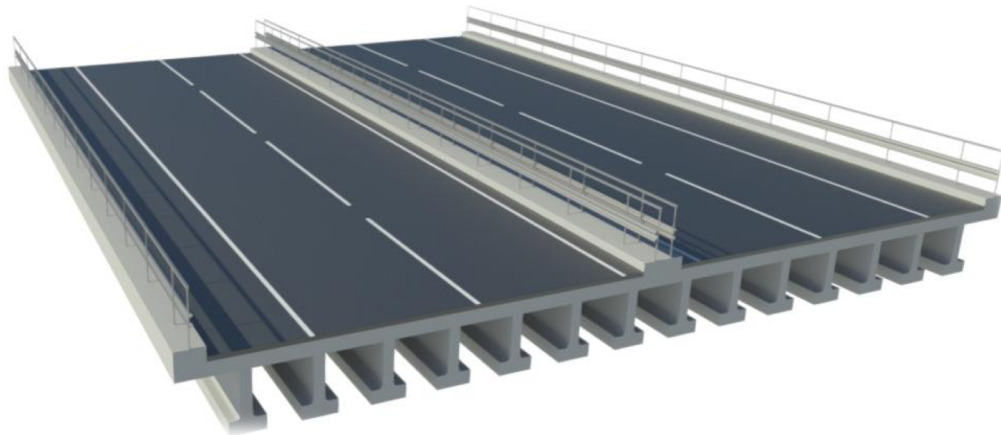


CHALMERS



Vägbro över Vesankanalen

Konceptuell design och dimensionering för en bro längs E22

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik

JESPER BOKINGE
SVEN LUNDELL
OSKAR MAGNUSSON
OSKAR OLSSON
JOHN PETERSSON
MOA STEINER

Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Kandidatarbete ACEx10-19-52
Göteborg, Sverige 2019

KANDIDATARBETE ACEX10-19-52

Vägbro över Vesankanalen

Konceptuell design och dimensionering för bro längs E22

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik

JESPER BOKINGE
SVEN LUNDELL
OSKAR MAGNUSSON
OSKAR OLSSON
JOHN PETERSSON
MOA STEINER

Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Konstruktionsteknik
CHALMERSTEKNISKAHÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2019

Vägbro över Vesankanalen
Konceptuell design och dimensionering över bro längs E22
JESPER BOKINGE
SVEN LUNDELL
OSKAR MAGNUSSON
OSKAR OLSSON
JOHN PETERSSON
MOA STEINER

©JESPER BOKINGE, SVEN LUNDELL, OSKAR MAGNUSSON,
OSKAR OLSSON, JOHN PETERSSON, MOA STEINER, 2019

Kandidatarbete ACEX10-19-52
Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Konstruktionsteknik
Chalmers tekniska högskola
SE-41296 Göteborg
Sverige
Telefon: +46(0)31-7721000

Omslag:
Modell av slutgiltigt brokoncept. Författarens egna bild.
Chalmers Reproservice
Göteborg, Sverige 2019

Vägbro över Vesankanalen

Konceptuell design och dimensionering över bro längs E22

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik

JESPER BOKINGE

SVEN LUNDELL

OSKAR MAGNUSSON

OSKAR OLSSON

JOHN PETERSSON

MOA STEINER

Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Sträckan mellan Sölvesborg och Karlskrona på Europaväg 22 har varit vältrafikerad och olycksdrabbad sedan lång tid. I hopp om att lösa dessa problem byggdes vägen om till en mötesfri motorväg vilken behöver ett flertal nya broar, varav arbetet behandlar bron över Vesankanalen. Arbetets syfte är att utifrån platsens förutsättningar finna den bäst lämpade bron och sedan utföra en preliminär dimensionering.

Inför den preliminära dimensioneringen utfördes en förstudie där information om exempelvis materialval, brotyper och beständighet studerades för att skapa underlag till kommande tvådelad urvalsprocess. Under första delen tas lämpliga koncept fram utifrån materialval och spännvidd och under den andra delen viktas koncepten mot varandra utifrån olika kriterier som definieras i förstudien. Efter urvalsprocessen har ett slutgiltigt brokoncept valts som det sedan utförts en preliminär dimensionering enligt Eurokod på.

Det slutliga konceptet blev en prefabricerad förspänd balkbro i betong. Bron vilar på två stöd som bildar en spännvidd på 25 meter och på var ände placeras en vingmur. Beräkningarna i den preliminära dimensioneringen bestod av framtagande av dimensionerande laster varifrån tvärsnittdimensioner och armeringsmängder i tvär- och längsled kunde bestämmas.

Nyckelord: E22, brokoncept, preliminär dimensionering, prefabricerad, förspänd, balkbro

Road bridge across Vesankanalen
Conceptual design and calculations for bridge along E22
Bachelor's thesis in Building and Civil Engineering
JESPER BOKINGE
SVEN LUNDELL
OSKAR MAGNUSSON
OSKAR OLSSON
JOHN PETERSSON
MOA STEINER
Architecture and Civil Engineering
Structural Engineering
Chalmers University of Technology

Abstract

European route 22 between Sölvesborg and Karlskrona has been exposed to heavy traffic and accidents for many years. In an attempt to solve these issues, the road stretch is being converted to a highway, which demands the construction of several new bridges. This report investigates the bridge crossing Vesankanalen and aims to find the best suited bridge concept for the construction site's attributes. Preliminary dimensions of this concept will also be calculated.

Before the start of the preliminary dimensioning a study was performed where knowledge regarding topics as materials, bridge types and durability were gathered. This knowledge laid the foundation for the process of evaluating a selection of bridge concepts suitable to the conditions of the site. This process is split into two parts, where the first part eliminates concepts that do not fit the conditions based on span length and choice of material. The second part compares the concepts by different criteria determined in the study. The evaluation process yields a final concept, which then is preliminary dimensioned according to Eurocode.

The final concept consists of a prefabricated, prestressed, concrete beam bridge. The bridge rests on bearings on both ends, forming a span length of 25 meters. Both ends are constructed with wing walls. The preliminary dimensioning consists of several calculations. The loads of the bridge were determined and used to estimate dimensions of the cross sections and adequate amount of reinforcement steel in both longitudinal and transversal directions.

Keywords: E22, bridge concept, preliminary dimensioning, prefabrication, prestressed, beam bridge

Innehåll

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Innehåll	iv
Förord	ix
Akronymer	x
Ordlista	x
Nomenklatur	xii
DEL 1 – FÖRSTUDIE OCH URVAL	1
1 Introduktion.....	1
1.1 Syfte	1
1.2 Problemställning	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	2
2 Förutsättningar och krav	3
2.1 Geografisk beskrivning.....	3
2.2 Geotekniska förutsättningar	3
2.3 Beställarens krav.....	4
2.4 Produktionsförutsättningar	4
2.5 Miljö.....	4
3 Utformningsförutsättningar.....	5
3.1 Material	5
3.2 Bärverk och Brotyper.....	5
3.3 Produktionsmetoder	6
3.4 Grundläggning.....	6
3.5 Inspektioner och underhåll.....	6
4 Urval	7
4.1 Utvärderingskriterier.....	7
4.1.1 Viktning av utvärderingskriterier.....	8
4.2 Urvalsprocess I	8
4.2.1 Koncept 1 - Samverkansbro med stålbalkar och farbana i betong	9
4.2.2 Koncept 2 - Platsgjuten förspänd balkrambro i betong.....	9
4.2.3 Koncept 3 - Prefabricerad balkbro med förspänd betong	10

4.3 Riskanalys	10
4.3.1 Allmänna risker.....	11
4.3.2 Koncept 1 - Samverkansbro med stålbalkar och farbana i betong	11
4.3.3 Koncept 2 - Platsgjuten förspänd balkrambro i betong.....	11
4.3.4 Koncept 3 - Prefabricerad balkbro med förspänd betong	11
4.3.5 Viktning av risker	11
4.4 Urvalsprocess II.....	12
5 Presentation av slutligt koncept.....	14
5.1 Produktionsplan	14
5.1.1 Transport av balkar	15
5.2 Grundläggning.....	15
5.3 Överbyggnad	15
5.3.1 Brolager.....	15
5.3.2 Övergångskonstruktion	16
5.4 Underbyggnad	17
5.5 Farbana.....	17
5.5.1 Utformning av farbana	17
5.5.2 Dagvattenhantering	17
5.5.3 Räckan.....	18
5.6 Förvaltning och underhåll	18
DEL 2 – PRELIMINÄR DIMENSIONERING.....	19
6 Exponeringsklasser	19
6.1 Täckande betongskikt	20
7 Laster	21
7.1 Tvärled	21
7.1.1 Fält- och stödmoment.....	22
7.1.2 Tvärkraft och filfaktorer.....	22
7.2 Längsled	24
8 Preliminär dimensionering av förspända balkar	25
8.1 Uppskattning av erforderligt tvärsnitt.....	25
8.2 Tvärsnittets momentkapacitet.....	26
8.3 Tvärarmering balkar	26
8.4 Nedböjning längsled	26
9 Preliminär dimensionering av plattor	27
9.1 Nedböjning tvärled	28

10 Diskussion	29
10.1 Urvalsprocessen	29
10.2 Prefabricerade broar i Sverige	29
10.3 Preliminär dimensionering	30
10.4 Samhälleliga aspekter	30
11 Slutsats	31
12 Referenser	32
Bilaga A – Planbeskrivning	35
Bilaga B – Teknisk Beskrivning – Bro	36
Bilaga C – Teknisk Beskrivning – Väg	40
Bilaga D – Material	41
Bilaga E – Bärverk och Brotyper	43
Bilaga F – Produktionsmetoder	46
Bilaga G – Grundläggning	48
Bilaga H – Inspektioner och Underhåll	50
Bilaga I – Stegning	51
Bilaga J – Tvärled moment	52
Bilaga K – Tvärled filfaktorer & tvärkraft	79
Bilaga L – Längsled lasteffekt	84
Bilaga M – Tvärled nedböjning	92
Bilaga N – Längsled nedböjning	112
Bilaga O – Balkar tvärarmering	116
Bilaga P – Uppskattning av erforderligt tvärsnitt	118
Bilaga Q – Täckande betongskikt	121
Bilaga R – Längsled inläggning av spänningsarmering	122
Bilaga S – Längsled inläggning av armering i ovkant	123
Bilaga T – Längsled brottgräns momentkapacitet	126
Bilaga U – Tvärled inläggning av armering	130
Bilaga V – Tvärled brottgräns momentkapacitet	134
Bilaga W – Tvärled brottgräns tvärkraftskapacitet	139
Bilaga X – Tvärled sprickbredd	143
Bilaga Y – Längdutvidgning	148

Figurer

Figur 1. Geografisk position av bro. Hämtad från google maps. Återgiven med tillstånd.....	1
Figur 2. Jordlagerföljd för aktuell plats. Författarens egna figur.....	3
Figur 3. Balkverkan. Författarens egna figur.....	5
Figur 4. Princip för kranlansering. (Hirt & Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.	6
Figur 5. Skiss av koncept 1, samverkansbro med balkar i stål och farbana i betong. Författarens egna figur.....	9
Figur 6. Skiss av koncept 2, platsgjuten förspänd balkrambro i betong. Författarens egna figur.....	10
Figur 7. Skiss av koncept 3, prefabricerad balkbro med förspänd betong. Författarens egna figur.....	10
Figur 8. Schematisk utformning av slutligt koncept med total brolängd, spännvidd och ungefärliga mått på underkonstruktion. Författarens egna figur.....	14
Figur 9. Montering av prefabricerade betongplattor, från Q. Kees (personlig kommunikation, 27 mars 2019) Återgiven med tillstånd.	14
Figur 10. Grundläggning av gjuten bottenplatta på packad fyllning. Författarens egna figur.	15
Figur 11. McKee Street Bridge (Patrick Feller, 2013). CC BY-SA.....	16
Figur 12. Principiell brolagerutformning. Författarens egna figur.	16
Figur 13. Expansion joint in a steel plate girder bridge (Wade, 2009). CC BY-SA.....	16
Figur 14. Exempelskiss av brons farbana. Författarens egna figur.....	17
Figur 15. Tvärsnittmodell över bron i tvärled. Författarens egna figur.....	22
Figur 16. Modell för bestämning av filfaktorer. Författarens egna figur.	23
Figur 17. Slutgiltigt tvärsnitt med dimensioner och armering, samt dess utseende tillsammans med platta. Mått angivna i millimeter. Författarens egna figur.	25
Figur 18. Dimensioner för broplatta samt armeringsinläggning. Till vänster fältsnitt och till höger stödsnitt. Mått angivna i millimeter. Författarens egna figur.....	27

Tabeller

Tabell 1. Viktning av utvärderingskriterier.	8
Tabell 2. Betygsättning av de utvalda brokoncepten med viktfactorer från tabell 1.	12
Tabell 3. Val av exponeringsklasser för de olika konstruktionsdelarna.	19
Tabell 4. Förklaring av för bron aktuella exponeringsklasser med beskrivande miljö.	19
Tabell 5. Dimensionerande exponeringsklasser, vattencementtal, minsta täckande betongskikt och hållfasthetsklass för armerade konstruktionsdelar.	20
Tabell 6. Dimensionerande exponeringsklasser, vattencementtal, minsta täckande betongskikt och hållfasthetsklass för förspända konstruktionsdelar.	20
Tabell 7. Täckande betongsskikt och armeringstyp för de olika konstruktionsdelarna.	20
Tabell 8. Indata för körfälten vid beräkning av lasteffekter.	21
Tabell 9. Koefficienter för lasteffektsberäkningar.	21
Tabell 10. Redovisade moment i fält och över stöd för tvärled.	22
Tabell 11. Dimensionerande tvärkraft för respektive lastfall.	23
Tabell 12. Beräknade filfaktorer för de olika lastfallen.	23
Tabell 13. Fält- och stödmoment i längsled baserat på filfaktorer.	24
Tabell 14. Dimensionerande moment och momentkapacitet i brottgränstillstånd längsled.	26
Tabell 15. Beräknade värden för tvärarmering samt krav.	26
Tabell 16. Nedböjning av balkar i längsled.	26
Tabell 17. Dimensionerande moment och momentkapacitet i brottgränstillstånd i fält och stöd.	27
Tabell 18. Dimensionerande tvärkraft och tvärkraftskapacitet i brottgränstillstånd i fält och stöd.	27
Tabell 19. Nedböjning av platta i tvärled.	28

Förord

Kandidatarbetet har utförts av sex studenter på civilingenjörsprogrammet inom samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola.

