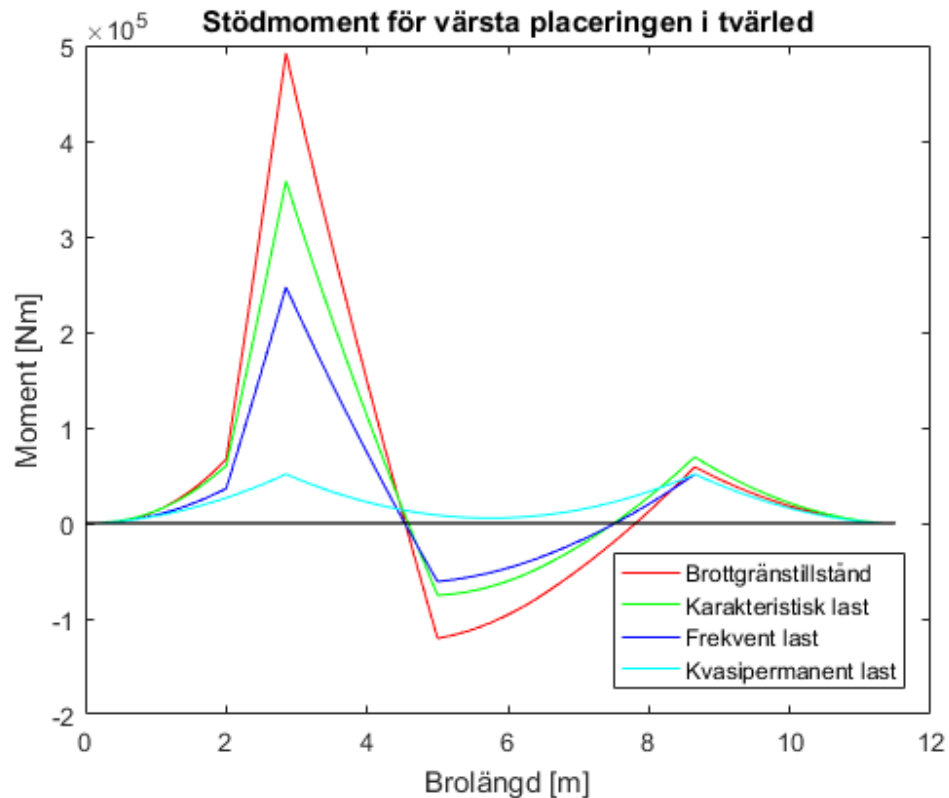
namn1={'Brottgränstillstånd','Karakteristisk last','Frekvent
last','Kvasipermanent last'};
legend([plotcolor(1) plotcolor(2) plotcolor(3)
plotcolor(4)],namn1,'Location','southeast')

table(Moment_Max_stod, 'VariableNames',
{'Moment_i_stod'}, 'rownames',namn1)

```

ans =

	<i>Moment_i_stod</i>
<i>Brottgränstillstånd</i>	4.9216e+05
<i>Karakteristisk last</i>	3.5815e+05
<i>Frekvent last</i>	2.4712e+05
<i>Kvasipermanent last</i>	51361



Nedböjning i stöd

```

b=1;
As=0.025^2*pi*16;
As_prim=0.016^2*pi*6;
d=0.25;
d_prim=0.1;
alpha_ef =15.3572;

syms x
x=root(-alpha_ef*As*(d-x)+(alpha_ef-1)*As_prim*(x-d_prim)+b*x^2/2,x);
x_vpa=vpa(x);
xt=x_vpa(2);
xtp=0.19;

A_II=b*xtp+alpha_ef*As+alpha_ef*As_prim;
I_II=(b*xtp^3)/3+alpha_ef*As*(d-xtp)^2+(alpha_ef-1)*As_prim*(xtp-
d_prim)^2;

ep=[E A_II I_II];           % Elementegenskaper

% ekv 6.15b SS-EN-1990
Ed_frek=G_k*2*0.5+G+2*G_balk
+psi_1_utbredd*(falt_1+falt_2)+psi_1_boogi*(Q1+Q2);

```

```

balk=G_balk;
gk=G_k/1;
gp=G/10.5;
q_1=psi_1_utbredd*falt_1;
q_2=psi_1_utbredd*falt_2;
Q_1=psi_1_boogi*Q1;
Q_2=psi_1_boogi*Q2;

bc=[13 0;
    14 0;
    26 0];           % Frittupplagd på två stöd

K=zeros(33);
f=zeros(33,1);

f(8)=balk;           % Punktlast från balk
f(14)=Q_1;           % Axellast
f(20)=Q_2;
f(23)=balk;

for z=1:1:10
    [Ke, fe]=beam2e(ex(z,:),ey,ep,eq(z,:));
    [K, f]=assem(Edof(z,:),K,Ke,f,fe) ;
end

[a, r] = solveq(K,f,bc);           % Calfem för att lösa
ekvationen
ed = extract(Edof,a);             % Calfem för att ta fram
förskjutningar

ey=zeros(size(ex));
w_max=max(ed(:,2))
plotpar=[1 2 1];
figure(4)
eldisp2(ex,ey,ed,plotpar);
title('Nedböjning i stöd')
hold all
xlabel('Brolängd [m]')
ylabel('Nedböjning [m]')
% Tillåten nedböjning = L/500
w_till_stod = 2.85/500 % Krav på tillåten initial
nedböjning i brukgränstillstånd

if w_max<w_till_stod
    disp('Tillåten nedböjning')
    w_max;
    w_till_stod;
else
    disp('ej tillåten nedböjning')
    w_max
    w_till_stod
end

```

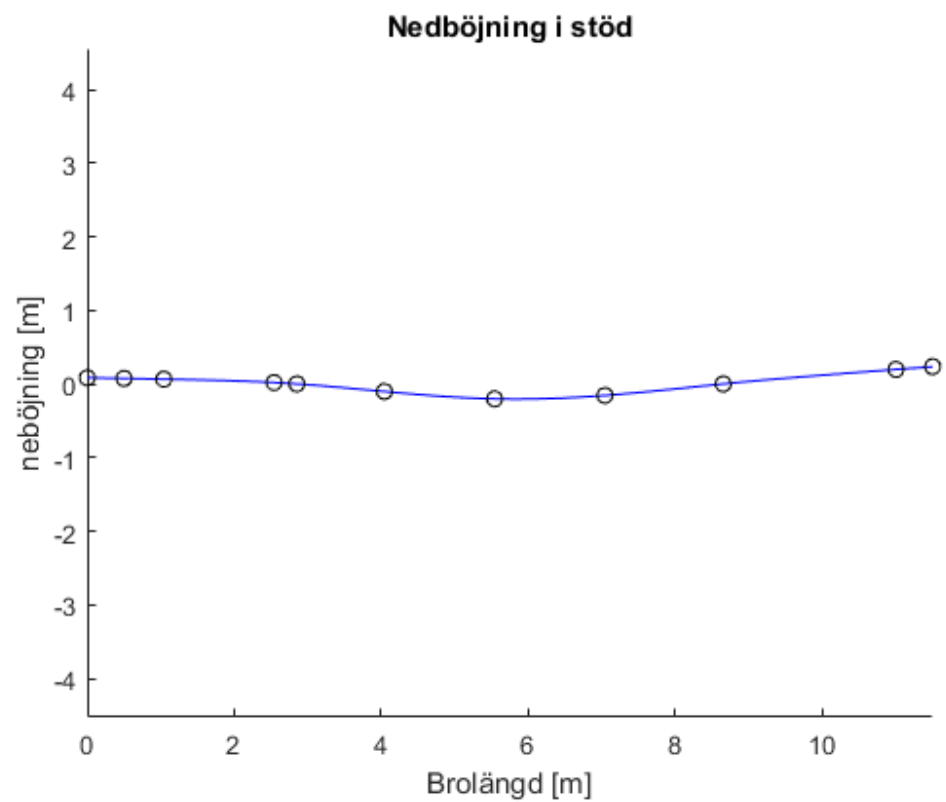
$w_{max} =$

0.0028

$w_{till_stod} =$

0.0057

Tillåten nedböjning



Published with MATLAB® R2016b

D MATLAB: Tvärledsberäkning för tvärkraft och reaktionskrafter

Maximal tvärkraft

```
clc
clear all
close all

E=34*10^9;           % [Pa]
A=1*0.35;            % [m2]
I=1*0.35^3/12;       % [m4]

ep=[E A I];          % Elementegenskaper

% Karateristiska laster
g=-10950;             % Egenvikt [N/m]
g_k=-16500;           % Utbredd last från kantbalk [N/m]
g_balk=-37500;        % Punktlast från längsgående balkar [N]

Q1=-270000;           % [N]
Q2=-180000;           % [N]
q1=-7200;             % [N/m]
q2=-2500;             % [N/m]

L_s=2.85;             % Avstånd till stöd [m]
N = 0.55;

psi_1_boogi=0.75;     % Tabell A2.1 SS-EN-1990
psi_1_utbredd=0.4;    % Tabell A2.1 SS-EN-1990

gamma_Qi=1.5;         % För ogynnsamma variabla laster, Tabell
A1.2(B) SSEN-1990
gamma_Gj_sup=1.35;    % För ogynnsamma permanenta laster, Tabell
A1.2(B) SSEN-1990
Xi=0.85;              % Tabell A1.2(B) SSEN-1990

for j=1:4

    falt_1=q1*3;       % Körfält 1
    falt_2=q2*3;       % Körfält 2
    G=g*10.5;          % Egentyngd platta
    G_k=g_k*1;         % Egentyngd för en kantbalk
    G_balk=g_balk;     % Egentyngd för en balk

    T1=zeros(30,1);
    T2=zeros(30,1);
    T3=zeros(30,1);
    T4=zeros(30,1);
    T5=zeros(30,1);
    T6=zeros(30,1);
    T7=zeros(30,1);
```

```

T8=zeros(30,1);
T9=zeros(30,1);
T10=zeros(30,1);

if j==1      % Lastkombination för brottgränstillstånd

    % SS-EN 1990 ekv 6.10a
    Ed_a=gamma_Gj_sup*(G+G_k*2*0.5+2*G_balk)+ ...
gamma_Qi*psi_1_utbredd*(falt_1+falt_2)+gamma_Qi*psi_1_boogi*(Q1+Q2);

    % SS-EN 1990 ekv 6.10b
    Ed_b=xi*gamma_Gj_sup*(G+G_k*2*0.5+2*G_balk)+ ...
gamma_Qi*(falt_1+falt_2+Q1+Q2);

    if abs(Ed_a)>abs(Ed_b)
        balk=gamma_Gj_sup*G_balk;
        gk=gamma_Gj_sup*G_k/1;
        gp=gamma_Gj_sup*G/10.5;
        q_1=gamma_Qi*psi_1_utbredd*falt_1;
        q_2=gamma_Qi*psi_1_utbredd*falt_2;
        Q_1=gamma_Qi*psi_1_boogi*Q1;
        Q_2=gamma_Qi*psi_1_boogi*Q2;

    else if abs(Ed_b)>abs(Ed_a)

        balk=xi*gamma_Gj_sup*G_balk;
        gk=xi*gamma_Gj_sup*G_k/1;
        gp=xi*gamma_Gj_sup*G/10.5;
        q_1=gamma_Qi*falt_1;
        q_2=gamma_Qi*falt_2;
        Q_1=gamma_Qi*Q1;
        Q_2=gamma_Qi*Q2;

    end
end

else if j==2      % Karakteristisk lastkombination

    % SS-EN 1990 ekv 6.14b
    Ed_kar=G_k+G+2*G_balk+falt_1+falt_2+Q1+Q2;

    balk=gamma_Gj_sup*G_balk;
    gk=gamma_Gj_sup*G_k/1;
    gp=gamma_Gj_sup*G/10.5;
    q_1=falt_1;
    q_2=falt_2;
    Q_1=Q1;
    Q_2=Q2;

end
end

```

```

if j==3      % Frekvent lastkombination

    % SS-EN 1990 ekv 6.15b
    Ed_frek=G_k+G+2*G_balk
+psi_1_utbredd*(falt_1+falt_2)+psi_1_boogi*(Q1+Q2);

    balk=G_balk;
    gk=G_k/1;
    gp=G/10.5;
    q_1=psi_1_utbredd*falt_1;
    q_2=psi_1_utbredd*falt_2;
    Q_1=psi_1_boogi*Q1;
    Q_2=psi_1_boogi*Q2;

else if j==4    % Kvasipermanent lastkombination

    % SS-EN 1990 ekv 6.16b
    Ed_kvasi=G_k+G+2*G_balk;

    balk=G_balk;
    gk=G_k/1;
    gp=G/10.5;
    q_1=0;
    q_2=0;
    Q_1=0;
    Q_2=0;

end
end

T_ref_max=0;

eq=[0 gk;
    0 gp
    0 gp+q_1
    0 gp+q_1;
    0 gp+q_1;
    0 gp+q_2;
    0 gp+q_2;
    0 gp;
    0 gp;
    0 gk];

for i=0.001:0.005:N-0.005
    ex=[0 0.5
        0.5 0.5+i
        0.5+i 0.5+i+1.5;
        0.5+i+1.5 L_s;
        L_s L_s+i+0.65;
        L_s+i+0.65 L_s+i+2.15;
        L_s+i+2.15 L_s+i+3.65;
        L_s+i+3.65 11.5-L_s;
        11.5-L_s 11;
        11 11.5];

```

```

ey=[0 0];

Edof=[1  1 2 3 4 5 6
      2  4 5 6 7 8 9
      3  7 8 9 10 11 12
      4  10 11 12 13 14 15
      5  13 14 15 16 17 18
      6  16 17 18 19 20 21
      7  19 20 21 22 23 24
      8  22 23 24 25 26 27
      9  25 26 27 28 29 30
      10  28 29 30 31 32 33];

bc=[13 0;          % Frittupplagd på två stöd
    14 0;
    26 0];

K=zeros(33);
f=zeros(33,1);
f(14)=balk;      % Punktlast från balk
f(11)=Q_1;       % Axellast
f(20)=Q_2;
f(26)=balk;

for z=1:1:10
    [Ke, fe]=beam2e(ex(z,:),ey,ep,eq(z,:));
    [K, f]=assem(Edof(z,:),K,Ke,f,fe);
end

[a, r] = solveq(K,f,bc); % Calfem för att lösa ekvationen
ed = extract(Edof,a);    % Calfem för att ta fram
förskjutningar

% Beam2s för att ta fram snittkrafter
es1=beam2s(ex(1,:),ey,ep,ed(1,:),eq(1,:),30);
es2=beam2s(ex(2,:),ey,ep,ed(2,:),eq(2,:),30);
es3=beam2s(ex(3,:),ey,ep,ed(3,:),eq(3,:),30);
es4=beam2s(ex(4,:),ey,ep,ed(4,:),eq(4,:),30);
es5=beam2s(ex(5,:),ey,ep,ed(5,:),eq(5,:),30);
es6=beam2s(ex(6,:),ey,ep,ed(6,:),eq(6,:),30);
es7=beam2s(ex(7,:),ey,ep,ed(7,:),eq(7,:),30);
es8=beam2s(ex(8,:),ey,ep,ed(8,:),eq(8,:),30);
es9=beam2s(ex(9,:),ey,ep,ed(9,:),eq(9,:),30);
es10=beam2s(ex(10,:),ey,ep,ed(10,:),eq(10,:),30);

t =zeros(10,2);

% Tar fram maximal tvärkraft för varje element
t(1,1)=max(abs(es1(:,2)));
t(2,1)=max(abs(es2(:,2)));
t(3,1)=max(abs(es3(:,2)));
t(4,1)=max(abs(es4(:,2)));
t(5,1)=max(abs(es5(:,2)));

```

```

t(6,1)=max(abs(es6(:,2)));
t(7,1)=max(abs(es7(:,2)));
t(8,1)=max(abs(es8(:,2)));
t(9,1)=max(abs(es9(:,2)));
t(10,1)=max(abs(es10(:,2)));

T_max=max(t(:,1));

if T_max > T_ref_max % Tar fram största tvärkraften i loopen
    T_ref_max=T_max;
    forskjutning_max=i;

T1=es1(:,2);
T2=es2(:,2);
T3=es3(:,2);
T4=es4(:,2);
T5=es5(:,2);
T6=es6(:,2);
T7=es7(:,2);
T8=es8(:,2);
T9=es9(:,2);
T10=es10(:,2);
T11=[es4(30,2) es5(1,2)];
T12=[es8(30,2) es9(1,2)];
T13=[es3(30,2) es4(1,2)];
T14=[es6(30,2) es7(1,2)];

end
end

T_maximum=T_ref_max;
forskjutning(j)=forskjutning_max;
Tvarkraft(j)=T_maximum;

% Plottar tvärkraftsdiagram
x1=linspace(0,0.5,30);
x2=linspace(0.5,0.5+i,30);
x3=linspace(0.5+i,0.5+i+1.5,30);
x4=linspace(0.5+i+1.5,L_s,30);
x5=linspace(L_s,L_s+i+0.65,30);
x6=linspace(L_s+i+0.65,L_s+i+2.15,30);
x7=linspace(L_s+i+2.15,L_s+i+3.65,30);
x8=linspace(L_s+i+3.65,11.5-L_s,30);
x9=linspace(11.5-L_s,11,30);
x10=linspace(11,11.5,30);