Under arbetets gång har tidigare kunskap från studietiden applicerats tillsammans med ny kunskap som erhållits genom både lärare och yrkessamma i form av fördjupande föreläsningar och samtal. Vi vill tacka våra handledare Mario Plos, docent vid Chalmers, samt Anna Egefalk, konsult från COWI, för deras vägledning och hjälp under arbetets gång. Vi vill även rikta ett speciellt tack till Joosef Leppänen, Universitetslektor vid Chalmers, för hans villighet att hjälpa till med sin erfarenhet inom förspända balkar och broutformning samt Quartel Kees, konsult från Spanbeton Nederländerna, för hans råd och expertis inom prefabricerade balkar.

Göteborg 2019

Akronymer

E22 Stamväg i Sverige och en del av Europaväg 22.

ERL Ensidigt rörligt lager.

FL Fast lager.

FRP Fiber reinforced plastics.

HHW Högsta högvattenstånd.

RL Rörligt lager.

VCT Vattencementtal.

VGU Vägar och gators utformning.

ÅDT Årsdygnstrafik.

Ordlista

<i>Bombering</i>	Välvning av en plan vägbana för att underlätta vattenavrinning.
<i>Brottgränstillstånd</i>	Tillstånd då konstruktionen är på gränsen att förlora sin bärförmåga.
<i>Bruksgränstillstånd</i>	Tillstånd då konstruktionen är på gränsen att förlora sin funktion.
<i>Dagvatten</i>	Regn- och smältvatten som rinner av hårdgjorda ytor.
<i>Eurokod</i>	Europastandard med dimensioneringsregler för konstruktioner.
<i>Filfaktor</i>	Kvot mellan vilken last en balk bär och den totala lasten som bron belastas med.
<i>Finkornig morän</i>	Morän med dominerande mängd finkornigt material.
<i>Frekvent lastkombination</i>	Kombination av laster som orsakar reversibel deformation.
<i>Förspänd balk</i>	Betongbalk som armeras där armeringen spänns åt för att öka dess bärförmåga.
<i>Grusig morän</i>	Morän med dominerande mängd gruspartiklar.
<i>Kantbalk</i>	Placeras på yttre sidor av betongplattan för att möjliggöra infästning av kanträcken.

<i>Karakteristisk lastkombination</i>	Kombination av laster som orsakar irreversibel deformation.
<i>Kvasipermanent lastkombination</i>	Lastkombination som används för långtidseffekter.
<i>Landfäste</i>	Brons anslutning till fast mark varpå brolager placeras.
<i>Längsled</i>	I den riktning vilken trafiken går över bron.
<i>MATLAB</i>	Programmeringsverktyg.
<i>Morän</i>	Jordart med osorterad blandning av olika partikelstorlekar.
<i>Organisk jord</i>	Jordart bestående i huvudsak av organiskt material som förmultnade växter och djur.
<i>Packad fyllning</i>	Friktionsjord som packas i skikt för grundläggning.
<i>Planbeskrivning</i>	Anger syftet och förklarar innehållet av detaljplanen.
<i>Prefabricering</i>	Förtillverkning på annan plats.
<i>Preliminär dimensionering</i>	Beräkningar som utförs för att uppskatta laster och tvärsnittdimensioner för lastbärande konstruktioner.
<i>Sandig morän</i>	Morän med dominerande mängd sandpartiklar.
<i>Siltig morän</i>	Morän med dominerande mängd siltpartiklar.
<i>Slakarmerad betong</i>	Betong med ingjutna armeringsstänger.
<i>Spännvidd</i>	Avstånd mellan två upplagspunkter.
<i>Teknisk livslängd</i>	Klassificering av tiden som konstruktionen är ämnad att uppfylla sin funktion.
<i>Tung trafik</i>	Fordon tyngre än personbil, normalt lastbil och buss, klassas som detta då vikten överstiger 3,5 ton.
<i>Underbyggnad</i>	Broelement nedanför lager eller pelarens överkant, exempelvis landfäste.
<i>Upplagsvillkor</i>	Begränsning av konstruktionens rörelse beroende på upplagets karaktär.
<i>Vingmur</i>	Konstruktionsdel som används för att stabilisera vägbanken mot jordtryck.
<i>Överbyggnad</i>	Broelement ovanför lager eller pelarnas överkant, exempelvis brobana.

Nomenklatur

Gemena grekiska bokstäver

α_{Q1}	Lastkoefficient [-]	Ψ_{0u}	Kombinationsvärde utbredd last [-]
α_{q1}	Lastkoefficient [-]	Ψ_{1u}	Kombinationsvärde utbredd last [-]
α_{Q2}	Lastkoefficient [-]	Ψ_{2u}	Kombinationsvärde utbredd last [-]
α_{q2}	Lastkoefficient [-]	σ_{∞}	Betongspänning med hänsyn till långtidslast [Pa]
α_{Q3}	Lastkoefficient [-]	σ_{cc}	Betongtryckspänning [Pa]
α_{q1}	Lastkoefficient [-]	$\sigma_{s,d}$	Dragstålspänning [Pa]
γ_P	Partialkoefficient [-]	$\sigma_{s,t}$	Tryckstålspänning [Pa]
γ_G	Partialkoefficient [-]	σ_s	Stålspänning [Pa]
γ_Q	Partialkoefficient [-]	ξ	Reduktionsfaktor [-]
Ψ_{0b}	Kombinationsvärde boggisystem [-]	$\varphi (\infty, t_0)$	Kryptal [-]
Ψ_{1b}	Kombinationsvärde boggisystem [-]		
Ψ_{2b}	Kombinationsvärde boggisystem [-]		

Versala latinska bokstäver

A	Tvärsnittsarea [m ²]	Q ₂	Punktlast från axellast i tvärled [N]
A _{s, max}	Maximal mängd dragarmering [m ²]	Q ₃	Punktlast från axellast i tvärled [N]
A _{s, min}	Minimal mängd dragarmering [m ²]	Q _{Trafik}	Punktlast för boggisystem i längsled [N]
A _s	Erforderlig mängd dragarmering [m ²]	S _{min}	Minsta avstånd mellan armeringsstänger [m]
E	Elasticitetsmodul [Pa]	V _{Ed}	Dimensionerande tvärkraft [N]
G _k	Karaktäristiskt värde, permanent last	V _{Rd,s}	Tvärkraftskapacitet med tvärkraftsarmering [N]
I	Yttröghetsmoment [m ⁴]		
Q ₁	Punktlast från axellast i tvärled [N]		

Gemena latinska bokstäver

b _{eff}	Effektiv bredd [m]	g _{pl}	Egentyngd platta [N/m]
b _p	Plattans bredd [m]	h _p	Plattans tjocklek [m]
b _{kb}	Kantbalkens bredd [m]	h _{be}	Beläggningsens tjocklek [m]
c _{min, dur}	Minsta täckande betongskikt [m]	h _{kb}	Kantbalkens tjocklek [m]
c _{nom}	Nominell tjocklek på täckande betongskikt [m]	n _{ba}	Antalet balkar [st]
f _{ck}	Karaktäristisk tryckhållfasthet [Pa]	q ₁	Utbredd last [N/m]
f _{yk}	Karaktäristisk stålflytgräns [Pa]	q ₂	Utbredd last [N/m]
g _{ba}	Egentyngd balk [N/m]	q ₃	Utbredd last [N/m]
g _{kb}	Egentyngd kantbalk [N/m]	q _{trafik}	Utbredd trafiklast [N/m]

DEL 1 – FÖRSTUDIE OCH URVAL

1 Introduktion

Europaväg 22 är en del av Sveriges stamvägar och går från Trelleborg till Norrköping. Vägen är idag hårt trafikerad och har korta och osammanhängande motorvägsavsnitt. Vägavsnittet Sölve - Stensnäs, mellan Sölvesborg och Karlskrona i Blekinge län byggdes 2011 - 2014 om till motorväg för att öka säkerheten och framkomligheten samt minska vägbullret från trafiken som störde närliggande fastigheter. Ombyggnationen innebar en ny vägsträckning som passerar över kanalen Vesan, se figur 1, där en bro behövde konstrueras (Trafikverket, 2011a).



Figur 1. Geografisk position av bro. Hämtad från google maps. Återgiven med tillstånd.

1.1 Syfte

Till följd av ombyggnationen av motorvägen uppkom ett behov av att ta fram och dimensionera en bro. Trafikverkets mål med denna vägsträcka var att öka framkomligheten samt säkerheten (Trafikverket, 2011a). Syftet med arbetet blir således att föreslå och preliminärdimensionera ett brokoncept vilket uppfyller och säkerställer Trafikverkets mål.

1.2 Problemställning

Bron ska enligt planbeskrivningen ha en spännvidd på 25 meter och två körfält i vardera riktning. Bron ska dimensioneras utifrån bestämmelser enligt Eurokod tillsammans med Trafikverkets tekniska krav och råd, där en teknisk livslängd på 80 år krävs (Vägverket, 1994).

I arbetets tidiga skede ska ett flertal brokoncept föreslås utifrån de givna förutsättningarna. Samtliga koncept ska sedan utredas utifrån flera olika aspekter såsom förvaltning, produktion och miljöpåverkan. Därefter ska det sammantaget bästa förslaget tas fram och en preliminär dimensionering av konstruktionen genomföras.

1.3 Avgränsningar

Ett flertal avgränsningar görs för att arbetet ska vara genomförbart inom det begränsade tidsintervallet. För val av koncept är kostnad högst relevant men det utförs inga noggranna ekonomiska kalkyler, endast en bedömning om hur koncepten förhåller sig kostnadsmässigt

mot varandra görs. Inga noggranna miljöanalyser utförs på framtagna koncept, de bedöms endast utifrån byggnadsmaterialet och dess påverkan på omgivningen.

Då arbetet enbart avser en preliminär dimensionering utesluts exempelvis horisontella laster och olyckslaster från beräkningarna. Detaljer såsom infästning av räcken samt underkonstruktioner dimensioneras inte och för grundläggning utförs endast en rimlighetsanalys. På- och avfarter beaktas ej.

1.4 Metod

Arbetet strukturerades i två större delar, där den första delen består av en förstudie och en urvalsprocess. I förstudien inhämtades information om platsens förutsättningar och brobyggande i allmänhet som tillsammans bildade bronns utformningsförutsättningar. Förstudien delades in i tre olika huvudområden för att skapa ett brett spektrum av underlag. Dessa tre huvudområden bestod av beställare/konstruktion, produktion och förvaltning/miljö och underhåll med två personer ansvariga för respektive område. Beställare/konstruktion ansvarade för projektet, identifierade risker och tog tillvara på samhällets intressen. Produktionsansvariga föreslog lämpliga konstruktionsmetoder för de olika koncepten, identifierade en produktionsplan och vilka temporära konstruktioner som behövdes för de valda produktionsmetoderna. Förvaltning/miljö och underhåll ansvarade för att identifiera nödvändiga inspektioner, vilket allmänt underhåll som krävs och kritiska punkter med hänsyn till beständighet.

Utifrån utformningsförutsättningarna genomfördes urvalsprocessen i två delar, där den första delen innehöll förslag på lämpliga koncept för platsen utifrån spännvidd och materialval. De mest lämpade förslagen viktades mot varandra i den andra delen av urvalsprocessen utifrån uppställda urvalskriterier baserat på de tre huvudområdena, för att få fram ett slutgiltigt koncept. Detta koncept presenteras sedan i större detalj.

Efter att det slutgiltiga konceptet tagits fram inleddes den preliminära dimensioneringen med att bestämma exponeringsklasser som utgör förutsättningar för vidare beräkningar. Sedan bestämdes dimensionerande laster i tvär- och längsled för olika lastkombinationer och lastfall. Därefter bestämdes erforderliga tvärsnittsdimensioner och armeringsmängder för balkarna i längsled och sedan för plattan i tvärled.

2 Förutsättningar och krav

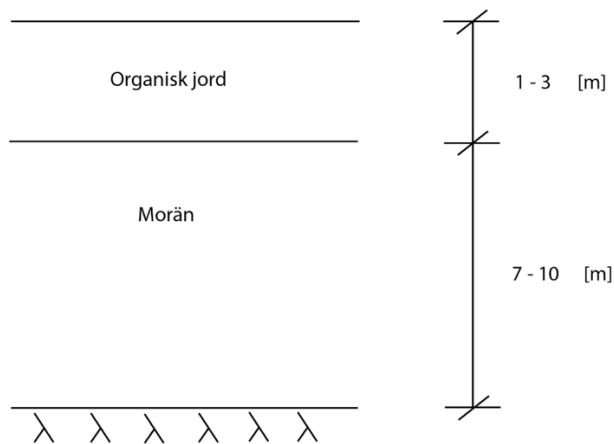
Under följande rubriker presenteras nödvändig information för framtagning av brokoncept. De underlag som främst används i kapitel två är planbeskrivningen (se bilaga A), den tekniska beskrivningen av bron (se bilaga B) samt den teknisk beskrivningen av vägen (se bilaga C).

2.1 Geografisk beskrivning

Bron ska uppföras över Vesankanalen när väg E22 byggs ut mellan Sölve och Stensnäs. Enligt den tekniska beskrivningen för vägen (se bilaga C) är Vesan ett låglänt före detta sjöområde som genom invallning och utpumpning sedan slutet av 1920-talet till stor del utgörs av bördig åkermark. Den högsta uppmätta temperaturen på platsen är 33 °C (1975) och den lägsta är -27 °C (1942) enligt SMHIs väderdata för Karlshamn, närmsta liggande ort (SMHI, 2018).

2.2 Geotekniska förutsättningar

I den tekniska beskrivningen (se bilaga B) beskrivs en jordlagerföljd enligt figur 2. Det översta lagret består av organisk jord som ligger på ett lager av morän. På lokala ställen finns även 1 meter tjocka sandlager mellan jordlagret och moränen. Enligt planbeskrivningen (bilaga A) så är grundläggningsnivån planlagd till -3,5 meter och information om moränens egenskaper runt detta skikt är därför viktig. I den tekniska beskrivningen beskrivs moränen ovanför grundläggningsnivån som mer grovkornig och att vara av karaktären grusig/sandig morän medan den nedanför är mer finkornig och av karaktären sandig/siltig morän.



Figur 2. Jordlagerföljd för aktuell plats. Författarens egna figur.

2.3 Beställarens krav

Beställaren av bron är Trafikverket och de har i den tekniska beskrivningen för bron (se bilaga B) formulerat krav kring brons utförande. Bron korsar Vesankanalen och kommer belastas med tvåfilig motorväg i båda riktningarna. Enligt den tekniska beskrivningen är den tekniska livslängden 80 år och vägsträckan dimensioneras för ÅDT (årsdygnstrafik) 10 000 - 40 000 fordon. Med utgångspunkt i planbeskrivningen (se bilaga A) uppskattas brons spännvidd till 25 meter förutsatt att stöd placeras på vardera sida av Vesans banker ovanför HHW (högsta högvattenstånd). Enligt VGU (vägars och gators utformning) är den minsta erforderliga bredden för en körbana 9,5 meter exklusive mittremsa och kantbalkar (Trafikverket, 2015). Krav enligt Trafikverket är att brolagrets underkant måste placeras minst 0,2 meter över HHW (Trafikverket, 2018b). Det aktuella HHW ger utrymme för en maximal konstruktionshöjd på ungefär fyra meter (se bilaga A).

2.4 Produktionsförutsättningar

Baserat på det faktum att en ny väg ska byggas behöver ingen hänsyn tas till omledning av trafik. Däremot behöver undersökningar för transport av material och maskiner beaktas. Vesankanalen komplicerar även eventuella temporära konstruktioners utformning då de ej bör placeras i kanalen.

2.5 Miljö

Under projekteringen av bron ska ståndpunkter från Sölvesborgs miljöpolitik beaktas. I enlighet med Sölvesborgs kommun ska byggnationens kretslopp vara resurseffektivt och farliga ämnen skall undvikas i högsta möjliga grad (Sölvesborgs kommun, 2018). Det ska ske god hushållning med naturresurser och konsumtionsmönstret av varor och tjänster ska orsaka så små miljö- och hälsoproblem som möjligt.

Relevant miljömål för byggnationen av bron är att levande sjöar och vattendrag ska vara ekologiskt hållbara (Sölvesborgs kommun, 2018). Vesankanalens biologiska mångfald, kulturmiljövärde och naturliga produktionsförmåga får inte äventyras på grund av brobyggnationen. Vesankanalen är också ett av flera vattendrag i området som mynnar ut i Pukaviksbukten som är ett Natura 2000-område vilket ökar vikten av att minska föroreningsrisker.

Miljöaspekten anses central för arbetet och stor vikt läggs vid att uppnå ställda miljökrav. Denna aspekt bör ha stor inverkan vid beslutstagande kring de delar av arbetet som kan påverka närmiljön, exempelvis dagvattenhantering och stödkonstruktioner vid produktion.

3 Utformningsförutsättningar

Baserat på informationen i bilaga D – H samt förutsättningarna beskrivna i tidigare kapitel, kommer under följande rubriker författarnas egna resonemang och slutsatser kring material, brotyper, produktionsmetoder, grundläggningsmetoder samt förvaltning att presenteras.

3.1 Material

Broar utförs vanligen i materialen trä, stål, betong eller i kombinationer av dessa. I vissa fall används nya innovativa kompositmaterial, exempelvis FRP (fibre reinforced plastics). Följande resonemang angående lämpliga konstruktionsmaterial för bron baseras huvudsakligen på bilaga D där de fyra nämnda materialens egenskaper presenteras.

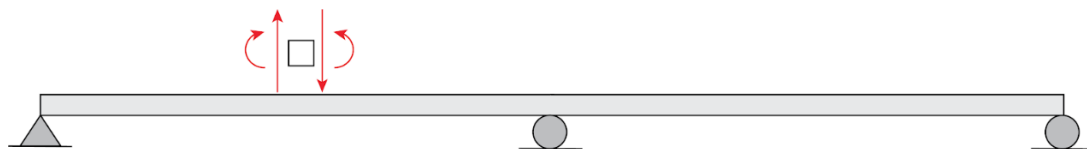
Enligt Robert Kliger, professor på avdelningen konstruktionsteknik vid Chalmers, är trä ett material som vanligen används i mindre konstruktioner som avser gång- och cykeltrafik (personlig kommunikation, 17 februari 2019). En av fördelarna med trä är dess förmåga att lagra koldioxid. Ett ton träprodukt kan lagra upp till 1,8 ton koldioxid under sin livslängd genom fotosyntes, vilket är ett incitament för att använda trä i konstruktioner med långa livslängder. Nackdelen med trä är dess beständighet, främst dess känslighet för fukt och dess inverkan på träets bärförmåga.

Betong används frekvent i vägbroar med liknande förutsättningar som i detta fall och finns lättillgängligt i Sverige. Jämfört med stål har betong en lägre miljöpåverkan samt en lägre tillverkningskostnad. Betongens nackdel är dess egentyngd som vid längre spännvidder kan bli begränsande. Stål är också ett etablerat material som med sina goda mekaniska egenskaper möjliggör slanka konstruktioner. Ur beständighetssynpunkt är betong och stål bra val som med korrekt utformning bör minimera underhållskostnader. Kompositmaterial kommer inte beaktas i detta arbete då de utgör en beräkningssvårighet samt innebär höga kostnader.

3.2 Bärverk och Brotyper

Val av brotyp är en central fråga med inverkan på, i princip, alla aspekter av arbetet. Utifrån bilaga E, som beskriver olika bärverk och brotyper, kan flera brotyper uteslutas med hänsyn till platsens geometriska förutsättningar med en spännvidd på 25 meter.

Linverkansbroar utesluts då de är lämpliga för betydligt större spännvidder på över 100 meter. Fackverksbroar utesluts då dessa är olämpliga för spännvidder under 50 meter, samt att permanenta fackverksbroar för biltrafik inte längre byggs. Olika typer av bågbroar utesluts också då de i stort sett enbart väljs av estetiska skäl. Gällande plattbron är det inte ekonomiskt fördelaktigt att konstruera dessa vid spännvidder större än 14–16 meter, då är balkbron ett bättre alternativ. Plattbron kan dock ge en låg konstruktionshöjd, men för det aktuella broläget finns det god marginal och därmed utesluts även denna brotyp. De brotyper som vidare undersöks blir därmed samverkans-, ram-, och balkbro med det gemensamma verkningssättet balkverkan som illustreras i figur 3.

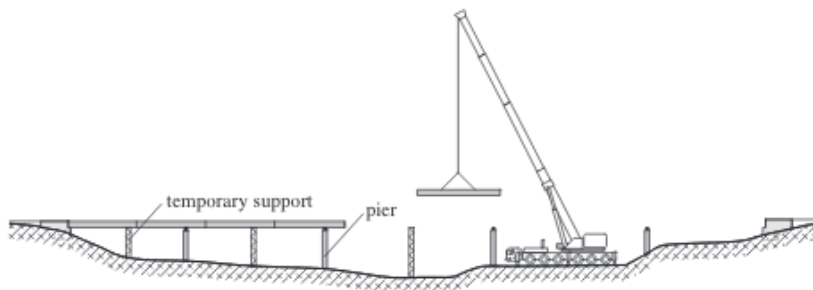


Figur 3. Balkverkan. Författarens egna figur.

3.3 Produktionsmetoder

Produktionsmetoder beskriver hur broar uppförs och aspekter som tidsåtgång, kostnad och arbetsmiljö bör beaktas vid beslut. Den viktigaste förutsättningen är kanalen vilken bron ska korsa som komplicerar eventuella stödkonstruktioner. Utifrån detta och bilaga F, där olika produktionsmetoder beskrivs, bedöms de lämpligaste metoderna vara platsgjutning eller kranlansering av prefabricerade element vilket illustreras i figur 4.

En av platsgjutningens fördelar är att en homogen konstruktion med få detaljer erhålls, vilket ger god beständighet. En nackdel är att temporära konstruktioner, exempelvis gjutformar, krävs vilket utgör en kostnad ekonomiskt såväl som ekologiskt då dessa ej kan återanvändas. Kranlansering minimerar antalet stödkonstruktioner men detaljerna, exempelvis brons lager, löper större risk för beständighetsproblem jämfört med platsgjutning, enligt Mats Karlsson professor of the practice vid avdelningen för konstruktionsteknik vid Chalmers (personlig kommunikation, 5 mars 2019).



Figur 4. Princip för kranlansering. (Hirt & Lebet, 2013). Återgiven med tillstånd.

3.4 Grundläggning

Brostöden placeras på vardera sida av kanalen i slänter. Grundläggningens syfte är att leda lasterna ner i marken och dess utformning beror huvudsakligen på de geotekniska förutsättningarna. Utifrån jordlagerföljden i kombination med bilaga G, där grundläggningsmetoder beskrivs, bedöms pålning överflödigt då brostöden placeras på ett mäktigt lager morän med erforderlig bärförmåga samt att det hade medfört en högre konstruktionskostnad. De aktuella grundläggningsmetoderna för platsen är således platta på mark eller platta på packad fyllning där det sistnämnda anses fördelaktigt tack vare det organiska jordlagrets mäktighet.

3.5 Inspektioner och underhåll

Broar inspekteras regelbundet för att garantera säkerheten. De olika typerna av inspektioner samt skador och reparationer beskrivs i bilaga H. Specifikt för platsen är att kanalen komplicerar inspektion av sidorna och undersidan av brodäcket. Inspektioner kommer utföras med kran placerad på bron och på grund av detta bör tvärsnitten utformas på ett sätt vilket inte ytterligare försvårar inspektion.

4 Urval

Urvalsprocessen för framtagning av brokoncept delas in i två delar. Syftet med första delen är att identifiera lämpliga brokoncept utifrån platsens förutsättningar, spännvidd och materialtyp. Den andra delen består av en jämförelse av koncepten med utvärderingskriterierna beskrivna nedan, vilken resulterar i ett slutgiltigt brokoncept.

4.1 Utvärderingskriterier

De tre huvudområdena, beställare/konstruktion, produktion och förvaltning/miljö och underhåll, har tillsammans tagit fram nio utvärderingskriterier. Dessa viktas för att undersöka relevansen och betydelsen av dem gentemot varandra utifrån platsens förutsättningar.

1. Produktionskostnader

Arbetet innefattar inga utförliga kostnads kalkyler men hänsyn till produktionskostnaden beaktas då ekonomi är en grundläggande beståndsdel i beslutstagandet. Faktorer av relevans är val av material, brotyp och produktionsmetod.

2. Estetisk utformning och anpassning

Ur en arkitektonisk synpunkt kan konstruktionens utformning vara neutral och smälta in i landskapet eller sticka ut och bryta av. Koncept som anses smälta in i omgivningen bedöms positivt i utvärderingen.

3. Innovation

Konceptens innovationshöjd bedöms utifrån graden av nytänkande gentemot tidigare lösningar för platser med liknande förutsättningar. Kriteriet kan ses på två sätt, nya lösningar kan medföra högre risk för tidigare okända problem men utan innovation stannar utvecklingen. För arbetets ändamål anses innovativa lösningar positiva.