% Plottar ihop grafen där punktlast verkar
x11=[ex(4,2) ex(5,1)];
x12=[ex(8,2) ex(9,1)];
x13=[ex(3,2) ex(4,1)];
x14=[ex(6,2) ex(7,1)];

farg=['r','g','b','c'];

```

```

plotcolor(j)=plot(x1, -T1, farg(j));
hold on
plot(x2, -T2, farg(j))
plot(x3, -T3, farg(j))
plot(x4, -T4, farg(j))
plot(x5, -T5, farg(j))
plot(x6, -T6, farg(j))
plot(x7, -T7, farg(j))
plot(x8, -T8, farg(j))
plot(x9, -T9, farg(j))
plot(x10, -T10, farg(j))
plot(x10, -T10, farg(j))
plot(x11, -T11, farg(j))
plot(x12, -T12, farg(j))
plot(x13, -T13, farg(j))
plot(x14, -T14, farg(j))

l=linspace(0,11.5,30);
T20=linspace(0,0,30);
plot(l,T20,'k','Linewidth',1) % Plottar bron
title('Tvärkraft för värsta placeringen i tvärled')
xlabel('Brolängd [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

% Beräkning av filfaktorer
Q_tot(j)=-(2*gk*0.5+gp*10.5+2*balk+q_1*3+q_2*3+Q_1+Q_2);
Ra(j)=max(abs(T4(:,1)))+max(abs(T5(:,1)))+abs(balk);
Rb(j)=max(abs(T8(:,1)))+max(abs(T9(:,1)))+abs(balk);

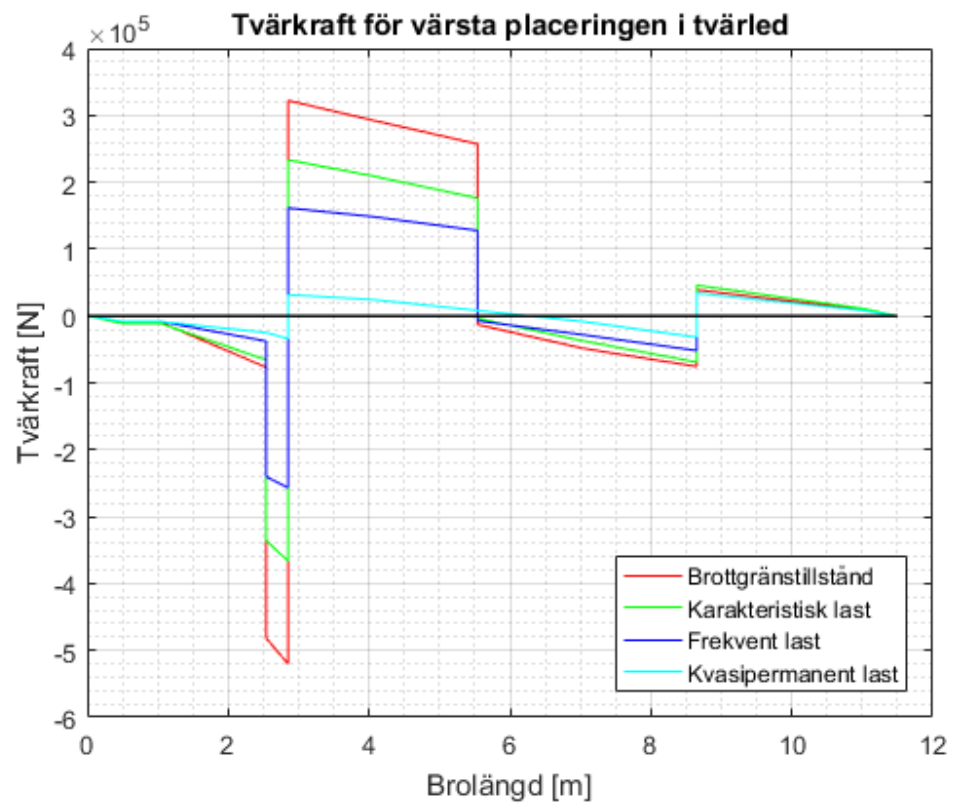
filfaktor_A(j)=Ra(j)/Q_tot(j);
filfaktor_B(j)=Rb(j)/Q_tot(j);
end
grid on
grid minor
namn1={'Brottgränstillstånd','Karakteristisk last','Frekvent
last','Kvasipermanent last'};
legend([plotcolor(1) plotcolor(2) plotcolor(3)
plotcolor(4)],namn1,'Location','southeast')

table(filfaktor_A',filfaktor_B',Tvarkraft', 'VariableNames',
{'Filfaktor_A' 'Filfaktor_B' 'Tvarkraft'}, 'rownames',namn1)

ans =

```

	<i>Filfaktor_A</i>	<i>Filfaktor_B</i>	<i>Tvarkraft</i>
<i>Brottgränstillstånd</i>	0.84887	0.15112	5.201e+05
<i>Karakteristisk last</i>	0.79723	0.20276	3.6661e+05
<i>Frekvent last</i>	0.78717	0.21283	2.5678e+05
<i>Kvasipermanent last</i>	0.5	0.5	33983



Published with MATLAB® R2016b

E MATLAB: CALFEM-funktion för längsledsberäkning

```

function [V,M,ex,ey,ed] =
    momentdiagram_punktlast(L,q_last,ep,utbreddlast ...
        ,andmoment,i,nog,plotttype,intervall)

% Indata:
% L - total längd [L]
% q_last - punktlast [N]
% ep - Tvärsnittsdata [E A I]
% utbreddlast - Utbredd last [N/m]
% andmoment - Ändmoment [Nm]
% i - Position på balken där punktlast placeras
% nog - Noggrannhet på utgående V och M. Antalet värden per meter
% plotttype - Moment- eller tvärkraftsdiagram. Använd "nocalfem_M"
% eller "nocalfem_V"
% intervall - Vilket intervall av balken man är intresserad av för
% max- och minvärden

% Utdata:
% V - Vektor med tvärkrafter. Vektorns storlek är L*nog
% M - Vektor med moment. Vektorns storlek är L*nog
% ex - x-koordinater
% ey - y-koordinater
% ed - Noders förskjutning

if i > L/2
    return
end

%last i fack 1
% en punktlast förflyttas i facket
l_fack1 = (L-25)/2;      % längd fack 1 (mellan vänster ändstöd och
    mittfack)
l_mittfack = 25;          % längd mittfack
l_fack2 = l_fack1;        % längd fack 2 (mellan mittfack och höger
    ändstöd)

% vilka frihetsgrader som associeras med vilket element
edof = [1 1 2 3 4 5 6
        2 4 5 6 7 8 9
        3 7 8 9 10 11 12
        4 10 11 12 13 14 15];

if i>0 && i<=l_fack1
    %förallokerar K och f
    K = zeros(15,15);
    f = zeros(15,1);
    eq=[0 utbreddlast      %varje utbredd last
        0 utbreddlast
        0 utbreddlast
        0 utbreddlast];
    f(5) = q_last;

```

```

f(3) = -andmoment; %moment
f(15) = andmoment;

ex = [0 i
      i l_fack1
      l_fack1 (l_mittfack+l_fack1)
      (l_mittfack+l_fack1) (l_mittfack+l_fack1+l_fack2)]; %x-
koordinater
ey = [0 0]; %y-koordinater

for j=1:4
    [Ke,fe] = beam2e(ex(j,:),ey,ep,eq(j,:));
    [K,f] = assem(edof(j,:),K,Ke,f,fe);
end

%randvillkor
bc = [1 0
      2 0
      8 0
      11 0
      14 0];

[a,r] = solveq(K,f,bc); %Löser
ed = extract(edof,a); %Extraherar förskjutningar
es1 = beam2s(ex(1,:),ey,ep,ed(1,:),eq(1,:),(ex(1,2)-
ex(1,1))*nog); %N,V och M
es2 = beam2s(ex(2,:),ey,ep,ed(2,:),eq(2,:),(ex(2,2)-ex(2,1))*nog);
es3 = beam2s(ex(3,:),ey,ep,ed(3,:),eq(3,:),(ex(3,2)-ex(3,1))*nog);
es4 = beam2s(ex(4,:),ey,ep,ed(4,:),eq(4,:),(ex(4,2)-ex(4,1))*nog);

V = [es1(:,2)
      es2(:,2)
      es3(:,2)
      es4(:,2)];

M = [es1(:,3)
      es2(:,3)
      es3(:,3)
      es4(:,3)];

end

if i == l_fack1
    %förallokerar K och f
    edof = [1 1 2 3 4 5 6
            2 4 5 6 7 8 9
            3 7 8 9 10 11 12];
    K = zeros(12,12);
    f = zeros(12,1);
    eq=[0 utbreddlast    %varje utbredd last
        0 utbreddlast
        0 utbreddlast];
    f(5) = q_last;

```

```

f(3) = -andmoment; %moment
f(12) = andmoment;

ex = [0 l_fack1
      l_fack1 (l_mittfack+l_fack1)
      (l_mittfack+l_fack1) (l_mittfack+l_fack1+l_fack2)]; %x-
koordinater
ey = [0 0]; %y-koordinater

for j=1:3
    [Ke,fe] = beam2e(ex(j,:),ey,ep,eq(j,:));
    [K,f] = assem(edof(j,:),K,Ke,f,fe);
end

%randvillkor
bc = [1 0
      2 0
      5 0
      8 0
      11 0];

[a,r] = solveq(K,f,bc);
ed = extract(edof,a);
es1 = beam2s(ex(1,:),ey,ep,ed(1,:),eq(1,:),(ex(1,2)-ex(1,1))*nog);
es2 = beam2s(ex(2,:),ey,ep,ed(2,:),eq(2,:),(ex(2,2)-ex(2,1))*nog);
es3 = beam2s(ex(3,:),ey,ep,ed(3,:),eq(3,:),(ex(3,2)-ex(3,1))*nog);

V = [es1(:,2)
      es2(:,2)
      es3(:,2)];

M = [es1(:,3)
      es2(:,3)
      es3(:,3)];

end

if i>l_fack1 && i<=L/2
    %förallokerar K och f
    edof = [1 1 2 3 4 5 6
            2 4 5 6 7 8 9
            3 7 8 9 10 11 12
            4 10 11 12 13 14 15];
    K = zeros(15,15);
    f = zeros(15,1);
    eq=[0 utbreddlast    %varje utbredd last
        0 utbreddlast
        0 utbreddlast
        0 utbreddlast];
    f(8) = q_last;
    f(3) = -andmoment; %moment

```

```

f(15) = andmoment;

ex = [0 l_fack1
      l_fack1 i
      i (l_mittfack+l_fack1)
      (l_mittfack+l_fack1) (l_mittfack+l_fack1+l_fack2)]; %x-
koordinater
ey = [0 0]; %y-koordinater

for j=1:4
    [Ke,fe] = beam2e(ex(j,:),ey,ep,eq(j,:));
    [K,f] = assem(edof(j,:),K,Ke,f,fe);
end

%randvillkor
bc = [1 0
      2 0
      5 0
      11 0
      14 0];

[a,r] = solveq(K,f,bc); %Löser
ed = extract(edof,a); %Förflyttningar

%Tar ut N,V och M
es1 = beam2s(ex(1,:),ey,ep,ed(1,:),eq(1,:),(ex(1,2)-ex(1,1))*nog);
es2 = beam2s(ex(2,:),ey,ep,ed(2,:),eq(2,:),(ex(2,2)-ex(2,1))*nog);
es3 = beam2s(ex(3,:),ey,ep,ed(3,:),eq(3,:),(ex(3,2)-ex(3,1))*nog);
es4 = beam2s(ex(4,:),ey,ep,ed(4,:),eq(4,:),(ex(4,2)-ex(4,1))*nog);

V = [es1(:,2)
      es2(:,2)
      es3(:,2)
      es4(:,2)];

M = [es1(:,3)
      es2(:,3)
      es3(:,3)
      es4(:,3)];

end

if plottype == "nocalfem_M" %plottar max-moment-linje
    max_M=max(M(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar max moment
    %från funktion
    min_M=min(M(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar min moment
    max_V=max(V(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar max tvärkraft
    min_V=min(V(intervall(1):intervall(2)*nog));
    plot(linspace(0,L,L*nog),M); hold on
    plot([0 L],[max_M max_M]); %sparar min tvärkraft
    plot([0 L],[min_M min_M]); %plottar min-moment-linje

```

```

set(gca, 'YDir', 'reverse')           %inverterar y-axel
axis([0 L -1.5e7 1.5e7])              %fäster fönsterdimensioner
grid on
grid minor
end

if plottype == "nocalfem_V"            %plottar max-moment-linje
    max_M=max(M(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar max moment
    %från funktion
    min_M=min(M(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar min moment
    max_V=max(V(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar max tvärkraft
    min_V=min(V(intervall(1):intervall(2)*nog));
    plot(linspace(0,L,L*nog),V); hold on
    plot([0 L],[max_V max_V]);          %sparar min tvärkraft
    plot([0 L],[min_V min_V]);          %plottar min-moment-linje
    set(gca, 'YDir', 'reverse')        %inverterar y-axel
    axis([0 L -0.5e7 0.5e7])           %fäster fönsterdimensioner
    grid on
    grid minor
end

```

Published with MATLAB® R2018a

F MATLAB: Laststegning i längsled

```

clc
close all
L = 57;

utbreddlast_trafik = -40350; %Från Trafiklaster.m
utbreddlast_egen = -87300; %Från kandidat_laster.m
q_punkt = -800000; %Från Trafiklaster.m

% q_punkt = 0;
% utbreddlast_trafik = 0;
%utbreddlast_egen = 0;
utbreddlast = utbreddlast_trafik + utbreddlast_egen;

andmoment = -362375;
nog = 4;
ep = [1 1 1];
plotttype = "nocalfem_M";
intervall = [1 L];

k=1;
for i=(1/nog):(1/nog):(L/2)
    clf
    [V,M] =
        momentdiagram_punktlast(L,q_punkt,ep,utbreddlast,andmoment,i,nog,plotttype,intervall)
    pause(1/50)
    title('Lastanimering')
    if plotttype == "nocalfem_M"
        ylabel('Moment [Nm]')
    elseif plotttype == "nocalfem_V"
        ylabel('Tvärkraft [N]')
    end
    xlabel('Längd [m]')

    max_M=max(M(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar max moment
        %från funktion
    min_M=min(M(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar min moment
    max_V=max(V(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar max tvärkraft
    min_V=min(V(intervall(1):intervall(2)*nog)); %sparar min tvärkraft
    MI_max(k,:) = [i max_M]; %Sparar iterationens max-
        min värden
    MI_min(k,:) = [i min_M];
    VI_max(k,:) = [i max_V];
    VI_min(k,:) = [i min_V];
    k=k+1;
end

%Maxmoment i fält
figure
subplot(1,2,1)
plot(MI_max(:,1),MI_max(:,2)); hold on;

```

```

title('Positivt M max')
xlabel('x-koordinat för punktlast [m]')
ylabel('Max positivt moment längs hela balken [Nm]')
grid on
grid minor
subplot(1,2,2)
plot(MI_min(:,1),MI_min(:,2)); hold on;
title('Negativt M max')
xlabel('x-koordinat för punktlast [m]')
ylabel('Max negativt moment längs hela balken [Nm]')
grid on
grid minor

figure;