4. Produktionstid

Produktionstiden för olika broar skiljer sig markant beroende på materialval, brotyp och produktionsmetod. Då bron är del av en ny vägsträcka har den ingen inverkan på trafikflödet eller andra yttre faktorer. Däremot ökar risken för en negativ påverkan på närmiljön samt högre kostnader ju längre tid produktionen tar. Det är därför önskvärt med en så kort produktionstid som möjligt.

5. Produktionsteknik

Tillvägagångssättet för produktionen kan vara mer eller mindre lämpligt utifrån platsens förutsättningar. Detta kan innebära att vissa produktionsmetoder är mindre genomförbara och för vissa metoder krävs stödkonstruktioner. Val av produktionsteknik påverkar även faktorer som skaderisk, kostnader och produktionstid.

6. Inspektion

Inspektioner av broar sker löpande och konstruktionens utformning är viktig för att underlätta vid framtida inspektioner och eventuella reparationer.

7. Beständighet

Konceptets beständighet har en stor inverkan på framtida underhållsåtgärder. Bland annat påverkar materialvalet samt detaljernas antal och utformning bronns beständighet och därmed underhållsbehovet.

8. Miljöpåverkan

Den påverkan som bron har på miljön under sin livstid bör minimeras. Materialens utsläpp under produktion och möjlighet till återvinning är viktigt för att minska miljöpåverkan. Konstruktionen och produktionen bör också ha minimal påverkan på närliggande ekosystem.

9. Beräkningsbarhet

Komplexiteten av dimensioneringsberäkningarna för konceptet bör vara på en rimlig nivå för arbetets omfattning.

4.1.1 Viktning av utvärderingskriterier

För framtagning av ett slutgiltigt brokoncept behöver vikten av respektive utvärderingskriterium bedömas. Viktningen sker genom en poängsättning, vilken förtydligas i tabell 1, där kriteriernas inbördes relevans för de givna förutsättningarna jämförs. I kolumn a viktas sedan poängen av de kriterier som ingår i de sju olika kategorierna och i kolumn b anges kategorins andel av totalpoängen. I kolumnen längst åt höger anges total viktning för vardera kriterium.

Tabell 1. Viktning av utvärderingskriterier.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Poäng	a	b	a*b
Kostnad	1 Produktionskostnader		3	3	2	2	2	2	2	2	18	100%	12,5%	12,5%
Estetik	2 Estetisk utformning och anpassning	1		2	1	1	1	1	1	1	9	100%	6,3%	6,3%
Innovation	3 Innovation	1	2		1	1	1	1	1	1	9	100%	6,3%	6,3%
Produktionsfaktorer	4 Produktionstid	2	3	3		3	2	1	1	2	17	53%		11,8%
	5 Produktionsteknik	2	3	3	1		2	1	1	2	15	47%	22,2%	10,4%
Förvaltning	6 Inspektion	2	3	3	2	2		2	2	2	18	46%		12,5%
	7 Beständighet	2	3	3	3	3	2		2	3	21	54%	27,1%	14,6%
Miljö	8 Miljöpåverkan	2	3	3	3	3	2	2		3	21	100%	14,6%	14,6%
Beräkningsbarhet	9 Beräkningsbarhet	2	3	3	2	2	2	1	1		16	100%	11,1%	11,1%
										Σ	144		100%	100%

1= mindre viktig, 2=likvärdig, 3=viktigare

4.2 Urvalsprocess I

Nedan listas förslag på olika brokoncept som kommer jämföras i mindre omfattning med varandra för att slutligen välja ut tre koncept som ska utvärderas noggrannare i urvalsprocess II. Förslagen är framtagna utifrån utformningsförutsättningarna, beskrivna i kapitel 3.

Förslag 1: Samverkansbro med stålbalkar och farbana i betong

Förslag 2: Samverkansbro med limträbalkar och farbana i betong

Förslag 3: Balkbro med slakarmerad betong

Förslag 4: Balkbro med förspänd betong

Förslag 5: Balkrambro i förspänd betong

Förslag 1 är en etablerad konstruktionslösning som används vid liknande förutsättningar och är ett möjligt alternativ för bron över Vesankanalen. Förslag 2 är en möjlig lösning men är idag inte genomförbar i Sverige på grund av träets korta tekniska livslängd. Skillnaden mellan förslag 3 och 4 är att en förspänd konstruktion blir slankare och kräver mindre betong än en slakarmerad. Spännarmerade konstruktioner har därmed en lägre klimatpåverkan men de är

också dyrare. Om konstruktionen prefabriceras tillverkas balkarna under mer kontrollerade förhållanden, levereras till platsen när balkarna behövs och lanseras på plats med kran. Platsgjutning, å andra sidan, kräver gjutning och stämning vilket är problematiskt. Stämning är problematiskt då bron går över ett vattendrag. Förslag 5 är likt förslag 4 med skillnaden att farbanan är sammangjuten med stöd som är momentstyva.

De koncepten som väljs för en noggrannare analys är:

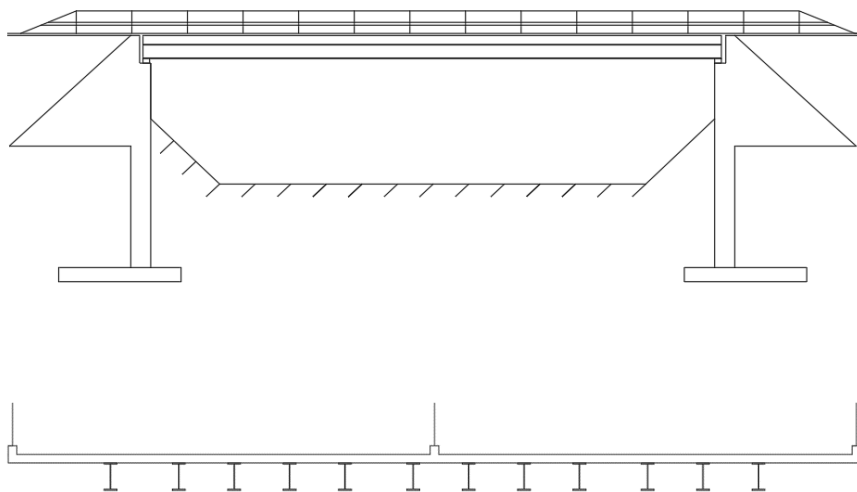
Koncept 1: Samverkansbro med stålbalkar och farbana i betong

Koncept 2: Platsgjuten förspänd balkrambro i betong

Koncept 3: Prefabricerad balkbro med förspänd betong

4.2.1 Koncept 1 - Samverkansbro med stålbalkar och farbana i betong

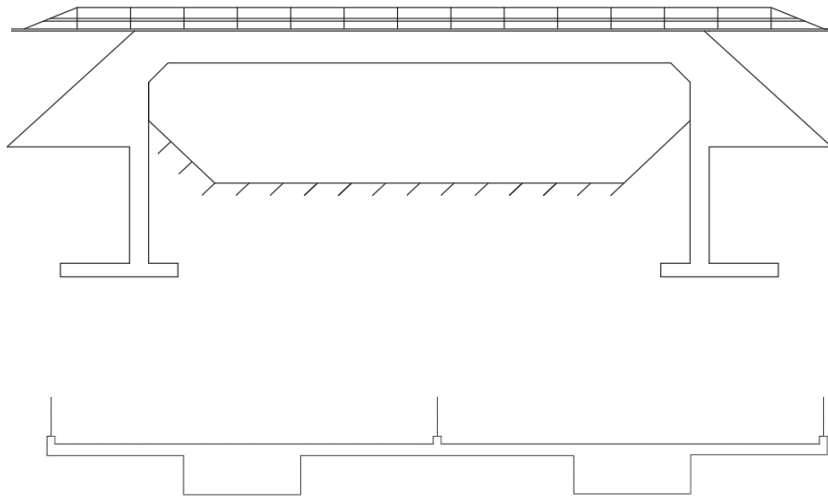
Samverkansbron, som illustreras i figur 5, består av stående stålbalkar med I-tvärsnitt placerade på lager ovanpå ändstöden. Ovan stålbalkarna gjuts en farbana i betong som asfalteras. Vingmurar gjuts ihop med ändstöden och räcken placeras längs bron mitt och kanter. Utformning av räcken och vingmurar är gemensam för samtliga tre koncept. För att konstruera bron gjuts stöden på plats och färdiga I-balkar lanseras sedan med kran. Därefter återstår gjutning av farbana och asfaltering.



Figur 5. Skiss av koncept 1, samverkansbro med balkar i stål och farbana i betong. Författarens egna figur.

4.2.2 Koncept 2 - Platsgjuten förspänd balkrambro i betong

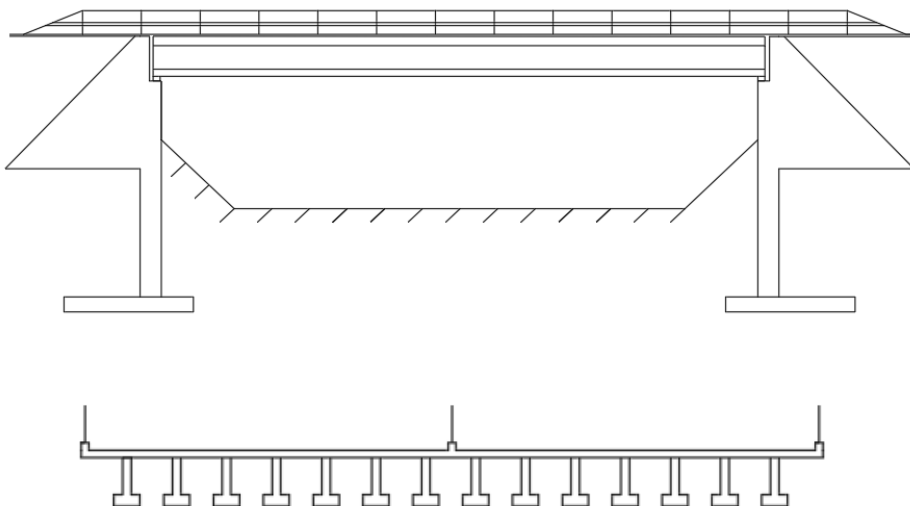
Balkrambron, som illustreras i figur 6, består av en homogen, ihopsittande konstruktion där vingmurar, ändstöd och broplatta är sammangjutna. Brokonstruktionen gjuts på plats, vilket innebär att det krävs temporära konstruktioner och produktionen försvåras då bron går över en kanal. Ur en beständighets- och inspektionssynpunkt är en rambro fördelaktig eftersom konstruktionen är enkel att inspektera och har få detaljer som kräver underhåll.



Figur 6. Skiss av koncept 2, platsgjuten förspänd balkrambro i betong. Författarens egna figur.

4.2.3 Koncept 3 - Prefabricerad balkbro med förspänd betong

Balkbron, som illustreras i figur 7, blir snarlik samverkansbron där de bärande balkarna, i detta fall i form av prefabricerade betongbalkar med inverterat T-tvårsnitt, placeras på lager ovanpå ändstöden. Prefabricerade plattor i betong läggs sedan över betongbalkarna och fogas samman med ett betonglager som gjuts på plats.



Figur 7. Skiss av koncept 3, prefabricerad balkbro med förspänd betong. Författarens egna figur.

4.3 Riskanalys

Riskanalys genomförs för att identifiera möjliga risker i utformning, dimensionering och produktion för samtliga koncept för att undvika exempelvis personskador, ökade utgifter, förseningar och skador av närliggande miljö.

4.3.1 Allmänna risker

Gemensamma risker för de olika koncepten måste tas hänsyn till, men det är inget som påverkar valet av brokoncept. Bristfällig kommunikation är problematisk, exempelvis kan information mellan aktörer i projektet missas, vilket kan leda till fel i produktionen. Andra gemensamma risker är arbete med underkonstruktioner där schaktningen kan innebära risk för skred. Bron kan även utsättas för oförutsedda laster som den inte dimensionerats för.

4.3.2 Koncept 1 - Samverkansbro med stålbalkar och farbana i betong

En risk för koncept 1 är att transporten av balkarna kan leda till skador på balkarna vilket kan ge upphov till långa väntetider vid ersättning. Detsamma gäller om balkarna vid leverans visar sig vara felaktigt utformade, vilket kan vara svårt att åtgärda på plats. Kranlanseringen av balkarna utgör en risk då kranen kan välta och balkarna skadas eller tappas. Ovan stålbalkarna ska betongplatta och farbana gjutas vilket ger upphov till risker för läckage och förorening av Vesankanalen.

4.3.3 Koncept 2 - Platsgjuten förspänd balkrambro i betong

En av de mest kritiska riskerna när det gäller balkrambron är användandet av temporära konstruktioner som kan leda till ras och personskador. Det krävs en säker hantering under både upp- och nedmontering av ställningar och det finns även en risk att dessa feldimensioneras.

Under produktionen kan gjutformar börja läcka samt kemikalier spillas vilket kan kontaminera Vesankanalen. Platsgjutning innebär att arbetet blir väderberoende vilket medför en risk för sämre kvalitet jämfört med gjutning inomhus.

4.3.4 Koncept 3 - Prefabricerad balkbro med förspänd betong

Likt koncept 1 föreligger en risk vid transport av balkelement i form av förseningar och skador. Även vid lansering delar detta koncept risker med koncept 1. Däremot är balkarna i detta koncept tyngre och därmed svårare att hantera och även känsligare för mindre skador då armeringen kan blottas och korrodera.

Då både balkarna och farbaneplattorna är prefabricerade reduceras arbetsinsatserna på plats vilket minimerar risken för både personskador och skador på den omgivande naturen. Samtidigt är produktionsmetoden inte vanligt förekommande i Sverige vilket kan vara riskfyllt då erfarenhet saknas hos både beställare och entreprenör.

Angående beständighet existerar flera risker till följd av konceptets många element och detaljer. Anslutning mellan farbana och balkelement medför en risk då den vid felaktigt utförande kan påverka brokonceptets bärförmåga och beständighet.

4.3.5 Viktning av risker

Det är svårt att vikta de olika riskerna mot varandra eftersom det inte med säkerhet går att bestämma sannolikheten för de olika riskerna och dess konsekvenser. De tre koncepten har risker av varierande magnitud, men eftersom det är svårt att jämföra dessa risker med varandra är denna del inte med i urvalsprocessen. De tre koncepten har förekommit tidigare, där koncept

1 och 2 är beprövade i Sverige medan koncept 3 är etablerat internationellt, och deras risker antas vara likvärdiga med varandra.

4.4 Urvalsprocess II

Syftet med andra delen i urvalsprocessen är att jämföra och utvärdera de tre brokoncepten med utgångspunkt i de viktade utvärderingskriterierna så att ett slutgiltigt koncept kan fastställas. Koncepten betygsätts med hjälp av tidigare viktning och ett poängsystem från 1 till 5 för varje kriterium, där höga poäng är positivt. I tabell 2 framgår hur koncepten har bedömts med nedanstående motiveringar.

Tabell 2. Betygsättning av de utvalda brokoncepten med viktfactorer från tabell 1.

Utvärderingskriterier	Viktfaktor	Koncept 1		Koncept 2		Koncept 3	
		Betyg	Viktat	Betyg	Viktat	Betyg	Viktat
Produktionskostnader	0,125	3	0,375	4	0,500	3	0,375
Estetisk utformning och anpassning	0,063	3	0,189	3	0,189	3	0,189
Innovation	0,063	1	0,063	1	0,063	3	0,189
Produktionstid	0,118	4	0,472	2	0,236	4	0,472
Produktionsteknik	0,104	4	0,416	2	0,208	4	0,416
Inspektion	0,125	3	0,375	4	0,500	3	0,375
Beständighet	0,146	3	0,438	4	0,584	3	0,438
Miljöpåverkan	0,146	3	0,438	3	0,438	4	0,584
Beräkningsbarhet	0,111	4	0,444	3	0,333	3	0,333
		Σ	3,210	Σ	3,051	Σ	3,371

1. Produktionskostnad

Det som primärt skiljer brokoncepten åt är att samverkansbron utförs i balkar av stål vilket i jämförelse med betong är ett förhållandevis dyrt material. Till följd av att balkbron och samverkansbron konstrueras av prefabricerade element uppstår minimala kostnader vad gäller stödkonstruktioner. Däremot innebär prefabricerade element höga kostnader för transporter och lansering. Balkrambron kräver temporära konstruktioner och mer gjutningsarbete på plats men kostnaden antas ändå vara lägre än kostnaderna för transport och lansering av de prefabricerade balkarna. Transporten antas vara särskilt dyr för betongbalkarna på grund av deras storlek och tyngd.

2. Estetisk utformning och anpassning

Den estetiska aspekten har inte varit avgörande under urvalsprocessen. Kvarvarande koncept smälter in i landskapet samt har liknande utseende och bedöms därmed ha likvärdiga estetiska egenskaper.

3. Innovation

Samverkansbroar och balkrambroar är väletablerade lösningar och anses därmed sakna innovativa inslag. Prefabricerade balkbroar är en teknik som används i Europa men av bland annat kulturella anledningar har det ännu inte använts i någon större utsträckning i Sverige. På grund av detta bedöms koncept 3 vara relativt innovativt.

4. Produktionstid

De tre koncepten har liknande landfästen, stöd och grundläggning vilket medför att produktionstiden av dessa element antas jämlig. Samverkansbrons stålbalkar och balkbrons prefabricerade balkar levereras färdiga för montage vilket ger båda koncepten kort produktionstid. Balkrambron, å andra sidan, platsgjuts vilket är en betydligt mer tidskrävande process.

5. Produktionsteknik

Den prefabricerade balkbron kan lyftas på plats eller lanseras ut från något av landfästena, vilket även gäller för samverkansbron. Detta förenklar produktionen då ställningar och stämning undviks. Balkrambrons uppförande kompliceras av kanalens läge då stödkonstruktioner blir utmanande att montera.

6. Inspektion

Brons läge över kanalen kan göra brodäckets undersida och kanter något svåråtkomliga för inspektion. Balkrambrons homogena och enkla tvärsnitt underlättar själva inspektionen jämfört med de andra koncepten som har flera detaljer.

7. Beständighet

Betong är ett material som kan utsättas för beständighetsproblem under ogynnsamma miljöförhållanden men förutsatt att det konstruktiva skyddet är väl utfört är betong ett mycket beständigt material. Stålmateriel behöver rostskyddmålas men är i övrigt väldigt beständigt. Då balkrambron gjuts som en kontinuerlig platta tillsammans med vingmurarna utförs den med färre detaljer än balkbron. Till följd av samverkansbrons och balkbrons sammansättning erfordras fler detaljer vilket innebär fler känsliga punkter i konstruktionen. Betongbalkbron och samverkansbron anses något mindre beständiga än balkrambron.

8. Miljöpåverkan

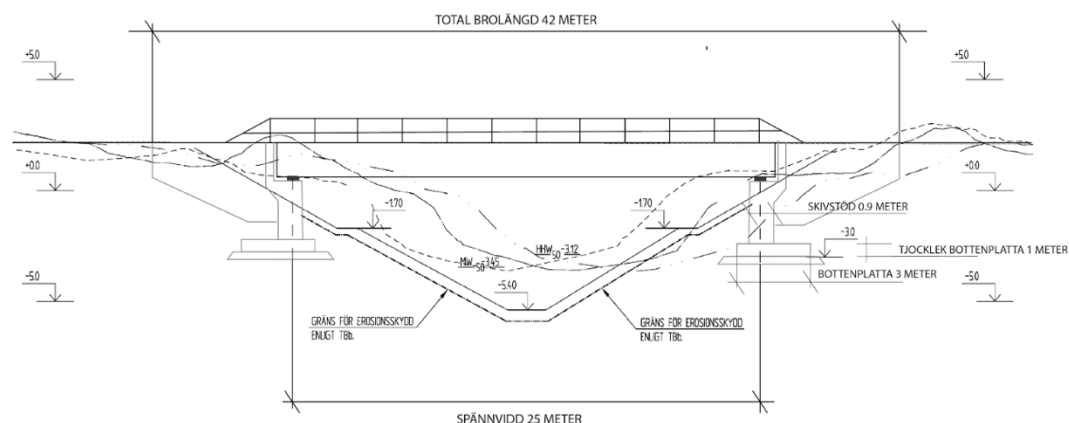
Balkbron och balkrambron består till stor del av betong vilket har en lägre miljöpåverkan än stål. Samverkansbron anses därmed ha en högre miljöpåverkan på grund av stålbalkarna än betongbroarna baserat på material. Däremot kommer balkrambron kräva flera temporära stödkonstruktioner, speciellt gjutformar som har en relativt stor inverkan på miljön då dessa inte kan återvinnas.

9. Beräkningsbarhet

Under utbildningens gång har beräkningar av förspända broar än så länge inte stötts på. Detta gör att komplexiteten av koncept 2 och 3 är högre än för koncept 1. Därmed bedöms dessa i relation till koncept 1 ha en lägre beräkningsbarhet.

5 Presentation av slutligt koncept

Konceptet med den högsta poängen från urvalsprocessen är den prefabricerade balkbron med förspänd betong, vars inpassning i landskapet illustreras i figur 8. Nedan presenteras produktionsplan, utformning av över- och underbyggnad, detaljer och förvaltning och underhåll för det valda konceptet.



Figur 8. Schematisk utformning av slutligt koncept med total bro längd, spännvidd och ungefärliga mått på underkonstruktion. Författarens egna figur.

5.1 Produktionsplan

Det initiala skedet av produktionen består av en etablering i området. Arbetsbodar upprättas och maskiner samt material till markarbete transporteras till platsen. Jordmaterialet schaktas ut, därefter fylls schakten med en halvmeter grus, som bottenplattan sedan gjuts på och därefter skivstöden och till slut vingmurarna. När gjutningen är färdigställd placeras lager ut på skivstöden. Efter detta ska de prefabricerade balkarna levereras och sedan lanseras ut på stöden med hjälp av en kran från den anslutande vägen. Ovan de prefabricerade balkarna placeras prefabricerade plattor, enligt figur 9, som gjuts samman med balkarna för att skapa samverkan. Därefter kan tätskikt läggas, asfaltering utföras och när asfalten är på plats återstår detaljutformning där räcken ska monteras, körfälten markeras ut och dagvattenlösningarna färdigställas.



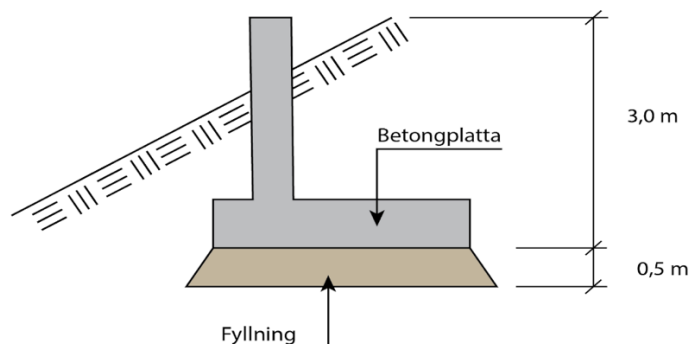
Figur 9. Montering av prefabricerade betongplattor, från Q. Kees (personlig kommunikation, 27 mars 2019) Återgiven med tillstånd.

5.1.1 Transport av balkar

De prefabricerade balkarna transporteras till platsen med hjälp av specialtransport. Enligt Mattias Pettersson (personlig kommunikation, 12 april 2019), projektledare på Göteborgs lastbilscentral, är viktkraven 30, gärna 25 ton för marginal, per balk. Detta är något normala specialtransportfordon kan hantera men det finns fordon som klarar av större laster men detta skulle öka etableringskostnaderna.

5.2 Grundläggning

Med utgångspunkt i de geotekniska förutsättningarna anses grundläggningsförhållandena goda då jordlagerföljden består av morän med god hållfasthet. En lämplig grundläggningsmetod för koncepten är plattgrundläggning där översta jordlagret, bestående av organisk jord, schaktas bort och en betongplatta placeras på packat fyllningsmaterial ovan moränen. Schaktning sker till 3,5 meter nedanför nollnivå och fylls med 0,5 meter grus. Plattans underkant hamnar då 3 meter nedanför nollnivå, se figur 10. Schaktarbetet utförs i torrhet vid lågt vattenstånd i Vesankanalen. Moränens känslighet för vattenöverskott innebär att schaktbotten måste skyddas mot vatten och tjälning. Dimensionerande vattenflöde enligt teknisk beskrivning är en meter per sekund vilket innebär att erosionsskydd krävs (Trafikverket, 2011b). Skyddet ska läggas 0,3 meter över HHW och minst 3 meter utanför släntfot.



Figur 10. Grundläggning av gjuten bottenplatta på packad fyllning. Författarens egna figur.

5.3 Överbyggnad

Överbyggnaden är den del av brokonstruktionen som är belägen ovanför stöd. De detaljer som kommer beskrivas noggrannare är utformning av brolager och övergångskonstruktion.

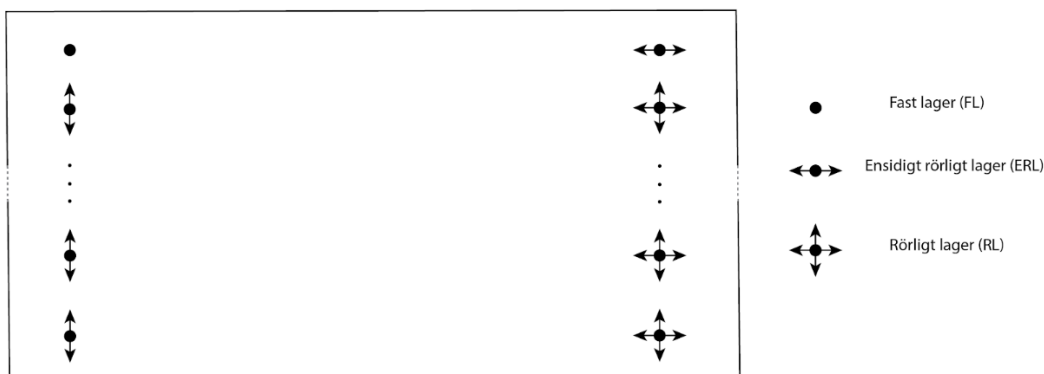
5.3.1 Brolager

Brolager överför kraften från överbyggnaden ner till brostöden och bidrar till att brodelarna kan utvidgas och krympa utan att tvångskrafter uppstår. Lager finns av typerna ensidigt rörligt lager (ERL), rörligt lager (RL) och fast lager (FL). Figur 11 visar ett ensidigt rörligt lager av äldre modell.