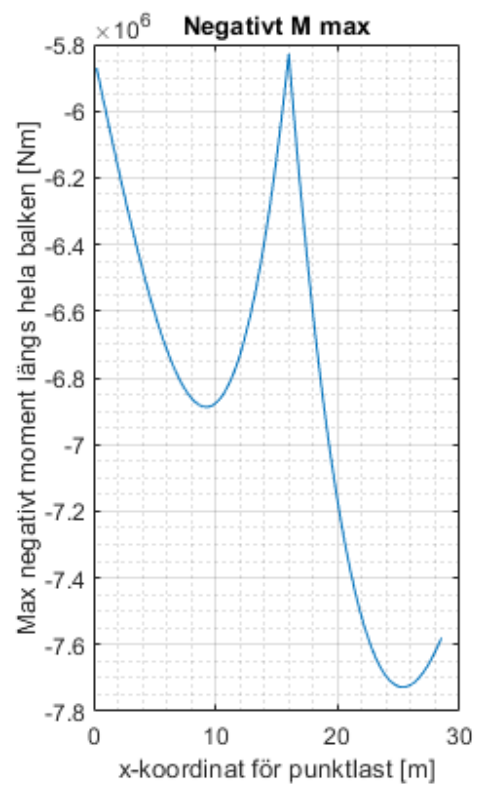
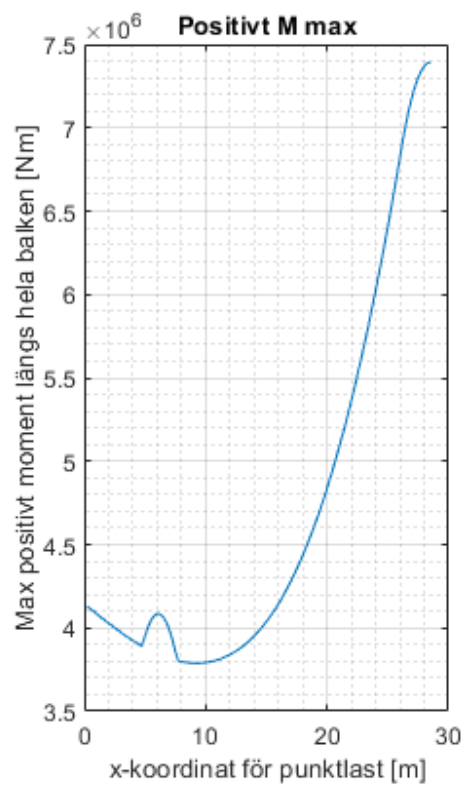
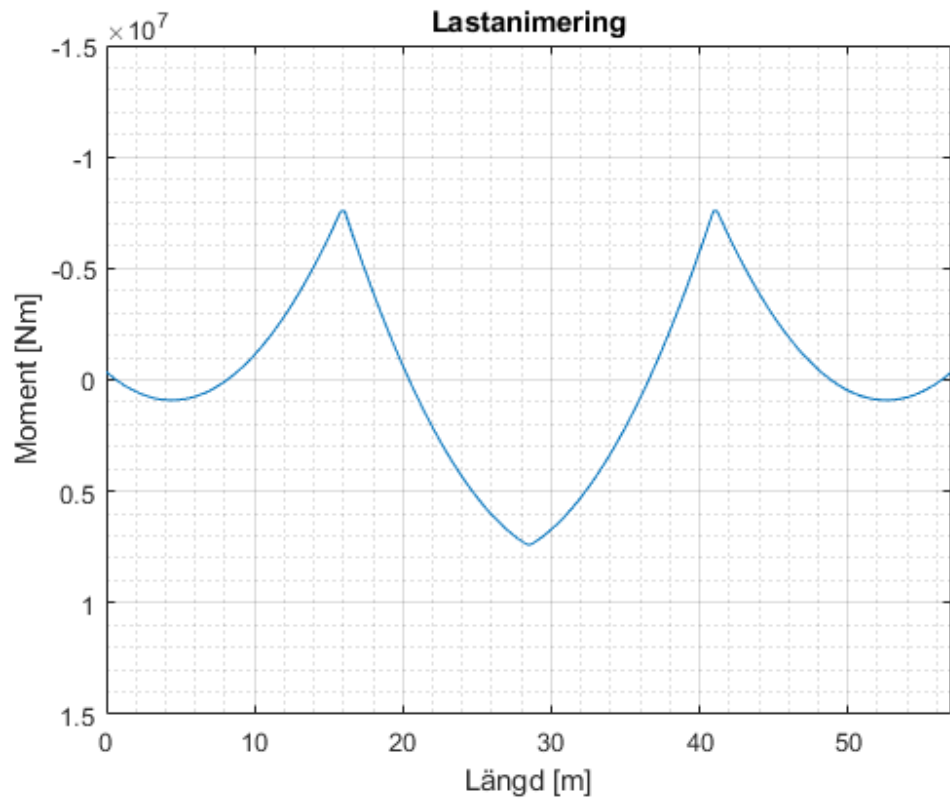
subplot(1,2,1)
plot(VI_max(:,1),VI_max(:,2)); hold on;
title('Positiv V max')
xlabel('x-koordinat för punktlast [m]')
ylabel('Max positiv tvärkraft längs hela balken [N]')
grid on
grid minor
subplot(1,2,2)
plot(VI_min(:,1),VI_min(:,2)); hold on;
title('Negativ V max')
xlabel('x-koordinat för punktlast [m]')
ylabel('Max negativ tvärkraft längs hela balken [N]')
grid on
grid minor

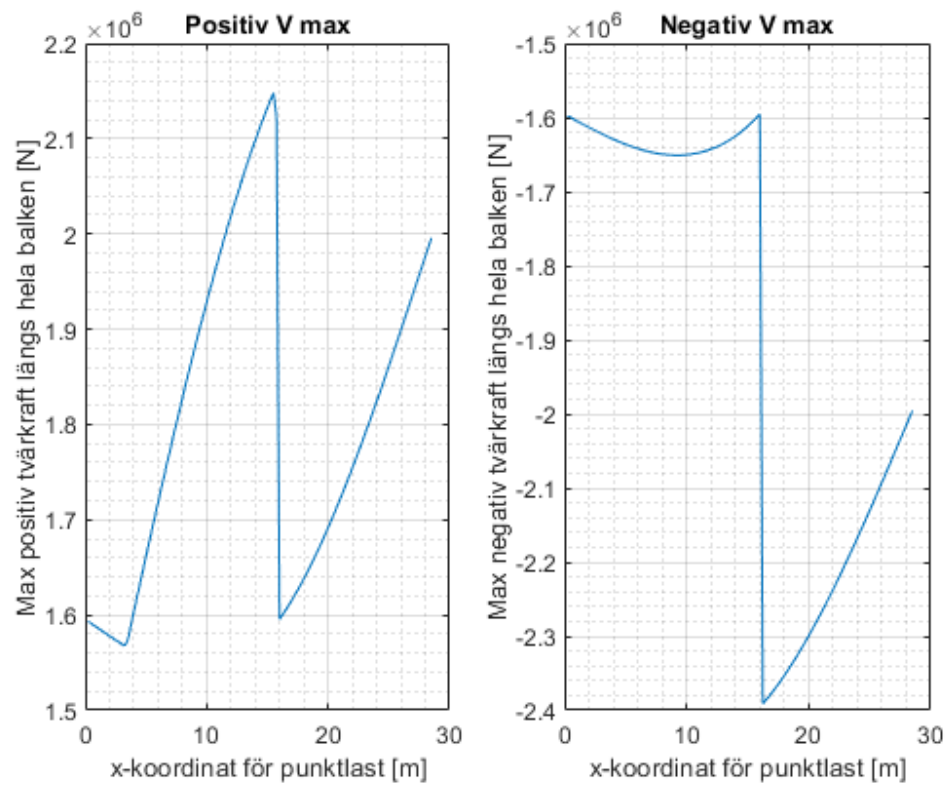
```

```

Warning: Matrix is singular, close to singular or badly scaled.
Results may be
inaccurate. RCOND = NaN.
Warning: Matrix is singular to working precision.

```





Published with MATLAB® R2018a

G MATLAB: Lastberäkning och lastkombinering i längsled

```
%Koefficienter:
gamma_G = 1.35;    %A2.4(A) SS-EN 1990
gamma_Q = 1.5;     %A2.4(A) SS-EN 1990

gaffel_0Q = 0.75; %A2.1 SS-EN 1990
gaffel_0q = 0.4;
gaffel_1Q = 0.75;
gaffel_1q = 0.4;
gaffel_2Q = 0;
gaffel_2q = 0;
gamma_d = 1;
epps = 0.85;

% Trafiklaster:
q_trafik = -40350; %N/m %variabel
Q_trafik = -800000; %N %variabel
q_egen = -87300; %N/m %permanent

Gk = q_egen; %Karakteristiskt värde permanent last
Qk_1 = Q_trafik; %Karakteristiskt värde enstaka variabel last.
qk_2 = q_trafik; %Karakteristiskt värde enstaka variabel last.

% #####Ta fram nya laster#####

% Filfaktorer:
filfak_brott = 0.85;
filfak_kar = 0.80;
filfak_frek = 0.79;
filfak_kvasi = 0.50;

% Brottgräns
% då 6.10b ger högre än 6.10a:
g_brott = gamma_G*epps*q_egen;
q_1_brott = gamma_Q*gaffel_0q*q_trafik*filfak_brott;
Q_1_brott = gamma_Q*Q_trafik*filfak_brott;

% Karakteristisk last
g_kar = q_egen;
q_1_kar = gaffel_0q*q_trafik*filfak_kar;
Q_1_kar = Q_trafik*filfak_kar;

% Frekvent last
g_frek = q_egen;
q_1_frek = gaffel_2q*q_trafik*filfak_frek;
Q_1_frek = gaffel_1Q*Q_trafik*filfak_frek;

% Kvasipermanent last
g_kvasi = q_egen;
q_1_kvasi = gaffel_2q*q_trafik*filfak_kvasi;
```

```

Q_1_kvasi = gaffel_2q*Q_trafik*filfak_kvasi;

% ### Nya plottar###
L = 57;
andmoment = -362375;
nog = 4;
ep = [1 1 1]; %Godtycklig tvärsnittsdata
intervall = [1 L];

%Lastfall 1
[V_1_brott,~] = momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
q_1_brott),andmoment,5.75,nog,"nocalfem_M",intervall); hold on
[V_1_kar,~] = momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar +
q_1_kar),andmoment,5.75,nog,"nocalfem_M",intervall);
[V_1_frek,~] = momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
q_1_frek),andmoment,5.75,nog,"nocalfem_M",intervall);
[V_1_kvasi,~] = momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
q_1_kvasi),andmoment,5.75,nog,"nocalfem_M",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 1 (punktlast 5.75 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')

RA_1_brott = V_1_brott(1);
RB_1_brott = V_1_brott(64)-V_1_brott(65);
RC_1_brott = V_1_brott(164)-V_1_brott(165);
RD_1_brott = V_1_brott(end);

figure

momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
q_1_brott),andmoment,5.75,nog,"nocalfem_V",intervall); hold on
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar +
q_1_kar),andmoment,5.75,nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
q_1_frek),andmoment,5.75,nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
q_1_kvasi),andmoment,5.75,nog,"nocalfem_V",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 1 (punktlast 5.75 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

figure

%Lastfall 2
[V_2_brott,~]=momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
q_1_brott),andmoment,(L/2),nog,"nocalfem_M",intervall); hold on
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar + q_1_kar),andmoment,
(L/2),nog,"nocalfem_M",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek + q_1_frek),andmoment,
(L/2),nog,"nocalfem_M",intervall);

```

```

momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
    q_1_kvasi),andmoment,(L/2),nog,"nocalfem_M",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
    last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 2 (punktlast 28.5 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')

```

```

RA_2_brott = V_2_brott(1);
RB_2_brott = V_2_brott(64)-V_2_brott(65);
RC_2_brott = V_2_brott(164)-V_2_brott(165);
RD_2_brott = V_2_brott(end);

```

figure

```

momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
    q_1_brott),andmoment,(L/2),nog,"nocalfem_V",intervall); hold on
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar + q_1_kar),andmoment,
    (L/2),nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek + q_1_frek),andmoment,
    (L/2),nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
    q_1_kvasi),andmoment,(L/2),nog,"nocalfem_V",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
    last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 2 (punktlast 28.5 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

```

figure

```

%Lastfall 3
[V_3_brott,~] = momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
    q_1_brott),andmoment,25.25,nog,"nocalfem_M",intervall); hold on
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar +
    q_1_kar),andmoment,25.25,nog,"nocalfem_M",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
    q_1_frek),andmoment,25.25,nog,"nocalfem_M",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
    q_1_kvasi),andmoment,25.25,nog,"nocalfem_M",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
    last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 3 (punktlast 25.25 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')

```

```

RA_3_brott = V_3_brott(1);
RB_3_brott = V_3_brott(64)-V_3_brott(65);
RC_3_brott = V_3_brott(164)-V_3_brott(165);
RD_3_brott = V_3_brott(end);

```

figure

```

momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
    q_1_brott),andmoment,25.25,nog,"nocalfem_V",intervall); hold on
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar +
    q_1_kar),andmoment,25.25,nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
    q_1_frek),andmoment,25.25,nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
    q_1_kvasi),andmoment,25.25,nog,"nocalfem_V",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
    last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 3 (punktlast 25.25 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

```

figure

```

%Lastfall 4
[V_4_brott,~] = momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
    q_1_brott),andmoment,16.25,nog,"nocalfem_M",intervall); hold on
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar +
    q_1_kar),andmoment,16.25,nog,"nocalfem_M",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
    q_1_frek),andmoment,16.25,nog,"nocalfem_M",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
    q_1_kvasi),andmoment,16.25,nog,"nocalfem_M",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
    last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 4 (punktlast 16.25 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')

```

```

RA_4_brott = V_4_brott(1);
RB_4_brott = V_4_brott(64)-V_4_brott(65);
RC_4_brott = V_4_brott(164)-V_4_brott(165);
RD_4_brott = V_4_brott(end);

```

figure

```

momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
    q_1_brott),andmoment,16.25,nog,"nocalfem_V",intervall); hold on
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar +
    q_1_kar),andmoment,16.25,nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
    q_1_frek),andmoment,16.25,nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
    q_1_kvasi),andmoment,16.25,nog,"nocalfem_V",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
    last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 4 (punktlast 16.25 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

```

figure

```
%Lastfall 5
[V_5_brott,~] = momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
    q_1_brott),andmoment,0.25,nog,"nocalfem_M",intervall); hold on
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar +
    q_1_kar),andmoment,0.25,nog,"nocalfem_M",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
    q_1_frek),andmoment,0.25,nog,"nocalfem_M",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
    q_1_kvasi),andmoment,0.25,nog,"nocalfem_M",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
    last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 5 (punktlast 0.25 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')
```

```
RA_5_brott = V_5_brott(1);
RB_5_brott = V_5_brott(64)-V_5_brott(65);
RC_5_brott = V_5_brott(164)-V_5_brott(165);
RD_5_brott = V_5_brott(end);
```

figure