Figur 11. McKee Street Bridge (Patrick Feller, 2013). CC BY-SA.

Stödtyperna som väljs definierar konstruktionens rörelseförmåga och varje balk kopplas samman med ett lager vid varje stöd. Den principiella utformningen av brolager för valt brokoncept presenteras i figur 12.



Figur 12. Principiell brolagerutformning. Författarens egna figur.

5.3.2 Övergångskonstruktion

Övergångskonstruktionen gör det möjligt att ta upp längd- och vinkelrörelser mellan över- och underbyggnad samt överbygger konstruktionens nedre delar som lager och skivstöd. Bredden på övergångskonstruktionen måste vara tillräckligt stor för att bron skall kunna utvidgas och krympa på grund av temperaturförändringar, annars uppstår risk för tvångskrafter vid exceptionella temperaturer. En lämplig övergångskonstruktion är enspaltsfög med gummiprofil med maximal rörelse på 90 millimeter. Ett exempel på en övergångskonstruktion illustreras i figur 13.



Figur 13. Expansion joint in a steel plate girder bridge (Wade, 2009). CC BY-SA.

En uppskattning av bronns totala längdutvidgning har utförts med antagandet om en jämnt fördelad temperaturkomponent enligt Eurokod, se bilaga Y. Bronns totala längdutvidgning beräknas till 13,5 millimeter vilket ger en mycket god marginal för den valda övergångskonstruktionen.

5.4 Underbyggnad

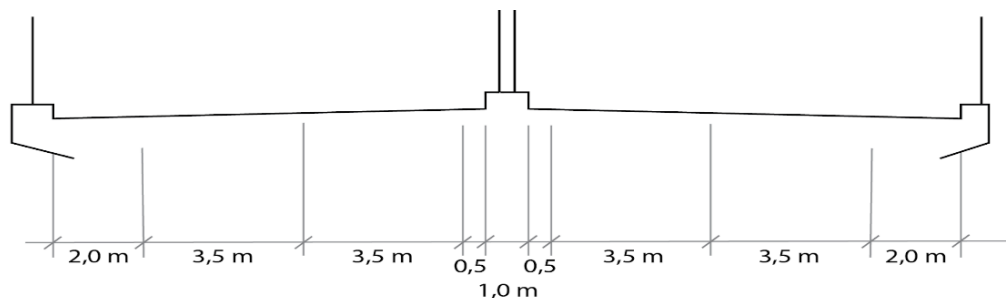
Underbyggnaden gjuts på plats och består av skivstöd, bottenplatta och vingmur. Skivstödet tjocklek uppskattas till 0,9 meter för att ge tillräckligt utrymme åt brolager och gjuts ihop med vingmurar för att kunna hantera de jordtryck som bildas och kompensera för höjdskillnaden vid stöden. Vingarna placeras parallellt med vägens riktning för att minimera påverkan från horisontalkrafter samt stjälpande moment på landfästen. Bottenplattan uppskattas vara lika bred som bron, 3 meter lång och 0,5 meter hög. Dimensionernas rimlighet har diskuterats under samtal med Joosef Leppänen (personlig kommunikation, 5 april 2019).

5.5 Farbana

Farbanan utformas för att uppfylla krav på bredd enligt VGU. Den utformas även för hantering av dagvatten samt infästning av vägräcken.

5.5.1 Utformning av farbana

Enligt VGU ska motorvägar utformas med separata körbanor för motriktad trafik och skiljas åt med en mittremsa (Trafikverket, 2015). Farbana utformas i enlighet med VGU:s standardiserade mått för en brosektion med motorväg och ett exempelvärsnitt beskrivs i figur 14. Måttet för mittremsan är inte standardiserat och väljs således till 1 meter. Den totala bredden på farbana blir därmed 20 meter.



Figur 14. Exempelskiss av bronns farbana. Författarens egna figur.

5.5.2 Dagvattenhantering

Farbana bestående av asfalt ska enligt krav från Trafikverket bomberas dubbelsidigt med lutningen 2,5 % för att leda dagvatten till bronns kantbalkar (Trafikverket, 2015). Med hjälp av rännor utmed kantbalkarna förs dagvattnet norrut längs bron och vid slutet av bron kan rännorna anslutas till en dagvattenledning för att säkerställa att dagvattnet inte förorenar kanalen.

5.5.3 Räckena

Räckena konstrueras för att en god säkerhet för rådande trafiksituation ska erfordras, i det här fallet en motorväg. Räckena monteras på kantbalkarna, balk i bromitt samt på vingmur. Det är viktigt att infästningen av räckena inte påverkar balkarna så att armering synliggörs eller kommer i kontakt med skruvarna.

5.6 Förvaltning och underhåll

Då undersökningar av exempelvis sprickbildning och karbonatisering hos balkarna och plattan behöver utföras måste utrymmet mellan balkarna vara tillgängligt. För att garantera god inspekterbarhet väljs därför ett minimikrav på avståndet mellan de undre flänsarna på balkarna till 0,6 meter. Avståndet baseras på resonemang kring ergonomi och bekvämlighet för inspektör. Detaljer som upplag och övergångskonstruktioner är särskilt kritiska punkter och det är viktigt att dessa utformas lättåtkomligt för rengöring och reparation eller utbyte.

DEL 2 – PRELIMINÄR DIMENSIONERING

6 Exponeringsklasser

För att säkerställa att de olika konstruktionsdelarna i bron erhåller en god kvalitet väljs olika exponeringsklasser. Valet av dessa klasser görs med hjälp av underlag från Trafikverkets råd och krav brobyggande, Trafikverkets författningssamling och Eurokod. I tabell 3 presenteras de valda exponeringsklasserna utifrån Trafikverkets råd och krav och i tabell 4 följer en kort förklaring av respektive exponeringsklass.

Tabell 3. Val av exponeringsklasser för de olika konstruktionsdelarna.

Konstruktionsdel	Exponeringsklass
Vägmiljö	XD3, XF4
Vingmur	XD1, XF4
Betong under mark	XC2, XF3
Kantbalk	XD3, XF4
Överbyggnad (balkar)	XD1, XF4

Tabell 4. Förklaring av för bron aktuella exponeringsklasser med beskrivande miljö.

XD - Korrosion orsakad av andra klorider än de från havsvatten
XD1 Måttlig fuktighet
XD3 Cykliskt våt och torr
XC - Korrosion föranledd av karbonatisering
XC2 Våt, sällan torr
XF - Angrepp av frysning/tining
XF3 Nära vattenmättnad, utan aviseringsmedel
XF4 Nära vattenmättnad med aviseringsmedel eller havsvatten

När exponeringsklasserna har valts kan minsta täckande betongskikt, $C_{\min, \text{dur}}$, bestämmas. Livslängdsklass L50 motsvarar en teknisk livslängd på 80 år vid tillämpning av Eurokod 2. För slakarmerade konstruktionsdelar görs detta utifrån Eurokod 2 SS-EN 1992-1-1 (Swedish Standards Institute, 2005a) och resultaten visas i tabell 5. Enligt Eurokod 2 ska minsta täckande betongskikt vara större för förspända konstruktioner och minsta täckskikt för de förspända balkarna presenteras i tabell 6. Maximalt tillåtna sprickbredder, w_{\max} samt maximalt vattencementtal, v_{ct} , är taget från Trafikverkets författningssamling (Trafikverket, 2011c). Samtliga dimensionerande värden presenteras i tabell 5 och tabell 6.

Utifrån exponeringsklass finns även en rekommenderad hållfasthetsklass vilken presenteras i tabell 5 och 6. För att klara viktrekommendationen, 25–30 ton, vid transport måste en högre betongkvalitet än den rekommenderade användas. En högre betongkvalitet innebär att konstruktionen kan göras slankare med mindre material för att reducera egenvikten. Därför kommer hållfasthetsklassen C60/75 användas för både balkarna och plattan.

Tabell 5. Dimensionerande exponeringsklasser, vattencementtal, minsta täckande betongskikt och hållfasthetsklass för armerade konstruktionsdelar.

Konstruktionsdel	Exponeringsklass	Max $V_{et,ekv}$	$c_{min,dur}$ [mm]	W_{max} [mm]	Rek. Hållfasthetsklass
Vingmur/överbyggnad (balkar)	XD1	0,45	35	0,3	C30/37
Vägmiljö/kantbalk	XD3	0,4	45	0,2	C35/45
Betong under mark	XC2	0,6	25	0,45	C25/30

Tabell 6. Dimensionerande exponeringsklasser, vattencementtal, minsta täckande betongskikt och hållfasthetsklass för förspända konstruktionsdelar.

Konstruktionsdel	Exponeringsklass	Max $V_{et,ekv}$	$c_{min,dur}$ [mm]	W_{max} [mm]	Rek. Hållfasthetsklass
Överbyggnad (förspända balkar)	XD1	0,45	45	0	C30/37

6.1 Täckande betongskikt

Beräkningar av täckande betongskikt, c_{nom} , utförs enligt Eurokod 2, se bilaga Q, för att armeringen ska ha tillräcklig vidhäftning och skydd från korrosion. Minsta avstånd mellan stängerna, S_{min} , beräknas för att vidhäftning ska vara tillräcklig och att betongen ska kunna kompakteras. Även avstånd från kant till centrum av närmaste dragarmeringsstång, $c_c = c_{nom} + \frac{\phi_s}{2} + \phi_w$.

Utifrån olika exponeringsklasser och armeringstyper i konstruktionen krävs olika avstånd för täckande betongskikt och avstånd mellan stängerna vilka presenteras i tabell 7.

Tabell 7. Täckande betongsskikt och armeringstyp för de olika konstruktionsdelarna.

Konstruktionsdel	Armeringstyp	Armering Φ [mm]	Betongklass	c_{nom} [mm]	c_c [mm]	S_{min} [mm]
Balk	7 wire strand	15,7	C60/75	55	75	25
Balk	B500B	25	C60/75	40	65	50
Platta	B500B	16	C60/75	55	75	25

7 Laster

Det första steget i den preliminära dimensioneringen är ta fram de laster som verkar på bron, där tvärkraft, fält- och stödmoment söks specifikt. I arbetet beaktas egentyngd och trafiklast enligt LM1 (Load Model 1 enligt Eurokod). LM1 består av tre jämnt utbredda fillaster med varsitt axelpar, modellerade som punktlaster, som placeras så ogynnsamt som möjligt. I Sverige sätts således axellasten för det tredje lastfältet till noll. Lasternas magnitud med tillhörande lastkoefficienter presenteras i tabell 8.

Tabell 8. Indata för körfälten vid beräkning av lasteffekter.

Variabel	Lasttyp	Magnitud	Lastkoefficient	Värde
Q ₁	Axellast	300 kN	α_{Q1}	0,9
Q ₂	Axellast	200 kN	α_{Q2}	0,9
Q ₃	Axellast	100 kN	α_{Q3}	0
q ₁	Fillast	9 kN/m ²	α_{q1}	0,8
q ₂	Fillast	2,5 kN/m ²	α_{q2}	1,0
q ₃	Fillast	2,5 kN/m ²	α_{q3}	1,0

Fillasterna och axelparen tillsammans med egentyngheden ger lasteffekten för bron i längs- och tvärled. Lasteffektens storlek beror i sin tur på vilken lastkombination som studeras. Enligt SS-EN 1990 och SS-EN 1991-2 förekommer fyra olika lastkombinationer: brottgränstillstånd, karakteristisk lastkombination, frekvent lastkombination och kvasipermanent lastkombination. Varje lastkombination har tillhörande lastreduktionstal och koefficienter, vilka finns presenterade i tabell 9, som appliceras på de ingående lasterna för att bestämma deras storlek beroende på deras karaktär (permanent eller variabel). Lasteffekten i längsled är beroende av resultatet i tvärled och således studeras tvärled först.

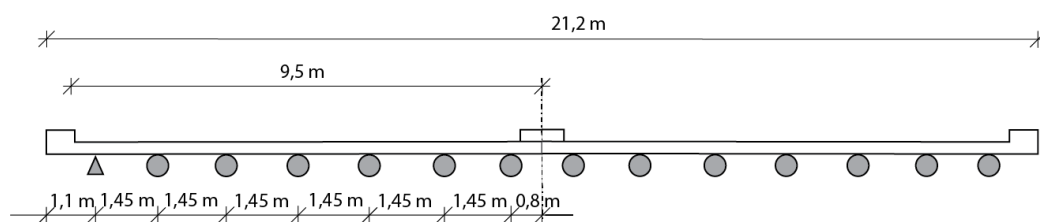
Tabell 9. Koefficienter för lasteffektsberäkningar.