```
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_brott,ep,(g_brott +
    q_1_brott),andmoment,0.25,nog,"nocalfem_V",intervall); hold on
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kar,ep,(g_kar +
    q_1_kar),andmoment,0.25,nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
    q_1_frek),andmoment,0.25,nog,"nocalfem_V",intervall);
momentdiagram_punktlast(L,Q_1_kvasi,ep,(g_kvasi +
    q_1_kvasi),andmoment,0.25,nog,"nocalfem_V",intervall);
legend('Brottgränslast','Karakteristisk last','Frekvent
    last','Kvasipermanent last')
title('Lastfall 5 (punktlast 0.25 m)')
xlabel('Längd [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')
```

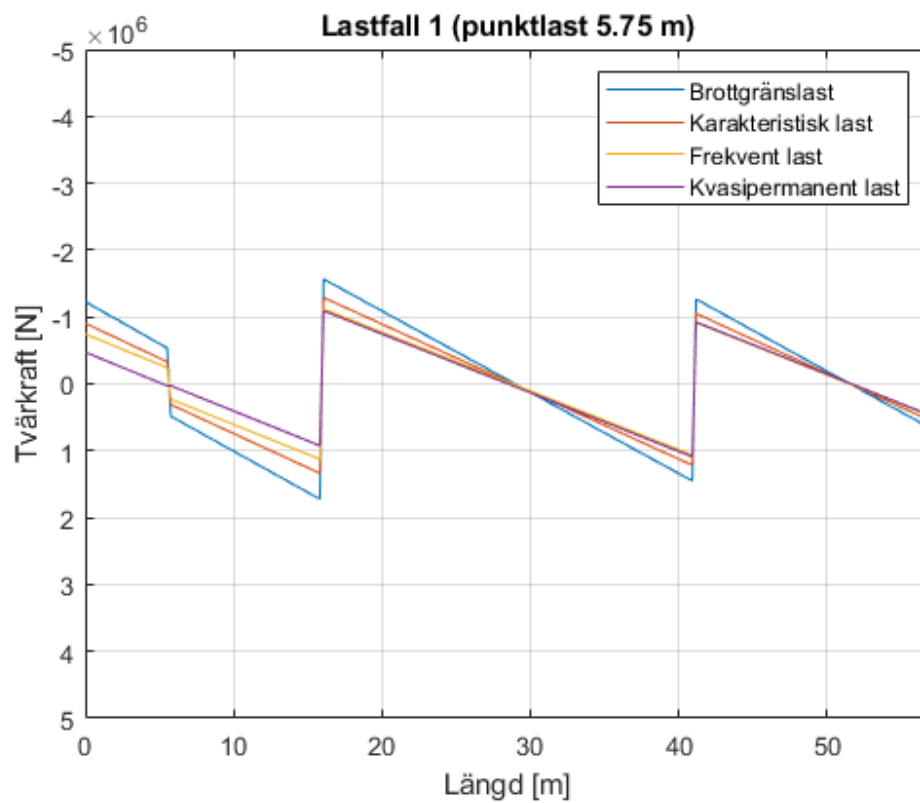
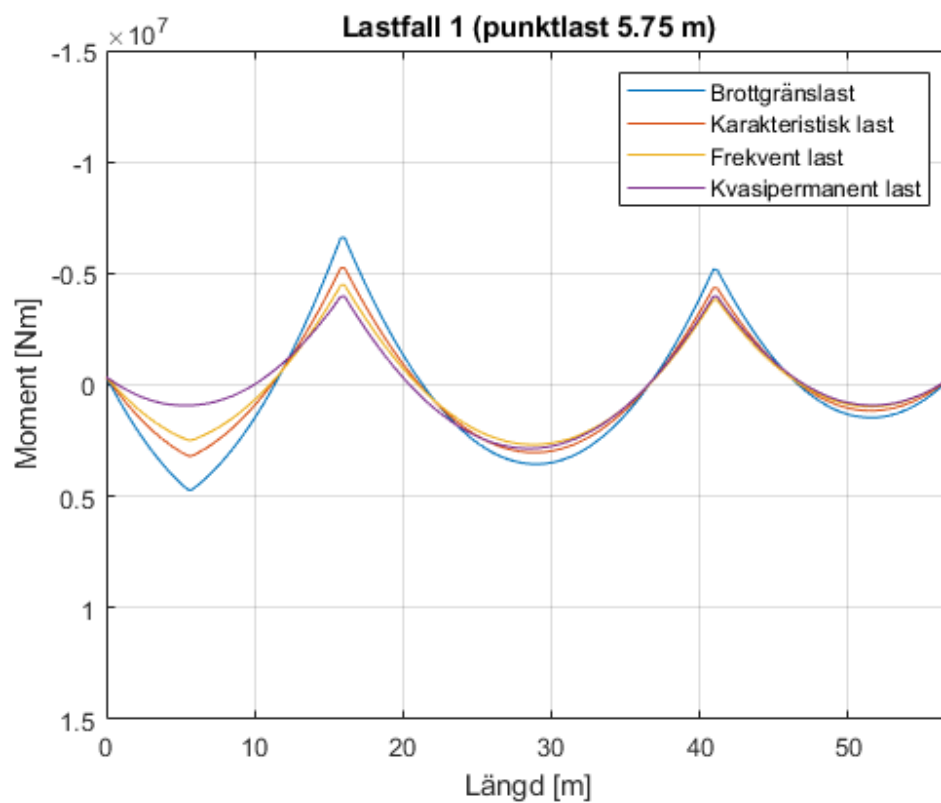
```
%Stödreaktioner samlade i en matris
```

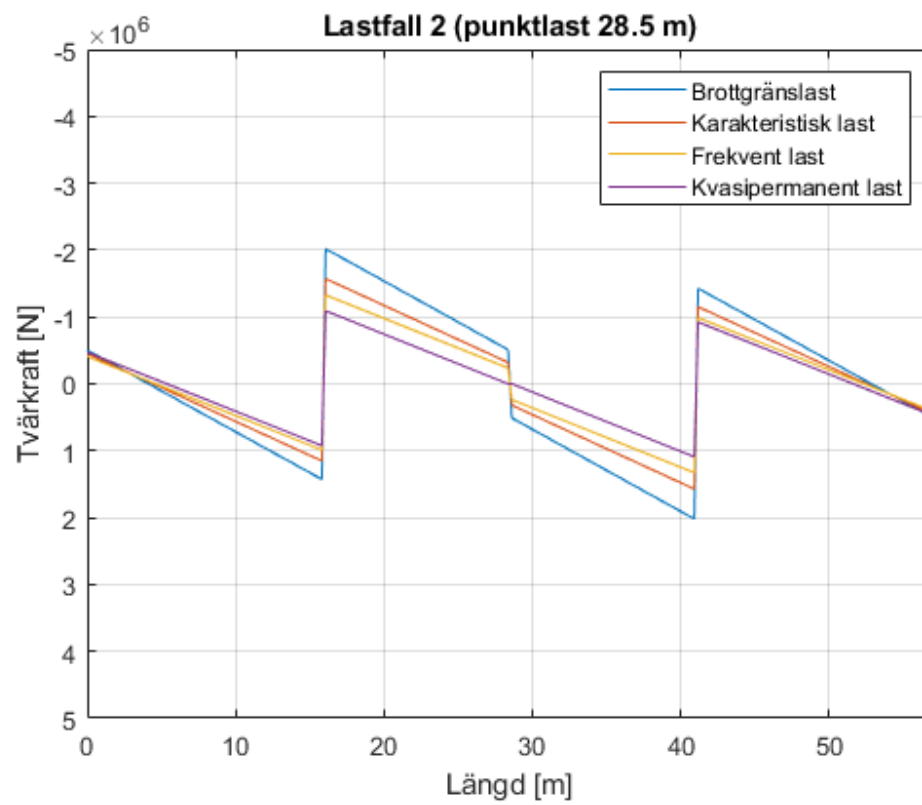
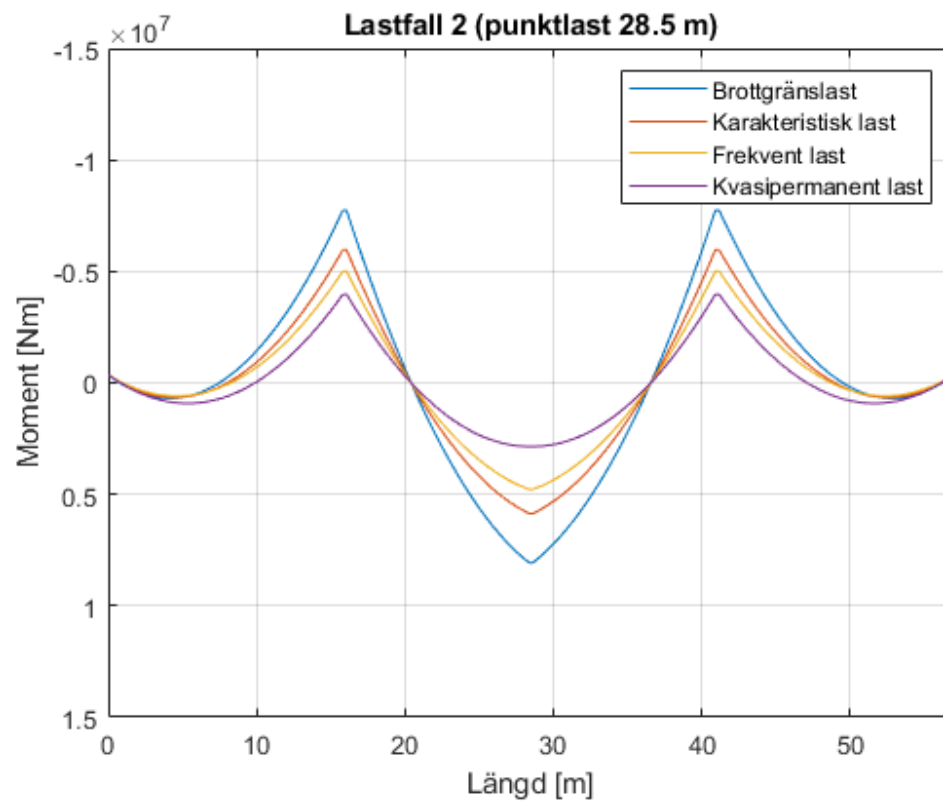
```
stod=[RA_1_brott RA_2_brott RA_3_brott RA_4_brott RA_5_brott
    RB_1_brott RB_2_brott RB_3_brott RB_4_brott RB_5_brott
    RC_1_brott RC_2_brott RC_3_brott RC_4_brott RC_5_brott
    RD_1_brott RD_2_brott RD_3_brott RD_4_brott RD_5_brott]
```

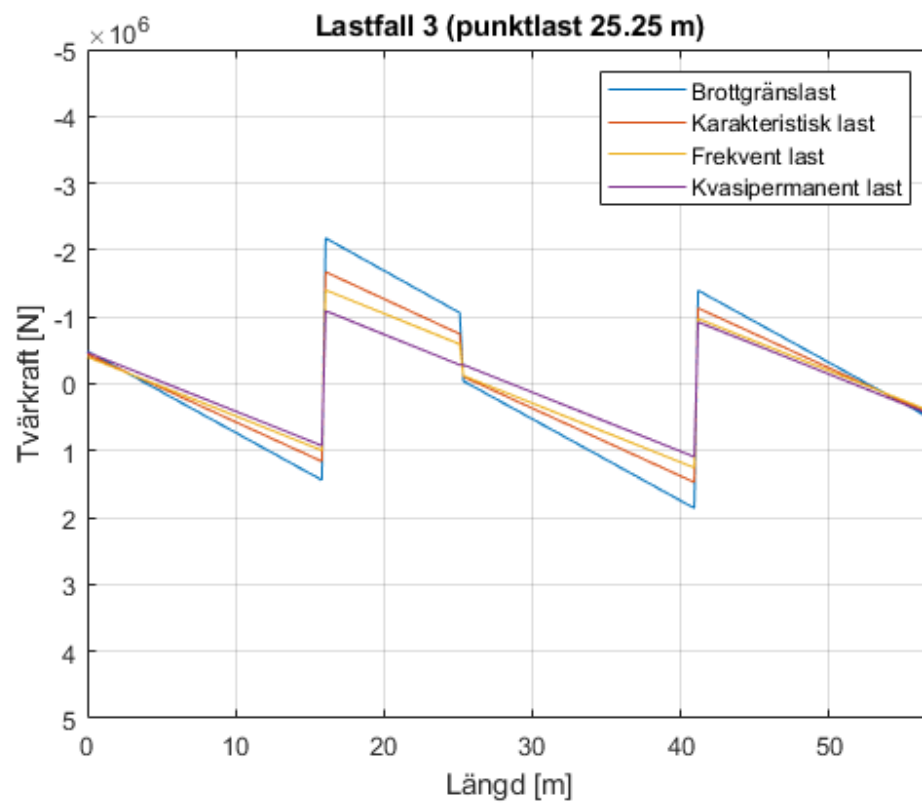
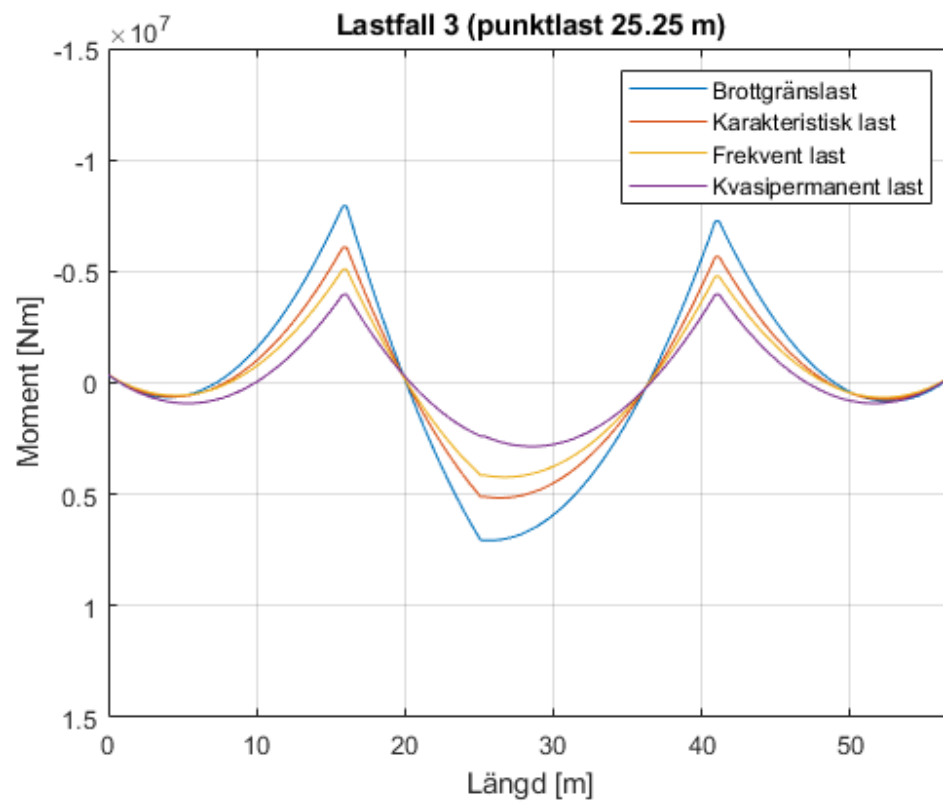
```
stod =
```

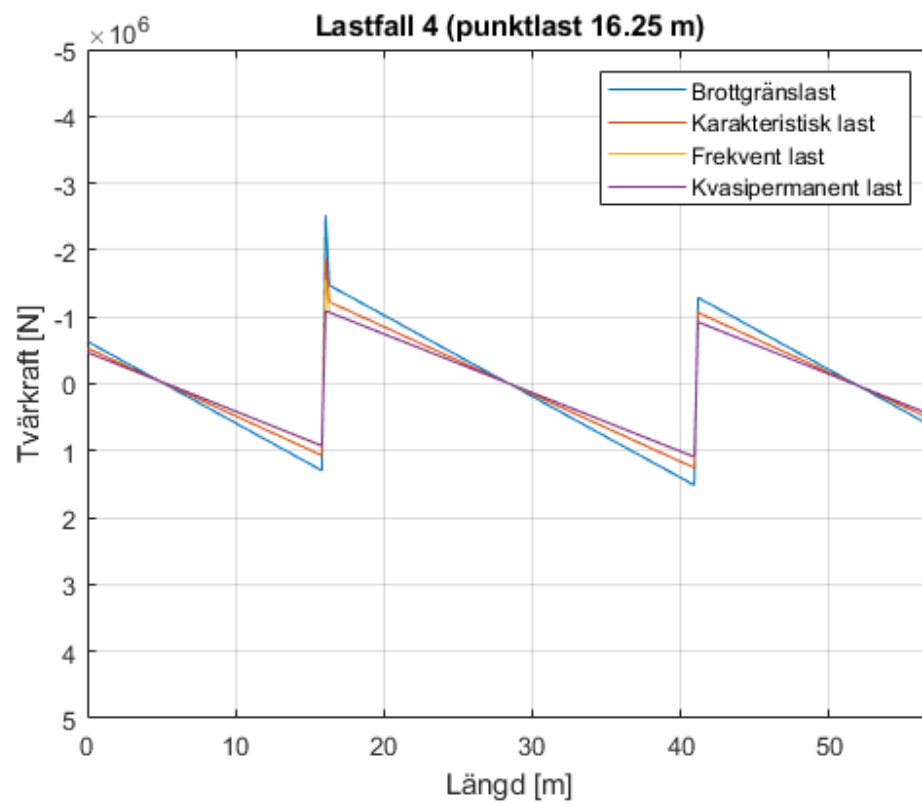
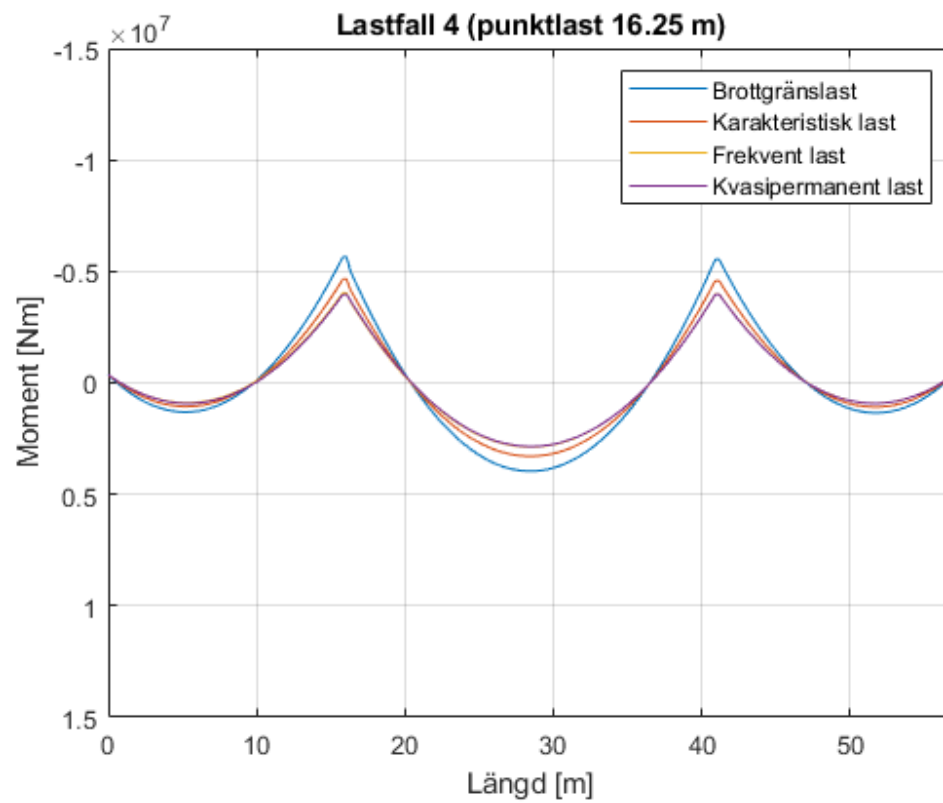
```
1.0e+06 *
```

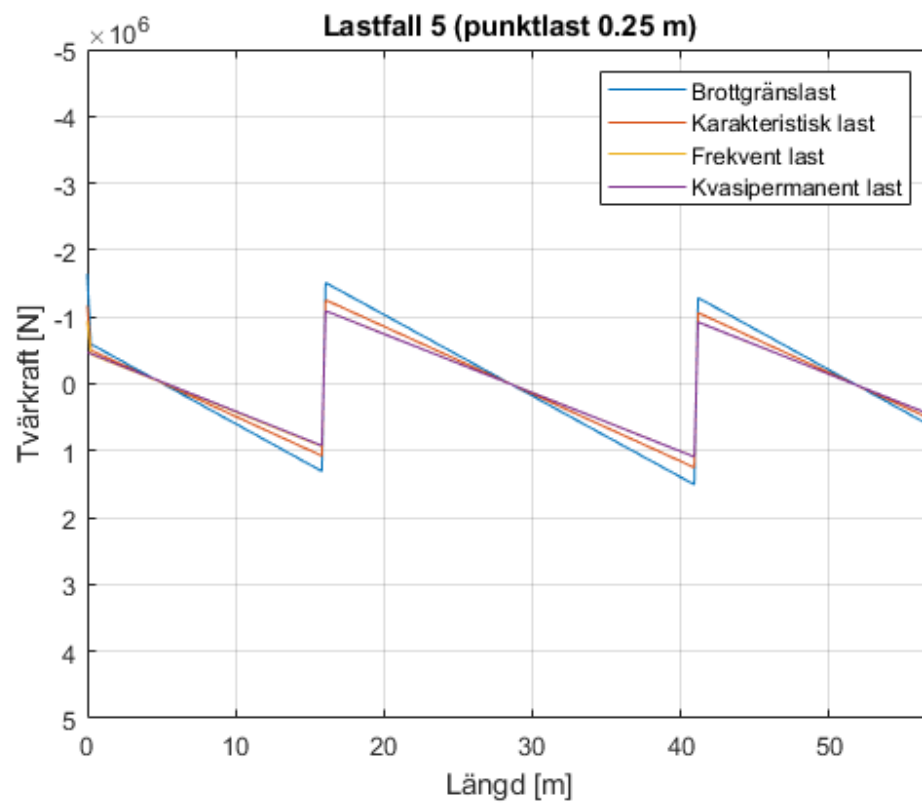
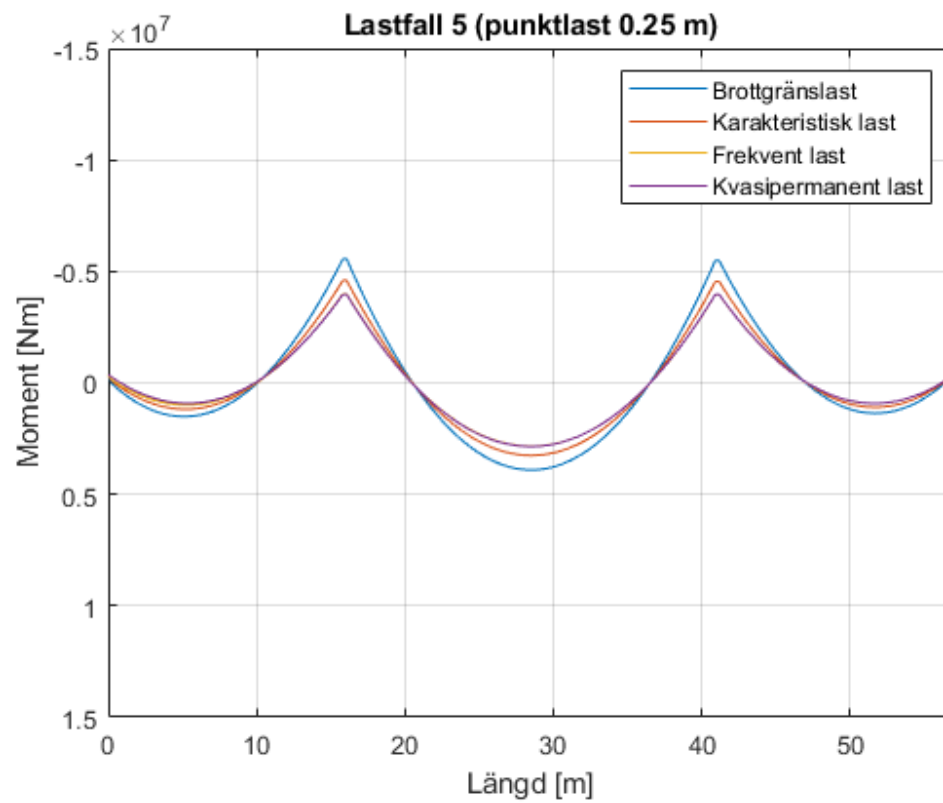
```
-1.2291    -0.5047    -0.4929    -0.6354    -1.6450
 3.2898     3.4468     3.6183     3.8203     2.8194
 2.7189     3.4468     3.2565     2.8052     2.7933
 0.6653     0.5047     0.5353     0.6422     0.6454
```











Published with MATLAB® R2018a

H MATLAB: Nedböjning i längsled

```
%Koefficienter:
gamma_G = 1.35;    %A2.4(A) SS-EN 1990
gamma_Q = 1.5;     %A2.4(A) SS-EN 1990

gaffel_0Q = 0.75; %A2.1 SS-EN 1990
gaffel_0q = 0.4;
gaffel_1Q = 0.75;
gaffel_1q = 0.4;
gaffel_2Q = 0;
gaffel_2q = 0;
gamma_d = 1;
epps = 0.85;

% Trafiklaster:
q_trafik = -40350; %N/m %variabel
Q_trafik = -800000; %N %variabel
q_egen = -87300; %N/m %permanent

Gk = q_egen; %Karakteristiskt värde permanent last
Qk_1 = Q_trafik; %Karakteristiskt värde enstaka variabel last.
qk_2 = q_trafik; %Karakteristiskt värde enstaka variabel last.

% #####Ta fram nya laster#####

% Filfaktorer:
filfak_brott = 0.85;
filfak_kar = 0.80;
filfak_freke = 0.79;
filfak_kvasi = 0.50;

% Brottgräns
% då 6.10b ger högre än 6.10a:
g_brott = gamma_G*epps*q_egen;
q_1_brott = gamma_Q*gaffel_0q*q_trafik*filfak_brott;
Q_1_brott = gamma_Q*Q_trafik*filfak_brott;

% Karakteristisk last
g_kar = q_egen;
q_1_kar = gaffel_0q*q_trafik*filfak_kar;
Q_1_kar = Q_trafik*filfak_kar;

% Frekvent last
g_freke = q_egen;
q_1_freke = gaffel_2q*q_trafik*filfak_freke;
Q_1_freke = gaffel_1Q*Q_trafik*filfak_freke;

% Kvasipermanent last
g_kvasi = q_egen;
q_1_kvasi = gaffel_2q*q_trafik*filfak_kvasi;
```

```

Q_1_kvasi = gaffel_2q*Q_trafik*filfak_kvasi;

% ### Nya plottar###
L = 57;
andmoment = -362375;
nog = 4;
ep = [34e9 1.55 0.26]; %[E A I]
intervall = [1 L];

fall_1 = 5.75;
fall_2 = 28.5;
fall_3 = 25.25;

[V,M,ex,~,ed] = momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
    q_1_frek),andmoment,fall_1,nog,"nocalfem_M",intervall);
close
ey = [0 0
      0 0
      0 0
      0 0];

sfac=scalfact2(ex,ey,ed(3,:),0.02);
plotpar = [2 1 1];
figure;
eldraw2(ex,ey); hold on
eldisp2(ex,ey,ed,plotpar,sfac)
pltscalb2(sfac,[0.01 5 -6]);
title('Nedböjning lastfall 1')
axis([0 L -10 10])
displace = max(abs(ed(:,2)))

figure

[V,M,ex,~,ed] = momentdiagram_punktlast(L,Q_1_frek,ep,(g_frek +
    q_1_frek),andmoment,fall_2,nog,"nocalfem_M",intervall);
close
ey = [0 0
      0 0
      0 0
      0 0];

sfac=scalfact2(ex,ey,ed(3,:),0.2);
plotpar = [2 1 1];
figure;
eldraw2(ex,ey); hold on
eldisp2(ex,ey,ed,plotpar,sfac)
pltscalb2(sfac,[0.03 5 -6]);
title('Nedböjning lastfall 2')
axis([0 L -10 10])
displace = max(abs(ed(:,2)))

ans =

```

690.4715

displace =

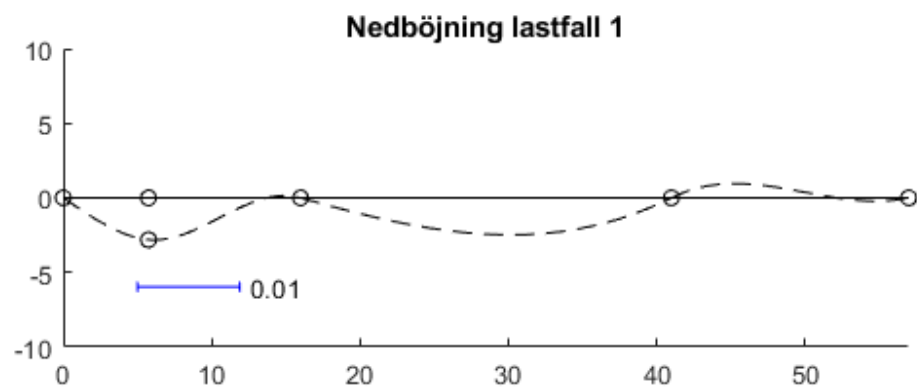
0.0041

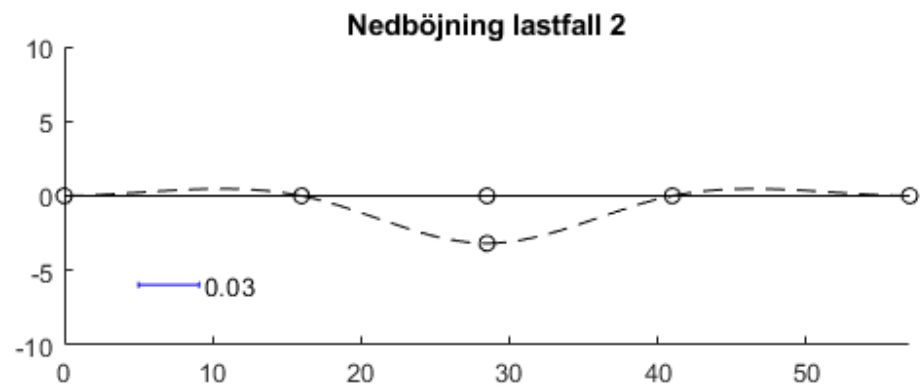
ans =

136.5338

displace =

0.0234





Published with MATLAB® R2018a

I MATLAB: Längdutvidgning till följd av temperaturlast

L?ngdutvidgning pga. temperatur?ndring

SS-EN 1991-1-5 (2.3.8) 6.1 Bro?verbyggnader Betongbro: Typ 3

```
% J?mnt f?rdelad temperaturkomponent (6.1.3)
% fr?n bilaga NB - Ulricehamns kommun
T_max = 34;      % [?C] maximal lufttemp. - karakteristiska v?rden
T_min = -30;     % [?C] minimal lufttemp.
T_emax = 35;     % [?C] fig. 6.1 j?mnt f?rdelad temperaturkomponent
T_emin = -38;    % [?C] fig. 6.1 j?mnt f?rdelad temperaturkomponent

To = 10;         % [?C] temp. d? b?rverket fixeras - bilaga A

% (6.1) kar.v?rde p? maximalt spann - forkrotning
deltaT_Ncon = To - T_emin;
% (6.2) kar.v?rde p? maximalt spann - f?rl?gning
deltaT_Nexp = T_emax - To;

% Linj?r temperaturskillnad (6.1.4)
deltaT_Mheat = 15;      % [?C] tab. 6.1
deltaT_Mcool = 8;       % [?C] tab. 6.1

omegaN = 0.35;
omegaM = 0.75;

% Samtidig inverkan av j?mnt f?rdelad temperaturkomponent &
% komponent f?r temperaturskillnad (6.1.5)
A = deltaT_Mheat + omegaN * deltaT_Nexp;    % (6.3)
B = omegaM * deltaT_Mheat + deltaT_Nexp;    % (6.4)

C = deltaT_Mcool + omegaN * deltaT_Ncon;    % (6.3)
D = omegaM * deltaT_Mcool + deltaT_Ncon;    % (6.4)

% [1/?C] linj?r l?ngdutvidgningskoefficient f?r betong tab. C.1
alpha_T = 10*10^-6;

% L?ngdutvidgning i l?ngsled
delta_T = D;           % [?C] temperaturskillnad
L = 60;                % [m] sp?nnvidd
% [m] l?ngdutvidgning som ger upphov till tv?ngskrafter
delta_L = alpha_T * L * delta_T

delta_L =

    0.0324
```

Published with MATLAB® R2016b

J MATLAB: Broms- och accelerationslast

4.4.1 Bromskraft

SS-EN 1991-2 Eurokod 1: Laster p? b?rverk - Del 2: Trafiklast p? broar Bromskraften Q_{1k} [kN]

```
alpha_Q1 = 1;      % anpassningsfaktor
Q_1k = 300;        % [kN]
q_1k = 9;          % [kN/m2]
w_1 = 3;           % [m] bredden p? ett k?rf?lt till en v?gbro
alpha_q1 = 1;      % anpassningsfaktor
L = 60;            % [m] brobanans l?ngd

Q_1k = 0.6*alpha_Q1*2*Q_1k + 0.10*alpha_q1*q_1k*w_1*L    % (4.6)

% Kontroll av bromskraft
min = 180 * alpha_Q1;    % [kN]
max = 900;               % [kN]

if Q_1k > min & Q_1k < max
    disp('Bromskraft inom intervall - OK')
else
    disp('Bromslast ej inom intervall - ej OK')
end

Q_1k =

    522

Bromskraft inom intervall - OK
```

Published with MATLAB® R2016b

K MATLAB: Resulterande jordtryck

Jordtryck

Enligt SS-EN 1997-1 Material motfyllnad bro - krossad sprängsten

```
% Höjd ändskärm
```

```
z = 2; %[m]
```

```
% längdutvidgning pga temperatur skillnad
```

```
delta = 0.0324; %[m]
```

```
% kontroll om fullt utvecklat passivt jordtryck
```

```
kontroll = 1/200 * z; %[m]
```

```
if delta > kontroll
```

```
    disp 'Fullt passivt jordtryck'
```

```
else
```

```
    disp 'Ej Fullt passivt jordtryck'
```

```
end
```

```
% Tunghet
```

```
gamma = 18; %[kN/m3]
```

```
% Rasvinkel
```

```
fi = 40;    %[deg]
```

```
% passivtjordtryckskoefficient enligt fig C.2.1
```

```
kp = 4.6;    %[-]
```

```
% Vertikal effektivspänning
```

```
sigmav = gamma * z; %[kPa]
```

```
% Passivt jordtryck
```

```
pp = sigmav * kp %[kPa]
```

```
% Resulterande kraft mot ändskärm
```

```
R = pp * 2 * 1/2 %[kN/m]
```

```
Fullt passivt jordtryck
```

```
pp =
```

```
165.6000
```

```
R =
```

```
165.6000
```

Published with MATLAB® R2017a

L MATLAB: Dimensionering - Tvärled

Table of Contents

Dimensionering - Tvärled	1
BERÄKNING AV BÄRFÖRMÅGA - MRd	4
BERÄKNING AV TVÄRKRAFTSARMERING	5
BERÄKNING AV SPRICKMOMENT - M _{cr}	8

Dimensionering - Tvärled

Enligt SS-EN 1992-1-1

```
clear all
clc

% Lasteffekter
% Moment [stöd, fält] [Nm]
MEd = [492.16*10^3, 698.24*10^3];
% Tvärkraft [N]
VEd = 520.1*10^3;

% Reduktion av dimensionerande moment över stöd 1 & 2
FEd_sup = 885.27*10^3;           % [N] dimensionerande
    upplagsreaktion
t = 1.5;                         % [m] upplagsbredd, bw
delta_MEd = FEd_sup * t/8;       % (5.9)
MEd(1) = MEd(1) - delta_MEd;

% Tvärsnittsdimensioner [m]
bw = 1.5;
hw = 1;
bt = 1;           % räknar per längdmeter
tf = 0.35;
h = hw + tf;
cc = 5.8;
a = bw;           % upplagslängd

% Preliminär effektiv höjd, antar täckande btg.skikt 100 mm, [m]
d = tf - 0.1;
d_prim = 0.1;

% Uppskattning av inre hävarm [m]
z = 0.9*d;

% MATERIALDATA
%
-----
% Armeringsstål B500B
fyk = 500*10^6;      % [Pa] karakteristisk flytgräns (tab. B2.11)
gamma_s = 1.15;      % paritalkoefficient
fyd = fyk/gamma_s;   % [Pa] dimensionerande flytgräns (B2-25)
Es = 200*10^9;       % [Pa]
```

```

fywd = fyd;           % [Pa]

Ds = 25*10^-3;        % [m] diameter - dragarmering
Dw = 10*10^-3;        % [m] diameter - bygelarmering

% Betong C35/45
fcm = 43*10^6;         % [Pa] medeltryckhållfasthet (tab. 3.1)
fctm = 3.2*10^6;       % [Pa] medeldraghållfasthet (tab. 3.1)
fck=35*10^6;           % [Pa] Tabell B2.1
gamma_C = 1.5;         % [-] partialkoefficient (tab. 2.1N)
alpha_cc = 1.0;        % [-] partialkoefficient
fcd = (alpha_cc * fck)/gamma_C; % [Pa] (3.15)
Ecm = 34*10^9;         % [Pa] elasticitetsmodulens medelvärde (tab. 3.1)
e_cu = 3.5*10^-3;      % [-]

%
-----
% BERÄKNING AV DRAGARMERING
% Antar att armeringen flyter, dvs sigma_s = fyd
% Uppskattning av erforderlig dragarmeringsarea
As = MEd./(fyd*z);      % [m2]

% Area för en armeringsstång
Asi = (pi * Ds^2)/4;    % [m2]
% Antal armeringsstänger i [stöd, fält]
n = ceil(As / Asi);

% Erforderlig armeringsmängd [stöd, fält]
As = Asi .* n;          % [m2]

% Kontroll minimi- & maximiarmering (9.2.1.1)
% Kontroll minimiarmering (9.1N)
As_min = 0.26*(fctm/fyk)*bt*d;
if As_min <= 0.0013*bt*d
    As_min = 0.0013*bt*d
end

% Kontrollerar att As inte understiger As_min
for i = 1:2
    if As(i) < As_min
        As(i) = (ceil(As_min/Asi))*Asi;
    end
end

% Tvärsnittets bruttoarea
Ac = tf*bt;             % [m2]
% Maximiarmering
As_max = 0.04*Ac;        % [m2]

% Kontrollerar att As inte överstiger As_max
if max(As) <= As_max
    disp('As < As_max - OK')
else
    disp('As > As_max - ej OK')
end

```