Partialkoefficienter	Värde	Lastreduktionstal	Värde	Lastreduktionstal	Värde
γ_G	1,35	Ψ_{0b}	0,75	Ψ_{0u}	0,4
γ_Q	1,5	Ψ_{1b}	0,75	Ψ_{1u}	0,4
γ_P	1,35	Ψ_{2b}	0	Ψ_{2u}	0,2

7.1 Tvärled

I tvärled modelleras bron som en fritt upplagd kontinuerlig balk som bärs av 14 längsgående balkar som agerar stöd, vilken illustreras i figur 15. Kantbalkarna beaktas som utbredda laster verkande på konsoler på vardera sida av farbanan. Mittremsan är en meter bred och dess

egentyngd antas ha försumbar inverkan beräkningsmässigt och har således inte behandlats i beräkningarna.



Figur 15. Tvärsnittmodell över bron i tvärled. Författarens egna figur.

7.1.1 Fält- och stödmoment

Enligt LM1 får väghalvor separerade med permanent mittremsa behandlas separat. Farbanans bredd är 20 meter med fri körbanebredd i vardera riktning på 9,5 meter. Enligt LM1 rymms därmed tre stycken 3 meter breda fillaster i vardera riktning med återstående vägbanebredd på 0,5 meter.

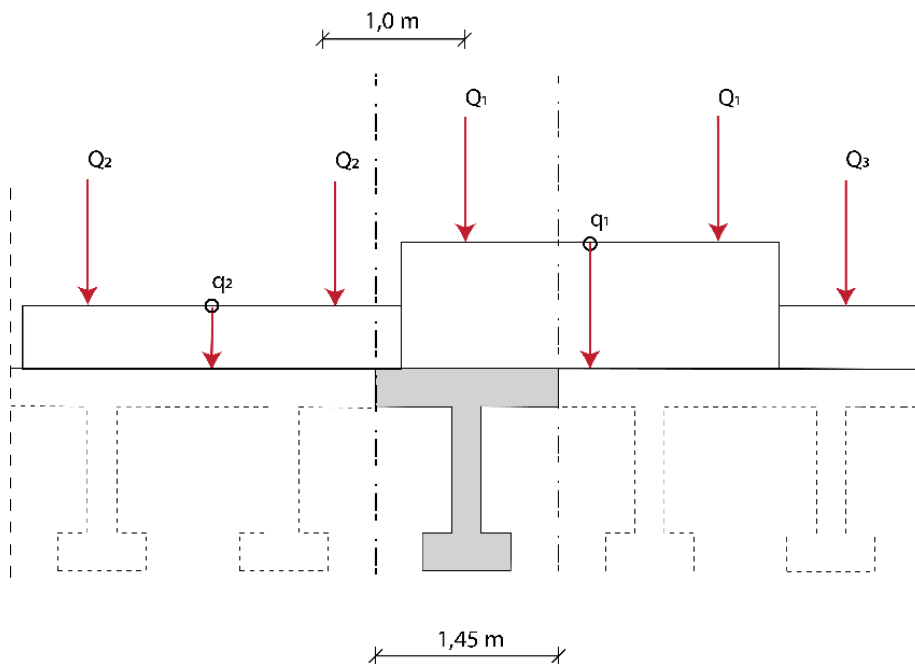
För att bestämma minst gynnsam lastplacering förflyttas fillasterna 1 centimeter åt gången utmed den återstående vägbanebredden. I och med att fillasterna och axellasternas storlek är olika så ändras ordningsföljden av dessa i tvärled så att lasteffekt för varje lastfall kan bestämmas. Den ordningsföljd och förflyttning som ger störst lasteffekt blir således dimensionerande. I tabell 10 presenteras dimensionerande fält- och stödmoment. Stegningen illustreras i bilaga I tillsammans de dimensionerande fallen för fält och stöd. Värdena togs fram med bilaga J.

Tabell 10. Redovisade moment i fält och över stöd för tvärled

Lastkombination	Fältmoment [kNm]	Stödmoment [kNm]
Brottgränstillstånd	107,9	-75,9
Karaktäristisk	71,5	50,6
Frekvent	51,6	-37,6
Kvasipermanent	1,5	-7,2

7.1.2 Tvärkraft och filfaktorer

Maximal tvärkraft uppstår då de största punktlasterna och utbredda lasterna verkar så nära en balk, modellerad som ett stöd, som möjligt. Detta illustreras i figur 16 där en av punktlasterna från körfält 1 verkar rakt på balken och en meter bort verkar en punktlast från lastfält 2. Dimensionerande tvärkraft för respektive lastkombination beräknades i bilaga K och presenteras i tabell 11.



Figur 16. Modell för bestämning av filfaktorer. Författarens egna figur.

Tabell 11. Dimensionerande tvärkraft för respektive lastfall

Lastkombination	Tvärkraft [kN]
Brottgränstillstånd	294
Karaktäristisk	204
Frekvent	134
Kvasipermanent	29

Då flera balkar samverkar för att fördela lasterna beräknas kvoten mellan hur mycket en enskild balk bär och den totala lasten. Detta utförs separat för punktlaster och utbredda laster. Kvoten benämns filfaktor och beräknas vid den lastplacering som ger maximal tvärkraft vilken illustreras i figur 16. Filfaktorn för punktlaster samt utbredda laster för respektive lastkombination beräknades i bilaga K och presenteras i tabell 12.

Tabell 12. Beräknade filfaktorer för de olika lastfallen

Lastkombination	Filfaktor Punktlast	Filfaktor utbredd last
Brottgränstillstånd	0,27	0,06
Karaktäristisk	0,26	0,06
Frekvent	0,32	0,05
Kvasipermanent	0,07	0,04

7.2 Längsled

I längsriktningen modelleras bron som fritt upplagd på två stöd. Trafiklasterna placeras parallellt och verkar därmed i en punkt. För att bestämma lasteffekt på en balk multiplicerades lasterna från bron och balkarnas egentygnd och trafiklasternas punktlaster och utbredda laster med filfaktorerna som beräknades i föregående avsnitt, se tabell 12.

Upplagsförhållandena medför att inget stödmoment uppstår och att framtagningen av maximalt fältmoment och tvärkraft kan beräknas med hjälp av elementarfall, men en laststegning utfördes ändå för att bekräfta resultaten. Detta gjordes genom att trafiklasten stegades från bronns vänstra upplag till dess högra enligt bilaga L och gav maximalt fältmoment då lasten stegats till mitten av bronns spännvidd, 12,5 meter. På samma sätt erhöles maximal tvärkraft då lasten var centrerad på upplagen. Resultaten presenteras i tabell 13.

Tabell 13. Fält- och stödmoment i längsled baserat på filfaktorer

Lastkombination	Fältmoment [kNm]	Tvärkraft [kN]
Brottgränstillstånd	4065	650
Karaktäristisk	3605	576
Frekvent	2957	473
Kvasipermanent	2117	339

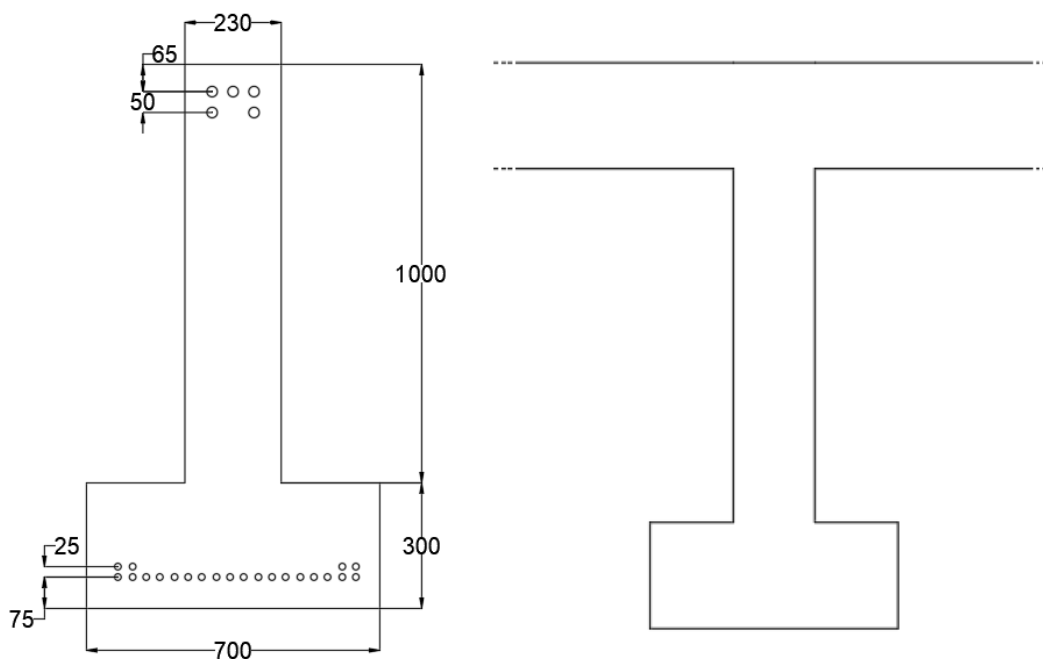
8 Preliminär dimensionering av förspända balkar

Vid preliminärdimensionering av bronshalkar uppskattas tvärsnittets dimensioner och armeringsmängder. Kontroller utförs för att säkerställa att balkarna håller vid avspänning av spännkablar, att tillräcklig momentkapacitet finns för kvasipermanent och karakteristisk lastkombination samt för dimensionerande moment i brottgränstillstånd. För tvärkraftsarmering beräknas ett s-avstånd för snitt med maximal tvärkraft. Tvärsnittet är dimensionerat för att erhålla en så låg vikt som möjligt för att underlätta transport och hantering.

8.1 Uppskattning av erforderligt tvärsnitt

Vid uppskattning av brobalkarnas tvärsnitt, se bilaga P, dimensioneras tvärsnittet som fullt förspänt och inga dragspänningar eller sprickor i underkant accepteras i bruksgränstillstånd. Vid applicering av spännkraften, som har valts till 4000 kN, antas betongen ha nått 70 % av sin slutliga hållfasthet. Beräkning av minsta möjliga mängd spännarmering redovisas i bilaga R. Brobalkarna som har hållfasthetsklassen C60/75 har således en hållfasthetsklass motsvarande C40/50 vid avspänningen av förspänningskablarna. För att hantera spännkraften och de aktuella lasterna på balken tillåts tvärsnittet att spricka upptill, något som behöver kompenseras med slakarmering i ovankant, se bilaga S. Tvärsnittet är utformat för att möjliggöra inspektion och ett avstånd på 0,75 meter erhålls mellan flänsarna.

Det slutliga tvärsnittet har en egenvikt på 27,5 ton och innehåller 22 stycken förspända kablar i underkant som delas in i två lager (18 + 4) och 5 stycken slakarmerade armeringsstänger i ovankant som även de delas in i två lager (3 + 2). Se figur 17 för dimensioner och inläggning av armering. Slakarmeringen är av typ B500B med en diameter på 25 millimeter och förspänningsarmeringen består av kablar med sju vajrar och har en diameter på 15,7 millimeter.



Figur 17. Slutgiltigt tvärsnitt med dimensioner och armering, samt dess utseende tillsammans med platta. Mått angivna i millimeter. Författarens egna figur.

8.2 Tvärsnittets momentkapacitet

För beräkning av kapacitet i brottgränstillstånd har metod med tryckblocksfaktorer använts. De valda armeringsmängderna används för att kontrollera den totala momentkapaciteten. Tryckzonen hamnar inom den övre flänsen och all armering flyter vid brott. Resultat från beräkningarna presenteras i tabell 14 och har utförts i bilaga T.

Tabell 14. Dimensionerande moment och momentkapacitet i brottgränstillstånd längsled.

Dimensionerande moment, M_{Ed} [kNm]	Momentkapacitet, M_{Rd} [kNm]	Nyttjandegrad, η
4065	7916	53%

8.3 Tvärarmering balkar

Vid kontroll av erforderlig tvärkraftsarmering i längsled följs föreskrivna råd och krav utifrån Eurokod. Fallet som studeras i den preliminära dimensioneringen är det snitt där maximal tvärkraft erhålls, vilket även kommer ge det minsta s-avståndet. I resterande snitt, där tvärkraften är lägre, kommer s-avståndet öka och beräknas därför inte i den preliminära dimensioneringen.

Beräkningarna är en iterativ process, vilken utförs i bilaga O, där val av vinkel och tjocklek på armering ska väljas för att ha tillräcklig kapacitet. I tabell 15 presenteras beräknad tvärkraft i maxsnitt, beräknat s-avstånd samt armeringsmängd, ρ , tillsammans med motsvarande krav utifrån tvåskäriga $\Phi 12$ -byglar, en antagen spricklutning på 40° samt bygelplacering på 90° grader mot längsgående balk. Utifrån värdena i tabell 15 erhålls en nyttjandegrad för tvärkraften på 81%.

Tabell 15. Beräknade värden för tvärarmering samt krav.