```

end

% Vid eventuella ändringar av As görs ny beräkning av antalet
% armeringsstänger
n = As/ Asi
% Slutgiltig erforderlig armeringsmängd [stöd, fält]
As = Asi .* n;          % [m2]

% BERÄKNING AV TÄCKANDE BETONGSKIKT SAMT LIVBREDD
% Nominell tjocklek, minsta täckande betongskikt, cnom [m] (4.4.1.2)
cmin_b = Ds;
cmin_dur = 0.035;
cmin = max([cmin_b, cmin_dur, 0.010]);      % (4.2)
deltac_dev = 0.01;
cnom = cmin + deltac_dev                    % (4.1)

% Minsta avstånd mellan armeringsstänger, Smin (8.2(2))
k1 = 1.0;
dg = 0.02;          % största kornstorlek för ballast, (antaget)
k2 = 0.005;
Smin = max([k1*Ds, dg+k2, 0.02])           % [m]

% Erforderlig bredd för att rymma armering per längdmeter
bmin = 2*cnom + 4*Dw + max(n)*Ds + (max(n)-1)*Smin % [m]

% Kontroll att armeringen ryms per längdmeter
if bmin <= bt
    disp('Armeringen ryms')
else
    disp('Armeringen ryms ej')
end

As < As_max - OK

n =

    7    15

cnom =

    0.0450

Smin =

    0.0250

bmin =

    0.8550

Armeringen ryms

```

BERÄKNING AV BÄRFÖRMÅGA - MRd

Tryckblocksfaktorer för betong

```
alpha = 0.81;  
beta = 0.416;
```

```
% Beräkning av effektivhöjd  
d = tf - (cnom + Dw + Ds/2); % [m]  
d_prim = cnom + Dw + Ds/2; % [m]
```

```
% Trycktt betong [stöd, fält]  
b_tryckt = bt; % [m]
```

```
% Väljer 4 st armeringsstänger i tryckt zon för att fixera  
bygelarmering  
As_prim = 4 * Asi;
```

```
% Antar att armeringen flyter  
Fs = As .* fyd; % [N]  
Fs_prim = As_prim * fyd*[1, 1]; % [N]
```

```
% Jämvikt ger neutrala planet (x)  
% Antar att Fs_prim är tryckt  
x = (Fs - Fs_prim)./(fcd .* b_tryckt * alpha); % [m]
```

```
% Kontroll att armeringen är tryck, om x < d_prim är armeringen dragen  
% beräknas nytt x
```

```
for i = 1:2  
    if x(i) < d_prim  
        x(i) = (Fs(i) + Fs_prim(i))./(fcd * b_tryckt * alpha);  
    end  
end
```

```
% Kontroll att armeringen flyter  
e_s = (d-x)./x * e_cu;  
e_s_prim = abs((d_prim-x)./x * e_cu);  
% Stålets flyttöjning  
e_y = fyd/Es;
```

```
% Då stålet ej flyter beräknas ny stålkraft  
for i = 1:2  
    if e_s_prim(i) < e_y  
        Fs_prim(i) = As_prim * Es .* e_s_prim(i);  
    end  
end
```

```
% D? stålet ej flyter görs ny beräkning utav x  
for i = 1:2  
    if e_s_prim(i) < e_y  
        x(i) = (Fs(i) - Fs_prim(i))./(fcd * b_tryckt * alpha);  
    end  
end
```

```

% Kontroll att armeringen är tryckt, om  $x < d_{\text{prim}}$  är armeringen
  dragen
% beräknas nytt  $x$ , endast en iterering görs
for i = 1:2
    if  $x(i) < d_{\text{prim}}$ 
         $x(i) = (F_s(i) + F_{s_{\text{prim}}(i)}) ./ (f_{cd} * b_{\text{tryckt}} * \alpha);$ 
    end
end

% Momentjämvikt kring  $F_s$  ger  $MR_d$  [Nm]
 $F_c = \alpha * f_{cd} * b_{\text{tryckt}} * x;$  % [N]
 $MR_d = \text{zeros}(1,2);$ 
for i = 1:2
    if  $x(i) < d_{\text{prim}}$ 
         $MR_d(i) = F_c(i) * (d - \beta * x(i)) - F_{s_{\text{prim}}(i)} * (d - d_{\text{prim}});$ 
    else
         $MR_d(i) = F_c(i) * (d - \beta * x(i)) + F_{s_{\text{prim}}(i)} * (d - d_{\text{prim}});$ 
    end
end

% Kontroll av  $MR_d$ , om  $MR_d < M_{Ed}$  ökas  $n$  tills  $MR_d > M_{Ed}$ 
if  $MR_d > M_{Ed}$ 
    disp('MRd > MEd - OK')
else
    disp('MRd < MEd - ej OK')
end

% Kontroll segt verkningssätt
for i = 1:2
    if  $x(i) \leq 0.45 * d$ 
        disp('Segt verkningssätt')
    else
        disp('Ej segt verkningssätt')
    end
end

% Utnyttjandegrad
utnyttjandegrad =  $M_{Ed} ./ MR_d$ 

MRd > MEd - OK
Segt verkningssätt
Ej segt verkningssätt

utnyttjandegrad =

    0.5135    0.9749

```

BERÄKNING AV TVÄRKRAFTSARMERING

% TVÄRKRAFTSKAPACITET UTAN TVÄRKRAFTSARMERING

```

%
-----
% Kontroll - Livtryckbrott
v = 0.6*(1-((fck*10^-6)/250));           % (6.6N)
VRd_max = 0.5 * bt * d * v * fcd;       % [N] (6.5)
if max(VEd) <= VRd_max
    disp('Ingen risk för livtryckbrott')
else
    disp('Risk för livtryckbrott')
end

% Kontroll - Skjuvglidbrott
% Kritiska snitt där tvärkraften kontrolleras
% Antar vinkel på betongtrycksträva 45°, ger x = a/2 + 0.9*d
% Dimensionerande tvärkraft vid kritiskt snitt
VEd_kontroll = 297.6*10^3;               % [N]

C_Rdc = 0.18/gamma_C;
k = 1+sqrt(200/(d*10^3));
if k <= 2.0
    disp('k - OK')
else
    disp('k - ej OK')
end

% Arean hos dragarmering i stödsnitt
Asl = As(1);                             % [m2]
roh_l = (Asl/(bt*d));
if max(roh_l) <= 0.02
    disp('roh_l - OK')
else
    disp('roh_l - ej OK')
end

% Dimensionerande bärförmåga för tvärkraft för betong utan
% tvärkraftsarmering (6.2.a)
VRdc = ((C_Rdc * k * ((100*roh_l*(fck*10^-6))^(1/3))))*bt*d)*10^6; % [N]

v_min = 0.035 * k^(3/2) * (fck*10^-6)^0.5; % (6.3N)
if VRdc <= (v_min*bt*d)*10^6
    VRdc = (v_min*bt*d)*10^6
end

if VEd_kontroll > VRdc
    disp('Risk för skjuvglidbrott, tvärkraftsarmering krävs')
else
    disp('Ej risk för skjuvglidbrott, tvärkraftsarmering krävs ej')
end

% TVÄRKRAFTSARMERING KRÄVS
%
-----
% Vertikal tvärkraftsarmering

```

```

theta = 35; % [°] (6.7N) vinkel mellan betongtrycksträvan och
balkaxel
alpha = 90; % [°] vinkel mellan tvärkraftsarmering och balkaxel

% Kritiska snitt där tvärkraften kontrolleras
% Antar vinkel på betongtrycksträva 35°, ger  $x = a/2 + 0.9*d*\cot(\theta)$ 
% Dimensionerande tvärkraft vid kritiskt snitt
VEd_kontroll = 291*10^3; % [N]

% Kontroll - Livtryckbrott
alpha_cw = 1.0; % bärverk utan förspänning
v1 = v;

% Maximal dimensionerande bärförmåga för tvärkraft begränsad av
krossning
% i trycksträvor
VRd_max = (alpha_cw*bt*z*v1*fcd)/(cot(theta) + tan(theta)); % [N]
(6.9)

if VRd_max >= VEd_kontroll
    disp('OK - Livtryckbrott')
else
    disp('ej OK - Livtryckbrott')
end

% Dimensionering m.h.t. skjuvglidbrott
% Dimensionerande bärförmåga för tvärkraft begränsad av flytning i
% tvärkraftsarmering, VRds > VEd_kontroll, tsm. med (6.8) fås:
VRd_s = VEd_kontroll; % [N]

% Maximalt avstånd i tvärled mellan tvärkraftsarmeringens skänklar
St_max = 0.75 * d; % [m]
if St_max >= 0.6
    St_max = 0.6
end

% Med hänsyn till maximalt avstånd i tvärled mellan
tvärkraftsarmeringens
% skänklar väljs 3 st byglar per längdmeter
% Tvärkraftsarmeringens area, 3 byglar ger 6 stänger
Asw = 6 * (Dw^2*pi)/4; % [m2]
% Erfordeligt avstånd mellan tvärkraftsbyglar
S = (Asw/VRd_s) * z * fywd * cot(theta); % [m]

% Minsta tvärsarmeringsinnehåll
roh_w_min = 0.000947; % [m2] enl. tab. B6.1 utefter btg C35/45

% Minsta S-avstånd i fält med hänsyn till minsta armeringsmängd
S_min = Asw/(roh_w_min*bt*sin(alpha)); % [m]

% Kontroll av maximalt bygelavstånd
Sl_max = 0.75*d*(1+cot(alpha)); % [m] (9.6N)
if S >= Sl_max

```

```

        S = Sl_max
    end
    if S_min >= Sl_max
        S_min = Sl_max
    end

    % Tvärameringsinnehåll
    roh_w = Asw./(S*bt*sin(alpha)); % (9.4)
    % Kontroll av minsta mängd armeringsmängd
    if roh_w >= roh_w_min
        disp('roh_w - OK')
    else
        disp('roh_w - ej OK')
    end

    % Väljer konstant S-avstånd över hela balken till 100 mm
    S = 0.1 %[m]

    %Tvärkraftskapacitet
    VRd_s = ((z*cot(theta))/S)*fywd*Asw % [N]

    Ingen risk för livtryckbrott
    k - OK
    roh_l - OK
    Risk för skjuvglidbrott, tvärkraftsarmering krävs
    OK - Livtryckbrott

    S =

        0.1057

    S_min =

        0.1057

    roh_w - OK

    S =

        0.1000

    VRd_s =

        9.7294e+05

```

BERÄKNING AV SPRICKMOMENT - M_{cr}

Beräkning av tvärsnittets tyngdpunkt (tp), stadium I (avstånd från ovankant)

tp = tf/2; % [m]

```
% Beräkning av tvärsnittets yttröghetsmoment (I), stadium I
I = (bt * tf^3)/12; % [m4]

% Faktor som beaktar tvärsnittets höjd
k = 1.6 - tf;
if k < 1
    k = 1;
end

% Betongspänning då sprickor uppstår
sigma_cr = fctm * k; % [Pa]

% Lasteffekt då böjsprickor uppstår, (Naviers formel)
Mcr = sigma_cr * I / tp; % [N]

if Mcr < max(MEd)
    disp('Böjsprucket tvärsnitt')
else
    disp('Ej böjsprucket tvärsnitt')
end

Böjsprucket tvärsnitt
```

Published with MATLAB® R2017a

M MATLAB: Dimensionering - Längsled

Table of Contents

Dimensionering - Längsled	1
BERÄKNING AV BÄRFÖRMÅGA - MRd	5
BERÄKNING AV TVÄRKRAFTSARMERING	7
BERÄKNING AV SPRICKMOMENT - M _{cr}	10
BERÄKNING AV SPRICKBREDD - W _k	10

Dimensionering - Längsled

Enligt SS-EN 1992-1-1

```
clear all
clc

% Lasteffekter
% Moment [stöd 1, fält 1, stöd 2, fält 2] [Nm]
MEd = [362.375*10^3, 4.709*10^6, 7.932*10^6, 8.065*10^6];
% Tvärfkraft [stöd 1, stöd 2] [N]
VEd = [1.645*10^6, 2.524*10^6];

% Reduktion av dimensionerande moment över stöd 1 & 2
FEdsup = [492.942*10^3, 3.618*10^6]; % [N] dimensionerande
upplagsreaktion
t = 0.4; % [m] lagerplattans bredd
delta_MEd = FEdsup .* t/8; % (5.9)
MEd(1) = MEd(1) - delta_MEd(1);
MEd(3) = MEd(3) - delta_MEd(2);

% Tvärsnittsdimensioner [m]
bw = 1.5;
hw = 1;
bt = 5.25;
tf = 0.35;
h = hw + tf;
cc = 5.8;
a = 0.5;

% Medverkande flänsbredd [m] (5.3.2.1)
l1 = 1.5;
l2 = 16;
l3 = 25;

l0_s1 = 0.15*l2+l1;
l0_f1 = 0.7*l2;
l0_s2 = 0.15*(l2+l3);
l0_f2 = 0.7*l3;
l0 = [l0_s1, l0_f1, l0_s2, l0_f2];

b1 = 1.6;
```

```

b2 = (cc - bw)/2;
bt = b1 + b2 + bw;

beff_1 = 0.2*b1 + 0.1*l0;    % [m] (5.7a),(5.7b)
for i=1:4
    if beff_1(i) >= 0.2*l0(i)
        beff_1(i) = 0.2*l0(i);
    elseif beff_1(i) >= b1;
        beff_1(i) = b1;
    end
end

beff_2 = 0.2*b2 + 0.1*l0;    % [m] (5.7a),(5.7b)
for i=1:4
    if beff_2(i) >= 0.2*l0(i)
        beff_2(i) = 0.2*l0(i);
    elseif beff_2(i) >= b2;
        beff_2(i) = b2;
    end
end

% Medverkande flänsbredd - beff [stöd 1, fält 1, stöd 2, fält 2] [m]
% (5.7)
beff = beff_1 + beff_2 + bw

% Bredd p? dragzon [stöd 1, fält 1, stöd 2, fält 2] [m]
bt = [beff(1), bw, beff(3), bw];

% Preliminär effektiv höjd, antar täckande btg-skikt 100 mm, [m]
d = h - 0.1;

% Uppskattning av inre hävarm [m]
z = 0.9*d;

% MATERIALDATA
%
% -----
% Armeringsstål B500B
fyk = 500*10^6;    % [Pa] karakteristisk flytgräns
gamma_s = 1.15;    % [-] paritalkoefficient
fyd = fyk/gamma_s; % [Pa] dimensionerande flytgräns
Es = 200*10^9;     % [Pa] elasticitetsmodulens
fywd = fyd;        % [Pa]

Ds = 25*10^-3;     % [m] diameter - dragarmering
Dw = 10*10^-3;     % [m] diameter - bygelarmering

% Betong C35/45
fcm = 43*10^6;     % [Pa] medeltryckhållfasthet (tab. 3.1)
fctm = 3.2*10^6;   % [Pa] medeldraghållfasthet (tab. 3.1)
fck=35*10^6;       % [Pa] karakteristisktryckhållfasthet
gamma_C = 1.5;     % [-] partialkoefficient (tab. 2.1N)
alpha_cc = 1.0;    % [-] partialkoefficient
fcd = (alpha_cc * fck)/gamma_C; % [Pa] (3.15)

```

```

Ecm = 34*10^9;      % [Pa] elasticitetsmodulens medelvärde (tab. 3.1)
e_cu = 3.5*10^-3;   % [-] brottstörning

%
-----
% BERÄKNING AV DRAGARMERING
% Antar att armeringen flyter, dvs sigma_s = fyd
% Uppskattning av erforderlig dragarmeringsarea
As = MEd./(fyd.*z);    % [m2]

% Area för 1 armeringsstång
Asi = (pi * Ds^2)/4;    % [m2]
% Antal armeringsstänger i [stöd 1, fält 1, stöd 2, fält 2]
n = ceil(As / Asi);

% Erforderlig armeringsmängd [stöd 1, fält1, stöd 2, fält 2]
As = Asi .* n;          % [m2]

% Kontroll minimi- & maximiarmering (9.2.1.1)
% Kontroll minimiarmering (9.1N)
As_min = 0.26.*(fctm/fyk).*bt.*d;
if As_min <= 0.0013.*bt.*d
    As_min = 0.0013.*bt.*d
end

% Kontrollerar att As inte understiger As_min
for i = 1:4
    if As(i) < As_min(i)
        As(i) = (ceil(As_min(i)/Asi))*Asi;
    end
end

% Tvärsnittets bruttoarea
Ac = bw*hw + tf*bt;      % [m2]
% Maximiarmering
As_max = 0.04*Ac;        % [m2]

% Kontrollerar att As inte överstiger As_max
if max(As) <= As_max
    disp('As < As_max - OK')
else
    disp('As > As_max - ej OK')
end

% Vid eventuella ändringar av As görs ny beräkning av antalet
% armeringsstänger i [stöd 1, fält1, stöd 2, fält 2]
n = As / Asi
% Väljer n till jämna värden för symmetri i tvärsnitt
n = [14, 20, 34, 34]
% Slutgiltig erforderlig armeringsmängd [stöd 1, fält1, stöd 2, fält
2]
As = Asi .* n;          % [m2]

% BERÄKNING AV TÄCKANDE BETONGSKIKT SAMT LIVBREDD

```

```

% Nominell tjocklek, minsta täckande betongskikt, cnom [m] (4.4.1.2)
cmin_b = Ds;
cmin_dur = 0.035;
cmin = max([cmin_b, cmin_dur, 0.010]); % (4.2)
deltac_dev = 0.01;
cnom = cmin + deltac_dev % (4.1)

% Minsta avstånd mellan armeringsstänger, Smin (8.2(2))
k1 = 1.0; % nationell parameter
dg = 0.02; % största kornstorlek för ballast,
(antaget)
k2 = 0.005; % nationell parameter
Smin = max([k1*Ds, dg+k2, 0.02]) % [m]

% Erforderlig livbredd, maximalt antal armeringsstänger i underkant är
34
% st(fält 2), 17 st armeringsstänger i 2 lager väljs
bmin = 2*cnom + 4*Dw + n(4)/2*Ds + (n(4)/2-1)*Smin % [m]

% Väljer bw till 1.5 m

beff =

    2.9900    4.4900    3.4800    5.2500

As < As_max - OK

n =

    13    20    33    34

n =

    14    20    34    34

cnom =

    0.0450

Smin =

    0.0250

bmin =

    0.9550

```

BERÄKNING AV BÄRFÖRMÅGA - MRd

Tryckblocksfaktorer för betong

```
alpha = 0.81;  
beta = 0.416;
```

% Effektivhöjd

```
d = [h - 0.1, h - 0.1, h - 0.1, h - 0.1]; % [m]  
d_prim = [0.1, 0.1, 0.1, 0.1]; % [m]
```

% Trycktt betong [stöd 1, fält1, stöd 2, fält 2]

```
b_tryckt = [bw, beff(2), bw, beff(4)]; % [m]
```

% Väljer 4 st armeringsstänger i tryckt zon

```
As_prim = 4 * Asi;
```

% Antar att armeringen flyter

```
Fs = As .* fyd; % [N]
```

```
Fs_prim = As_prim * fyd*[1, 1, 1, 1]; % [N]
```

% Jämvikt ger neutrala planet, (x)

% Antar att Fs_prim är tryckt

```
x = (Fs - Fs_prim)./(fcd .* b_tryckt * alpha); % [m]
```

% Kontroll att armeringen är tryck, om x < d_prim är armeringen dragen
% beräknas nytt x

```
for i = 1:4
```

```
    if x(i) < d_prim(i)
```

```
        x(i) = (Fs(i) + Fs_prim(i))./(fcd .* b_tryckt(i) * alpha);
```

```
    end
```

```
end
```

% Kontroll att armeringen flyter genom töjningsfördelning

```
e_s = (d-x)./x * e_cu;
```

```
e_s_prim = abs((d_prim-x)./x * e_cu);
```

% Stålets flyttöjning

```
e_y = fyd/Es;
```

% Då stålet ej flyter beräknas ny stålkraft

```
for i = 1:4
```

```
    if e_s_prim(i) < e_y
```

```
        Fs_prim(i) = As_prim * Es .* e_s_prim(i);
```

```
    end
```

```
end
```

% Då stålet ej flyter görs ny beräkning utav x

```
for i = 1:4
```

```
    if e_s_prim(i) < e_y
```

```
        x(i) = (Fs(i) - Fs_prim(i))./(fcd .* b_tryckt(i) * alpha);
```

```
    end
```

```
end
```

```

% Kontroll att armeringen är tryckt, om  $x < d_{\text{prim}}$  är armeringen
  dragen
% beräknas nytt  $x$ , endast en iterering görs
for i = 1:4
    if  $x(i) < d_{\text{prim}}(i)$ 
         $x(i) = (F_s(i) + F_{s_{\text{prim}}(i)}) ./ (f_{cd} .* b_{\text{tryckt}}(i) * \alpha);$ 
    end
end

% Momentjämvikt kring  $F_s$  ger  $MR_d$  [Nm]
 $F_c = \alpha * f_{cd} .* b_{\text{tryckt}} .* x;$  % [N]
 $MR_d = \text{zeros}(1,4);$ 
for i = 1:4
    if  $x(i) < d_{\text{prim}}(i)$ 
         $MR_d(i) = F_c(i) .* (d(i) - \beta .* x(i)) - F_{s_{\text{prim}}(i)} .* (d(i) -$ 
 $d_{\text{prim}}(i));$ 
    else
         $MR_d(i) = F_c(i) .* (d(i) - \beta .* x(i)) + F_{s_{\text{prim}}(i)} .* (d(i) -$ 
 $d_{\text{prim}}(i));$ 
    end
end

% Kontroll av  $MR_d$ 
if  $MR_d > M_{Ed}$ 
    disp('MRd > MEd - OK')
else
    disp('MRd < MEd - ej OK')
end

% Kontroll segt verkningssätt
for i = 1:4
    if  $x(i) \leq 0.45 .* d(i)$ 
        disp('Kontroll på seghet - OK')
    else
        disp('Kontroll på seghet - ej OK')
    end
end

% Utnyttjandegrad
utnyttjandegrad =  $M_{Ed} ./ MR_d$ 

MRd > MEd - OK
Kontroll på seghet - OK
Kontroll på seghet - OK
Kontroll på seghet - OK
Kontroll på seghet - OK

utnyttjandegrad =

    0.0762    0.8898    0.9254    0.9101

```

BERÄKNING AV TVÄRKRAFTSARMERING

Antar armering ovankant i ett lager, vilket gör att effektivhöjden, d är samma för båda stöden

```
dt = d(1);          % [m] effektivhöjd vid tvärkraftsberäkning
zt = 0.9*dt;        % [m] uppskattad inre höjd vid tvärkraftsberäkning

% TVÄRKRAFTSKAPACITET UTAN TVÄRKRAFTSARMERING
%
-----

% Kontroll - Livtryckbrott
v = 0.6*(1-((fck*10^-6)/250));          % (6.6N)
VRd_max = 0.5 * bw * (dt) * v * fcd;    % [N] (6.5)
if max(VEd) <= VRd_max
    disp('Ingen risk för livtryckbrott')
else
    disp('Risk för livtryckbrott')
end

% Kontroll - Skjuvglidbrott
% Kritiska snitt där tvärkraften kontrolleras
% Antar vinkel på betongtrycksträva 45°, ger  $x = a/2 + 0.9*dt$ 
% Dimensionerande tvärkraft vid kritiska snitt [STÖD 1, STÖD 2]
VEd_kontroll = [1200*10^3, 2170*10^3]; % [N]

C_Rdc = 0.18/gamma_C;
k = 1+sqrt(200/(dt*10^3));
if k <= 2.0
    disp('k - OK')
else
    disp('k - ej OK')
end

% Arean hos dragarmering i stödsnitt
Asl = [As(1), As(3)]; % [m2]
roh_l = (Asl./(bw*dt));
if max(roh_l) <= 0.02
    disp('roh_l - OK')
else
    disp('roh_l - ej OK')
end

% Dimensionerande bärfärmåga för tvärkraft för betong utan
% tvärkraftsarmering (6.2.a)
VRdc = ((C_Rdc * k * ((100*roh_l*(fck*10^-6)).^(1/3))))*bw*dt)*10^6;%
[N]

v_min = 0.035 * k^(3/2) * (fck*10^-6)^0.5; % (6.3N)
for i = 1:2
    if VRdc(i) <= (v_min*bw*dt)*10^6
        VRdc(i) = (v_min*bw*dt)*10^6
    end
end
```

```

for i = 1:2
    if VEd_kontroll(i) > VRdc(i)
        disp('Risk f?r skjuvglidbrott, tv?rkraftsarmering kr?vs')
    else
        disp('Ej risk f?r skjuvglidbrott, tv?rkraftsarmering kr?vs ej')
    end
end

% TVÄRKRAFTSARMERING KRÄVS
%
-----
% Vertikal tvÄrkraftsarmering
theta = 35;      % [°] (6.7N) vinkel mellan betongtrycksträvan och
                 balkaxel
alpha = 90;      % [°] vinkel mellan tvÄrkraftsarmering och balkaxel

% Kritiska snitt där tvÄrkraften kontrolleras
% Antar vinkel på betongtrycksträva 35°, ger  $x = a/2 + 0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta)$ 
% Dimensionerande tvÄrkraft vid kritiska snitt [STÖD 1, STÖD 2]
VEd_kontroll = [1030*10^3, 2010*10^3]; % [N]

% Kontroll - Livtryckbrott
alpha_cw = 1.0; % bärverk utan förspänning
v1 = v;
% Maximal dimensionerande bärförmåga för tvÄrkraft begränsad av
krossning
% i trycksträvor
VRd_max = (alpha_cw*bw*z_t*v1*f_cd)/(cot(theta) + tan(theta)); % [N]
(6.9)

if VRd_max >= VEd_kontroll
    disp('OK - Livtryckbrott')
else
    disp('ej OK - Livtryckbrott')
end

% Dimensionering m.h.t. skjuvglidbrott
% Dimensionerande bärförmåga för tvÄrkraft begränsad av flytning i
% tvÄrkraftsarmering, VRds > VEd_kontroll, tsm. med (6.8) fås:
VRd_s = VEd_kontroll; % [N]

% Maximalt avstånd i tvÄrled mellan tvÄrkraftsarmeringens skänklar
St_max = 0.75 * d; % [N]
if St_max >= 0.6
    St_max = 0.6
end

if bw > St_max
    disp('Avstånd mellan skänklar för stort - ej OK')
else disp('Avstånd mellan skänklar - OK')
end

```

```

% Då avstånd mellan skänklar är för stort så läggs ytterligare en
% tvärkraftsbygel in i tvärled
% Tvärkraftsarmeringens area, 2 byglar ger 4 stänger
Asw = 4 * (Dw^2*pi)/4; % [m2]
% Erfordeligt avstånd mellan tvärkraftsbyglar
S = (Asw./VRd_s) * zt * fywd * cot(theta); % [m]

% Minsta tvärsarmeringsinnehåll
roh_w_min = 0.000947; % [m2] enl. tab. B6.1 utefter btg
C35/45
% Minsta S-avstånd i fält med hänsyn till minsta armeringsmängd
S_min = Asw/(roh_w_min*bw*sin(alpha)); % [m]
for i = 1:2
    if S(i) >= S_min
        S(i) = S_min;
    end
end

% Övergångsgräns S avstånd
VRd_s_min = ((zt*cot(theta))/S_min)*fywd*Asw % [N]

% Kontroll av maximalt bygelavstånd
Sl_max = 0.75*dt*(1+cot(alpha)); % [m] (9.6N)
for i = 1:2
    if S(i) >= Sl_max
        S(i) = Sl_max;
    end
end
S % [m]
% Valt S avstånd [stöd 1, stöd 2]
S = [0.24, 0.16] % [m]

% Tvärsarmeringsinnehåll
roh_w = Asw./(S*bw*sin(alpha)); % (9.4)

% Kontroll av minsta mängd armeringsmängd
if roh_w >= roh_w_min
    disp('roh_w - OK')
else
    disp('roh_w - ej OK')
end

Ingen risk f?r livtryckbrott
k - OK
roh_l - OK
Risk f?r skjuvglidbrott, tv?rkraftsarmering kr?vs
Risk f?r skjuvglidbrott, tv?rkraftsarmering kr?vs
OK - Livtryckbrott

St_max =

0.6000

Avstånd mellan skänklar för stort - ej OK

```

$VRd_{s_min} =$

$1.3110e+06$

$S =$

$0.2474 \quad 0.1614$

$S =$

$0.2400 \quad 0.1600$

$roh_w - OK$

BERÄKNING AV SPRICKMOMENT - M_{cr}

Beräkning av tvärsnittets tyngdpunkt (tp), stadium I, (avsänd från ovankant)

```
beff = beff(4); % [m] fält 2 - dimensionerande snitt
tp = (h*bw * h/2 + tf*(beff-bw) * tf/2)/(h*bw + tf*(beff-bw)); % [m]
```

```
% Beräkning av tvärsnittets yttröghetsmoment (I), stadium I
I = (bw * h^3)/12 + bw*h * (h/2-tp)^2 + (beff-bw)*tf^3/12 + ...
    (beff-bw)*tf * (tp-(tf/2))^2; % [m4]
```

```
% Faktor som beaktar tvärsnittets höjd
```

```
k = 1.6 - h;
```

```
if k < 1
```

```
    k = 1;
```

```
end
```

```
% Betongspänning då sprickor uppstår
```

```
sigma_cr = fctm * k; % [Pa]
```

```
% Lasteffekt då böjsprickor uppstår, (Naviers formel)
```

```
Mcr = sigma_cr * I / tp; % [N]
```

```
if Mcr < max(MEd)
```

```
    disp('Böjsprucket tvärsnitt')
```

```
else
```

```
    disp('Ej böjsprucket tvärsnitt')
```

```
end
```

Böjsprucket tvärsnitt

BERÄKNING AV SPRICKBREDD - w_k

Enligt EC 2 från Bärande konstruktioner del 1 och 2

```
% Indata
```

```

alpha_ekv=Es/Ecm;
d_prim=d_prim(1);

wk_till=0.2*10^-3; % [mm] Tabell 7.101N SSEN-1992-2
MEd_kvasi=[-5.094*10^6, 4.776*10^6]; % [Nm] [stöd,fält]
d=d(1);

e_cdi=0.335*10^-3; % tab B2.5
RH=80; % utomhusmiljö, B2.6
beta_RH=0.756; % utomhusmiljö (RH=80%), B2.6
u=10.5+2*tf+4*hw; % omkrets av tvärsnitt som torkar ut
%
% Beräkning av sprickbrädd i stöd
h0=2*Ac(3)/u; % ekv (B2-19)
kh=0.75; % h0=350mm
e_cd_inf=kh*beta_RH*e_cdi; % ekv (B2-18)
e_ca_inf=0.0625*10^-3; % Tab B2.8
e_cs_inf=e_cd_inf+e_ca_inf; % ekv (B2-17)

fi_RH=1+(1-RH/100)/(0.1*(h0*1000)^(1/3)); % ekv (B2-24)
beta_fcm=2.56; % Tab B2.9
t0=28; % Ålder vid pålastning
[dygn]
beta_t0=0.48; % Fig B2.20 btg - 28 dygn
fi_creep=fi_RH*beta_fcm*beta_t0; % ekv (B2-23)
alpha_ef=Es*(1+fi_creep)/Ecm; % ekv (B7-67)

% Krympkraft
Fcs1_stod=-Es*e_cs_inf*As_prim(1); % Tryck, ekv (B7-61)
Fcs2_stod=Es*e_cs_inf*As(3); % Drag

syms x
x=root(-alpha_ef*As(3)*(d-x)+(alpha_ef-1)*As_prim(1)* ...
(x-d_prim(1))+bw*x^2/2,x);
x_vpa=vpa(x);
xt=x_vpa(2);
xtp=0.49;

A_II=beff*xtp+alpha_ef*As(3)+alpha_ef*As_prim(1);
I_II=(beff*xtp^3)/3+alpha_ef*As(3)*(d-xtp)^2+(alpha_ef-1)* ...
As_prim(1)*(xtp-d_prim)^2;

es1=d-xtp;
es2=d_prim-xtp;
z=-xtp;

sigma_c_stod=MEd_kvasi(1)*(-xtp)/I_II;
if abs(sigma_c_stod)<0.45*fck
disp('siga_c är okej')
else
disp('siga_c är ej okej')
end

```

```

% Stållspänning ekv (B7-63)
sigma_s_stod_drag=-Fcs2_stod/(As(3)+As_prim(1))+alpha_ef* ...
    ((Fcs1_stod+Fcs2_stod)/A_II+(Fcs1_stod*es1+Fcs2_stod* ...
    (es2)+MEd_kvasi(1))/I_II*z);

sigma_s_stod_tryck=-Fcs1_stod/(As(3)+As_prim(1))+alpha_ef* ...
    ((Fcs1_stod+Fcs2_stod)/A_II+(Fcs1_stod*es1+Fcs2_stod* ...
    (es2)+MEd_kvasi(1))/I_II*z);

% Kontroll av sigma_s
if abs(sigma_s_stod_drag)<0.8*fyk % (nationell parameter)
    disp('siga_s är okej')
else
    disp('siga_s är ej okej')
end

k1=0.8; % Kamstänger
k2=0.5; % Ren böjning
k3=3.4; % Nationell parameter
k4=0.425; % Nationell parameter

hc_ef=min(2.5*(h-d),min(h/2,(h-xtp)/3)); % ekv (B9-13)
Ac_ef=hc_ef*bw;
pp_eff=As(3)/Ac_ef;

% största sprickavsånd
sr_max=(k3*cnom+k1*k2*k4*Ds/pp_eff); %[mm] ekv (B9-11)

kt=0.4; % Långtidslast s.B297
% ekv (B9-19)
delta_e_m=(sigma_s_stod_drag+((kt*fctm/pp_eff)*(1+alpha_ekv*pp_eff)))/
Es;

% sprickbredd vid stöd , ekv (B9-18)
wk_stod=sr_max*delta_e_m % [mm]

% Kontroll av sprickbredden
if wk_stod<wk_till
    disp('sprickbredd i stöd - OK')
else
    disp('sprickbredd i stöd - EJ OK')
end

%
% Beräkning av sprickbrädd i fält

h0=2*Ac(2)/u; % ekv (B2-19)
kh=0.75; % h0=266,4mm

e_cd_inf=kh*beta_RH*e_cdi; % ekv (B2-18)
e_ca_inf=0.0625*10^-3; % Tab B2.8
e_cs_inf=e_cd_inf+e_ca_inf; % ekv (B2-17)

```

```

fi_RH=1+(1-RH/100)/(0.1*(h0*1000)^(1/3)); % ekv (B2-24)
beta_fcm=2.56; % Tab B2.9
t0=28; % Ålder vid pålastning
[dygn]
beta_t0=0.48; % Fig B2.20 Bbtg 28 dygn
fi_creep=fi_RH*beta_fcm*beta_t0; % ekv (B2-23)

alpha_ef=Es*(1+fi_creep)/Ecm; % ekv (B7-67)

Fcs1_falt=-Es*e_cs_inf*As_prim; % Drag, ekv (B7-61)
Fcs2_falt=Es*e_cs_inf*As(2); % Tryck

syms x
x=root(-alpha_ef*As(2)*(d-x)+(alpha_ef-1)*As_prim* ...
(x-d_prim)+beff*x^2/2,x);
x_vpa=vpa(x);
xt=x_vpa(2);
xtp=0.24;

A_II=bt(3)*xtp+alpha_ef*As(2)+alpha_ef*As_prim;
I_II=(bt(3)*xtp^3)/3+alpha_ef*As(2)*(d-xtp)^2+(alpha_ef-1)* ...
As_prim*(xtp-d_prim)^2;

es1=d-xtp;
es2=d_prim-xtp;
z=xtp;
sigma_c_falt=MEd_kvasi(2)*(-xtp)/I_II;
if abs(sigma_c_falt)<0.45*fck
disp('siga_c är okej')
else
disp('siga_c är ej okej')
end

% stålspänning ekv (B7-63)
sigma_s_falt_drag=-Fcs1_falt/(As(2)+As_prim)+alpha_ef* ...
((Fcs1_falt+Fcs2_falt)/A_II+(Fcs1_falt*es1+Fcs2_falt* ...
(es2)+MEd_kvasi(2))/I_II*z);
sigma_s_falt_tryck=-Fcs2_falt/(As(2)+As_prim)+alpha_ef* ...
((Fcs1_falt+Fcs2_falt)/A_II+(Fcs1_falt*es1+Fcs2_falt* ...
(es2)+MEd_kvasi(2))/I_II*z);

% Kontroll av sigma_s
if abs(sigma_s_falt_drag)<0.8*fyk % (nationell parameter)
disp('siga_s är okej')
else
disp('siga_s är ej okej')
end

k1=0.8; % Kamstänger
k2=0.5; % Ren böjning
k3=3.4; % Nationell parameter
k4=0.425; % Nationell parameter

```

```

hc_ef=min(2.5*(h-d),min(h/2,(h-xtp)/3));           % ekv (B9-13)
Ac_ef=hc_ef*bw;
pp_eff=As(2)/Ac_ef;

% största sprickavsånd ekv (B9-11)
sr_max=(k3*cnom+k1*k2*k4*Ds/pp_eff);               % [mm]

kt=0.4;                                             % Långtidslast s.B297
% ekv (B9-19)
delta_e_m=(sigma_s_falt_drag-((kt*fctm/pp_eff)*(1+alpha_ekv*pp_eff)))/
Es;

% sprickbredd vid fält , ekv (B9-18)
wk_falt=sr_max*delta_e_m % [mm]

% Kontroll av sprickbredden
if wk_falt<wk_till
    disp('sprickbredd i fät är okej')
else
    disp('sprickbredd i fält är ej okej')
end

siga_c är okej
siga_s är okej

wk_stod =

    1.3623e-04

sprickbredd i stöd - OK
siga_c är okej
siga_s är okej

wk_falt =

    9.0866e-05

sprickbredd i fät är okej

```

Published with MATLAB® R2017a

N MATLAB: Dimensionering - Ändskärm

Table of Contents

Dimensionering - ändskärm	1
BERÄKNING AV BÄRFÖRMÅGA - MRd	3
BERÄKNING AV TVÄRKRAFTSARMERING	5
BERÄKNING AV SPRICKMOMENT - M _{cr}	7

Dimensionering - ändskärm

```
clear all
clc

% Beräkning utav moment i snitt underkand farbana och ändskärm
% Resultant jordtryck per längdmeter
R_jord = 165.6*10^3; % [N]
% Avstånd mellan snitt och där resultanten verkar
x_jord = 2 * 2/3 - (0.35 + 0.1); % [m]

% Lasteffekter
% Moment p.g.a. jordtryck
MEd = R_jord * x_jord; % [Nm]

% Tvärkraft p.g.a. jordtryck
VEd = R_jord; % [N]

% MATERIALDATA
%
% -----
% Armeringsstål B500B
fyk = 500*10^6; % [Pa] karakteristisk flytgräns (tab. B2.11)
gamma_s = 1.15; % paritalkoefficient
fyd = fyk/gamma_s; % [Pa] dimensionerande flytgräns (B2-25)
Es = 200*10^9; % [Pa]
fywd = fyd; % [Pa]

Ds = 25*10^-3; % [m] diameter - dragarmering
Dw = 10*10^-3; % [m] diameter - bygelarmering

% Betong C35/45
fcm = 43*10^6; % [Pa] medeltryckhållfasthet (tab. 3.1)
fctm = 3.2*10^6; % [Pa] medeldraghållfasthet (tab. 3.1)
fck=35*10^6; % [Pa] Tabell B2.1
gamma_C = 1.5; % [-] partialkoefficient (tab. 2.1N)
alpha_cc = 1.0; % [-] partialkoefficient
fcd = (alpha_cc * fck)/gamma_C; % [Pa] (3.15)
Ecm = 34*10^9; % [Pa] elasticitetsmodulens medelvärde (tab. 3.1)
e_cu = 3.5*10^-3; % [-] btg brottstörning

% Bredd per meter ändskärm [m]
bt = 1;
t = 0.25; % tjocklek ändskärm
```

```

% Preliminär effektiv höjd, antar täckande btg.skikt 100 mm, [m]
d = t - 0.1;

% Uppskattning av inre hävarm [m]
z = 0.9*d;

%
-----
% BERÄKNING AV DRAGARMERING
% Antar att armeringen flyter, dvs sigma_s = fyd
% Uppskattning av erforderlig dragarmeringsarea
As = MEd/(fyd*z);          % [m2]

% Area för en armeringsstång
Asi = (pi * Ds^2)/4;      % [m2]
% Antal armeringsstånger
n = ceil(As / Asi);

% Erforderlig armeringsmängd
As = Asi * n;             % [m2]

% Kontroll minimi- & maximiarmering (9.2.1.1)
% Kontroll minimiarmering (9.1N)
As_min = 0.26*(fctm/fyk)*bt*d;
if As_min <= 0.0013*bt*d
    As_min = 0.0013*bt*d
end

% Kontrollerar att As inte understiger As_min
if As < As_min
    As = (ceil(As_min/Asi))*Asi;
end

% Tvärsnittets bruttoarea
Ac = t*bt;                % [m2]
% Maximiarmering
As_max = 0.04*Ac;         % [m2]

% Kontrollerar att As inte överstiger As_max
if As <= As_max
    disp('As < As_max - OK')
else
    disp('As > As_max - ej OK')
end

% Slutgiltlig erforderlig armeringsmängd
As = Asi * n;             % [m2]

% Antal armeringsstånger
n = ceil(As / Asi)

% BERÄKNING AV TÄCKANDE BETONGSKIKT SAMT LIVBREDD
% Nominell tjocklek, minsta täckande betongskikt, cnom [m] (4.4.1.2)

```

```

cmin_b = Ds;
cmin_dur = 0.035;
cmin = max([cmin_b, cmin_dur, 0.010]); % (4.2)
deltac_dev = 0.01;
cnom = cmin + deltac_dev % (4.1)

% Minsta avstånd mellan armeringsstänger, Smin (8.2(2))
k1 = 1.0; % nationell parameter
dg = 0.02; % största kornstorlek för ballast, antaget
k2 = 0.005; % nationell parameter
Smin = max([k1*Ds, dg+k2, 0.02]) % [m]

% Erforderlig bredd för 6 st armeringsstänger
bmin = 2*cnom + 8*Dw + n*Ds + (n-1)*Smin % [m]

As < As_max - OK

n =

    6

cnom =

    0.0450

Smin =

    0.0250

bmin =

    0.4450

```

BERÄKNING AV BÄRFÖRMÅGA - MRd

Tryckblocksfaktorer för betong

```

alpha = 0.81;
beta = 0.416;

```

```

% Beräkning av effektivhöjd
d = t - (cnom + Dw + Ds/2); % [m]
d_prim = cnom + Dw + Ds/2; % [m]

```

```

% Tryckt betong [stöd, fält]
b_tryckt = bt; % [m]

```

```

% Väljer 2 st armeringsstänger i tryckt zon för att fixera
  bygelarmering
As_prim = 2 * Asi;

```

```

% Antar att armeringen flyter
Fs = As * fyd; % [N]
Fs_prim = As_prim * fyd; % [N]

% Jämvikt ger neutrala planet - x
% Antar att Fs_prim är tryckt
x = (Fs - Fs_prim)/(fcd * bt * alpha); % [m]

% Kontroll att armeringen är tryckt, om x < d_prim är armeringen dragen
% beräknas nytt x
if x < d_prim
    x = (Fs + Fs_prim)/(fcd * bt * alpha);
end

% Kontroll att armeringen flyter
e_s = (d-x)/x * e_cu;
e_s_prim = abs((d_prim-x)/x * e_cu);
% Stålets flytgräns
e_y = fyd/Es;

% Då stålet ej flyter beräknas ny stålkraft
if e_s_prim < e_y
    Fs_prim = As_prim * Es * e_s_prim;
end

% Då stålet ej flyter görs ny beräkning utav x
if e_s_prim < e_y
    x = (Fs - Fs_prim)/(fcd * bt * alpha);
end

% Kontroll att armeringen är tryckt, om x < d_prim är armeringen
% dragen
% beräknas nytt x, endast en itterering görs
if x < d_prim
    x = (Fs + Fs_prim)/(fcd * bt * alpha);
end

% Momentjämvikt kring Fs ger MRd [Nm]
Fc = alpha * fcd * bt * x; % [N]
if x < d_prim
    MRd = Fc*(d-beta*x)-Fs_prim*(d-d_prim);
else
    MRd = Fc*(d-beta*x)+Fs_prim*(d-d_prim);
end

% Kontroll av MRd, om MRd < MEd ökas n tills MRd > MEd
if MRd > MEd
    disp('MRd > MEd - OK')
else
    disp('MRd < MEd - ej OK')
end

% Kontroll segt verkningssätt

```

```

if x <= 0.45*d
    disp('Segt verkningssätt')
else
    disp('Ej segt verkningssätt')
end

% Utnyttjandegrad
utnyttjandegrad = MEd/MRd

MRd > MEd - OK
Segt verkningssätt

utnyttjandegrad =

0.6125

```

BERÄKNING AV TVÄRKRAFTSARMERING

```

% TVÄRKRAFTSKAPACITET UTAN TVÄRKRAFTSARMERING
%
-----
% Kontroll - Livtryckbrott
v = 0.6*(1-((fck*10^-6)/250));           % (6.6N)
VRd_max = 0.5 * bt * d * v * fcd;       % [N] (6.5)
if VEd <= VRd_max
    disp('Ingen risk för livtryckbrott')
else
    disp('Risk för livtryckbrott')
end

% Kontroll - Skjuvglidbrott
C_Rdc = 0.18/gamma_C;
k = 1+sqrt(200/(d*10^3));
if k >= 2.0
    k=2;
end

% Arean hos dragarmering i stödsnitt
Asl = As;                               % [m2]
roh_l = (Asl/(bt*d));
if max(roh_l) <= 0.02
    disp('roh_l - OK')
else
    disp('roh_l - ej OK')
end

% Dimensionerande bärförmåga för tvärkraft för betong utan
% tvärkraftsarmering (6.2.a)
VRdc = ((C_Rdc * k * ((100*roh_l*(fck*10^-6))^(1/3))))*bt*d)*10^6; % [N]

v_min = 0.035 * k^(3/2) * (fck*10^-6)^0.5; % (6.3N)
if VRdc <= (v_min*bt*d)*10^6
    VRdc = (v_min*bt*d)*10^6

```

```

end

if VEd > VRdc
    disp('Risk f?r skjuvglidbrott, tv?rkraftsarmering kr?vs')
else
    disp('Ej risk f?r skjuvglidbrott, tv?rkraftsarmering kr?vs ej')
end

% OM TVÄRKRAFTSARMERING KRÄVS
%
-----
% Vertikal tvärkraftsarmering
theta = 35; % [°] (6.7N) vinkel mellan betongtrycksträvan och
    balkaxel
alpha = 90; % [°] vinkel mellan tvärkraftsarmering och balkaxel

% Kontroll - Livtryckbrott
alpha_cw = 1.0; % bärverk utan förspänning
v1 = v;
% Maximal dimensionerande bärförmåga för tvärkraft begränsad av
    krossning
% i trycksträvor
VRd_max = (alpha_cw*bt*z*v1*fcd)/(cot(theta) + tan(theta)); % [N]
    (6.9)

if VRd_max >= VEd
    disp('OK - Livtryckbrott')
else
    disp('ej OK - Livtryckbrott')
end

% Dimensionering mht. skjuvglidbrott
% Dimensionerande bärförmåga för tvärkraft begränsad av flytning i
% tvärkraftsarmering, VRds > VEd, tsm. med (6.8) fås:
VRd_s = VEd; % [N]

% Maximalt avstånd i tvärled mellan tvärkraftsarmeringens skänklar
St_max = 0.75 * d; % [m]
if St_max >= 0.6
    St_max = 0.6;
end

% Med hänsyn till maximalt avstånd i tvärled mellan
    tvärkraftsarmeringens
% skänklar väljs 4 st byglar per längdmeter
% Tvärkraftsarmeringens area, 4 byglar ger 8 stänger
Asw = 8 * (Dw^2*pi)/4; % [m2]
% Erfordeligt avstånd mellan tvärkraftsbyglar
S = (Asw/VRd_s) * z * fywd * cot(theta); % [m]

% Minsta tvärsarmeringsinnehåll
roh_w_min = 0.000947; % [m2] enl. tab. B6.1 utefter btg
    C35/45

```

```

% Minsta S-avstånd i fält med hänsyn till minsta armeringsmängd
S_min = Asw/(roh_w_min*bt*sin(alpha)); % [m]

% Kontroll av maximalt bygelavstånd
Sl_max = 0.75*d*(1+cot(alpha)); % [m] (9.6N)
if S >= Sl_max
    S = Sl_max;
end
if S_min >= Sl_max
    S_min = Sl_max;
end

% Tvärameringsinnehåll
roh_w = Asw/(S*bt*sin(alpha)); % (9.4)
% Kontroll av minsta mängd armeringsmängd
if roh_w >= roh_w_min
    disp('roh_w - OK')
else
    disp('roh_w - ej OK')
end

% Väljer konstant S-avstånd över hela ändskärmen till 60 mm

Ingen risk för livtryckbrott
roh_l - OK
Ej risk för skjuvglidbrott, tvärfkraftsarmering krävs ej
OK - Livtryckbrott
roh_w - OK

```

BERÄKNING AV SPRICKMOMENT - M_{cr}

Beräkning av tvärsnittets tyngdpunkt, stadium I, avstånd från ovankant

```

tp = t/2; % [m]

% Beräkning av tvärsnittets yttröghetsmoment, stadium I
I = (bt * t^3)/12; % [m4]

% Faktor som beaktar tvärsnittets höjd
k = 1.6 - t;
if k < 1
    k = 1;
end

% Betongspänning då sprickor uppstår
sigma_cr = fctm * k; % [Pa]

% Lasteffekt då böjsprickor uppstår, (Naviers formel)
Mcr = sigma_cr * I / tp; % [N]

if Mcr < max(MEd)
    disp('Böjsprucket tvärsnitt')
else
    disp('Ej böjsprucket tvärsnitt')

```

end

Böjsprucket tvärsnitt

Published with MATLAB® R2017a

O MATLAB: Vindlast

Vindlast p? broar

SS-EN 1991-1-4 Eurokod 1: Laster p? b?rverk - Del 1-4: Alm?nna laster - Vindlast

```
L = 60;           % [m] l?ngd i y-riktningen - brobanans l?ngd
b = 10.5;         % [m] l?ngd i x-riktningen - brobanans bredd
d = 1.4;          % [m] h?jd i z-riktningen - tv?rsnittets h?jd

% Krafter i x-riktningen
% -----
% [kg/m3] luftens densitet
roh = 1.25;
% riktningsfaktor f?r olika vindriktningar
cdir = 1.0;
% ?rstidsfaktor
cseason = 1.0;
% [m/s] referensvindhastighetens grundv?rde d? last fr?n v?gtrafik
% verkar samtidigt som vindlast
vb0 = 23;
% [m/s] referensvindhastighet (4.2(2))
vb = cdir * cseason * vb0;
% formfaktorn f?r kraft (tab. 8.2)
C = 3.6;
% [m] total tv?rsnittsh?jd, tabell 8.1 - ?ppna r?cken & ?ppna
% barri?rer
dtot = d + 1.2;
% [m2] referensarean i x-led
Aref_x = L * dtot;
% [kN] kraft i x-riktning (8.2)
Fwx = (0.5 * roh * vb^2 * C * Aref_x)/1000

% Krafter i y-riktningen - Passivt jordtryck ?r dimensionerande
% Krafter i z-riktningen - F?rsummas
```

Fwx =

185.6790

Published with MATLAB® R2016b