	Beräknat		Krav
V_{Ed}	650 [kN]	V_{Rds}	804 [kN]
S	200 [mm]	S_{max}	1144 [mm]
ρ	0,004	ρ_{min}	0,001

8.4 Nedböjning längsled

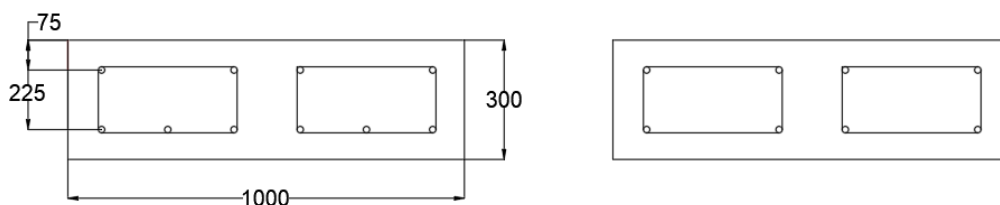
För beräkningar av nedböjning gäller enligt Eurokod kravet $L/400$, där L avser den största fria upplagslängden. Nedböjningen beräknas för det frekventa lastfallet och för att identifiera den position i vilken den maximala nedböjningen uppstår genomfördes en laststegning på samma sätt som i tidigare tvär- och längsledsberäkningar. I längsled uppstod maximal nedböjning på mitten av den fritt upplagda balken där en summerad trafiklast från tre körfält verkar. Nedböjningen, vilken tillfredsställde kravet, och korresponderande förflyttning redovisas i tabell 16 och beräkningarna utförs i bilaga M.

Tabell 16. Nedböjning av balkar i längsled

	Nedböjning [mm]	Krav [mm]	Förflyttning [m]
Längsled	18,2	62,5	12,5

9 Preliminär dimensionering av plattor

Preliminärdimensioneringen av broplattan i tvärled är en iterativ process där plattans höjd redan bestämts vid dimensioneringen av balkarna i längsled. Det är således armeringen av plattan som ska tas fram för att säkerställa att tillräcklig kapacitet erhålls i brott- och bruksgränstillstånd. Slutligt tvärsnitt inklusive armeringsinläggning i fält- och stödsnitt illustreras i figur 18.



Figur 18. Dimensioner för broplatta samt armeringsinläggning. Till vänster fältsnitt och till höger stödsnitt. Mått angivna i millimeter. Författarens egna figur.

I bilaga U påbörjas dimensioneringen i brottgränstillstånd med en uppskattning av erforderliga dragarmeringsmängder i fält- och stödsnitt. Tryckarmering krävs för att fixera tvärkraftsarmering. I fält väljs 6 stycken $\Phi 16$ -stänger för dragarmering och 4 stycken $\Phi 16$ -stänger för tryckarmering. I stöd väljs 4 stycken $\Phi 16$ -stänger för dragarmering och 4 stycken $\Phi 16$ -stänger för tryckarmering. I bilaga V kontrolleras momentkapacitet i fält och stöd i brottgränstillstånd och resultaten redovisas i tabell 17.

Tabell 17. Dimensionerande moment och momentkapacitet i brottgränstillstånd i fält och stöd.

Tvärsnitt	Dimensionerande moment, M_{Ed} [kNm]	Momentkapacitet M_{Rd} [kNm]	Nyttjandegrad, η
Fält	108	239	45%
Stöd	69	203	34%

Vid kontroll av tvärkraftskapacitet i brottgränstillstånd i bilaga W konstateras att tvärkraftsarmering krävs. Två stycken tvärskärliga $\Phi 12$ byglar med 150 millimeters centrumavstånd väljs. Resulterande kapacitet och nyttjandegrad redovisas i tabell 18. Ingen reduktion av tvärkraften utförs vilket innebär en överdimensionering och reducerad nyttjandegrad. Tvärkraftskapaciteten har enbart studerats i stödtvärsnittet där tvärkraften är maximal. I resterande delar av plattan är tvärkraften lägre och s-avståndet ökas.

Tabell 18. Dimensionerande tvärkraft och tvärkraftskapacitet i brottgränstillstånd i fält och stöd.

Tvärsnitt	Dimensionerande tvärkraft, V_{Ed} [kN]	Tvärfkraftskapacitet, V_{Rd} [kN]	Nyttjandegrad, η
Stöd	297	316	94%

I bilaga X kontrolleras sprickbredd i stöd och fält i bruksgränstillstånd. I stöd är plattan osprucken medan i fält uppstår 0,04 millimeter breda sprickor, vilket tillfredsställer kravet på maximalt 0,3 millimeter för överbyggnaden enligt tabell 3 (Exponerings- och säkerhetsklasser).

9.1 Nedböjning tvärled

I tvärled verkar tre lastfält i en specifik ordningsföljd beroende på vilket som är minst gynnsamt och maximal nedböjning uppstår vid balkänden då de tre lastfälten ligger mot kantbalken. Nedböjningen, vilken tillfredsställde kravet, och korresponderande förflyttning redovisas i tabell 19 och beräkningarna utförs i bilaga N.

Tabell 19. Nedböjning av platta i tvärled

	Nedböjning [mm]	Krav [mm]	Förflyttning [m]
Tvärled	0,2	3,6	0,0

10 Diskussion

Målet med arbetet har varit att utföra en förstudie för att komma fram till ett verklighetsförankrat brokoncept och sedan göra en preliminär dimensionering på detta, vilket liknar en möjlig framtida arbetsuppgift. Det är en öppen uppgift där det finns mycket att ta hänsyn till och antaganden har gjorts som har påverkat valet av brokoncept och därmed beräkningarna. Diskussionen kommer behandla tillvägagångssätt vid framtagning av brokoncept, implementering av prefabricerade broar i Sverige samt hur avgränsningar och beräkningsmodeller påverkat den preliminära dimensioneringen.

10.1 Urvalsprocessen

Valet av brokoncept utgick från en urvalsprocess där tre koncept poängsätts utifrån olika kriterier som har viktats mot varandra. Stor vikt lades på att göra minimal påverkan på närliggande miljö och Vesankanalen och således hade kriteriet som berörde miljöpåverkan störst viktfaktor tillsammans med beständighet. De slutgiltiga poängen för varje koncept var nästintill lika och om något annat än miljöpåverkan ansetts viktigast hade förmodligen ett annat koncept valts. Kriteriet innovation är i verkligheten sällan ett avgörande kriterium men är i denna urvalsprocess en medverkande faktor till varför balkbron vann.

Produktionskostnad var även ett av utvärderingskriterierna. En avgränsning av den ekonomiska aspekten görs i början till att inte göra några djupgående kostnadskalkyler vilket innebär att kostnadsbedömningen blir mer överskådlig. Poängsättningen sker med en grov uppfattning om vad inbördes delar och byggnadsprocesser kostar och nu i efterhand skulle valt koncept värderats mer kostsamt än vad som antogs vid poängsättningen. Exempelvis krävdes mer armering än förväntat då det vid uppspänningen av balkarna krävdes slakarmering för att kontrollera sprickbildning i överkant. Ytterligare kostnad uppstår på grund av den höga betongkvaliteten som används för att minska balkarnas vikt och därmed förenkla transport. För de prefabricerade balkarna kommer även specialtransport krävas, en kostnad som är svår att uppskatta och veta hur den förhåller sig jämfört med andra kostnader som finns vid andra produktionsmetoder.

10.2 Prefabricerade broar i Sverige

Att använda sig av prefabricerade betongelement till broar är långt ifrån etablerat i Sverige men inom husbyggnad är det desto vanligare. Problemen detta medför underskattades vid urvalsprocessen. Underentreprenörer och liknande är inte vana vid att arbeta med, transportera eller montera prefabricerade betongbalkar vilket i sin tur kan utgöra risker för inblandade parter i form av olyckor och skador. Det är även troligt att Trafikverket hade motsatt sig idén med prefabricerade betongbalkar med tanke på att det ännu inte är etablerat.

Innan prefabricerade betongbalkbroar är etablerat i Sverige är det en bra idé att utföra den här produktionslösningen vid mindre broar där dimensionerna och lasterna är mindre. Detta skulle reducera riskerna och öka kunskapen innan metoden används vid större projekt som i detta fall är en motorvägsbro. Under dimensioneringen av de prefabricerade balkarna framkom även att egenvikten blev väldigt hög vilket skulle kunnat bli ett problem vid transport. Om problemet varit känt under urvalsprocessen hade det kunnat påverka valet av brokoncept och det borde därför ha utretts noggrannare innan poängsättningen utfördes.

Etablering av prefabricerade broar kan även vara en följd av ett generationsskifte. Samhället blir allt mer otåligt och tidskrav på produktion blir allt strängare, samtidigt som den fortsatta urbaniseringen komplicerar produktion och reparation. Trots den hittills begränsade

erfarenheten, har idén med prefabricerade broar varit ett lockande koncept eftersom det minimerar störningar på samhället i form av kort byggtid och kräver liten produktionsyta.

En industrialiserad tillverkning av broar skulle även möjliggöra en standardisering av brokonstruktionen vilket sparar tid och resurser. Ytterligare tillverkas elementen i kontrollerade miljöer där kvaliteten av slutprodukten blir mer förutsägbar. En följd av detta är att säkerhetsmarginaler kan minskas och risken för överdimensionering minimeras vilket leder till en sundare materialanvändning och därmed en lägre miljöpåverkan. Förutsägbarheten gör det också enklare att möta potentiella högre krav i framtiden på exempelvis teknisk livslängd.

10.3 Preliminär dimensionering

Beräkningarna för den preliminära dimensioneringen har utförts med hjälp av programmeringsverktyget MATLAB med ett tillägg för finita elementmetoden, CALFEM, vilka båda har använts kontinuerligt under utbildningen. Då kunskap saknas för att modellera bron tredimensionellt har beräkningarna enbart utförts utifrån ett tvådimensionellt perspektiv. Om vi hade varit kunniga inom exempelvis programmet Tekla kunde bron modelleras tredimensionellt. Detta skulle bland annat medföra att nedböjning kunnat visualiseras på ett tydligt sätt och en mer överskådlig blick av konstruktionens strukturella beteende kunnat ges. Med ett mer överskådligt visualiseringsverktyg är det även lättare att hitta fel och få en helhetsbild av dimensioneringen.

De beräkningar som har utförts bör stå till godo för en fullständig preliminär dimensionering. Brokonceptets dimensioner är rimliga och uppfyller, enligt utförda kontroller, funktionen och kraven som ställs av beställare. Fortsatt dimensionering bör inkludera dimensionering av stöd, vingmur och detaljer. Horisontella laster behöver också kontrolleras.

Rimligheten av resultatet från preliminär dimensioneringen bedöms vara god eftersom att kontrollerna utförts enligt normen. Vidare har mötena med Joosef Leppänen, universitetslektor på avdelning för konstruktionsteknik vid Chalmers, givit gruppen bekräftelse om en någorlunda verklighetsförankring.

I ett framtida scenario där trafiklasten är större än det bron är dimensionerad för bör bron, till en viss gräns, ha tillräcklig kapacitet då nyttjandegraderna vad gäller tvärkraft, fält- och stödmoment, vilka presenterades i kapitel 8 och 9, är relativt låga. Detta beror delvis på att en hög betongkvalité använts med hänsyn till transport.

10.4 Samhälleliga aspekter

Ombyggnationen av E22 gynnar Sverige då ett effektivare vägnät innebär att restider kortas, säkerheten ökar samt att bränsleförbrukningen minskar. I de berörda samhällena kan däremot förbifarterna ge en negativ effekt på näringslivet då restauranger och bensinstationer är till olika hög grad beroende av genomfartstrafiken. Däremot är den förbättrade ljudmiljön och den minskade mängden tung trafik en möjlighet för samhällena att främja turistnäringen till de natursköna kustområdena kring Pukaviksbukten.

Brobyggande är ett av mänsklighetens främsta åstadkommande vilket har resulterat i landmärken som i vissa fall blir en viktig del av städens identiteter, exempelvis Golden Gate Bridge i San Francisco eller Brooklyn Bridge i New York. Denna storslagenhet är dock enbart en följd av broarnas huvudsakliga funktion; att möjliggöra färd över hinder. Sedan urminnes tider har människan utnyttjat broar för att färdas till nya platser och skapat nya kopplingar mellan samhällen.

11 Slutsats

Utifrån urvalsprocessen utfördes en preliminär dimensionering på en förspänd prefabricerad betongbalkbro med en spännvidd på 25 meter. Bron består av en farbana i betong som bärs av 14 betongbalkar som är upplagda på skivstöd och med vingmurar i ändarna. Inspektion av bron är möjlig då avståndet mellan balkarnas undre flänsar är tillräckligt brett. Den preliminära dimensioneringen är utförd enligt Eurokoder och standarder för att bron ska uppfylla en teknisk livslängd på 80 år. De utförda beräkningarna visar att konstruktionen är funktionell vid rimliga dimensioner, men eftersom det är en preliminär dimensionering kan dimensioner ändras baserat på fortsatta beräkningar som krävs innan bron kan tillverkas.

Bron hjälper till med att uppfylla syftet att göra Europaväg 22 till en säkrare väg med ökad framkomlighet, vilket var trafikverkets mål. Något som bör diskuteras med beställaren är valet av att göra en prefabricerad bro, vilket inte är fullt etablerat i Sverige. I det här arbetet var kriteriet innovation en viktig del i valet av brokoncept medan miljöpåverkan och beständighet var de viktigaste. I verkligheten utförs noggrannare ekonomiska kalkyler vilka väger tungt i beslutsprocessen då man har en budget att förhålla sig till.

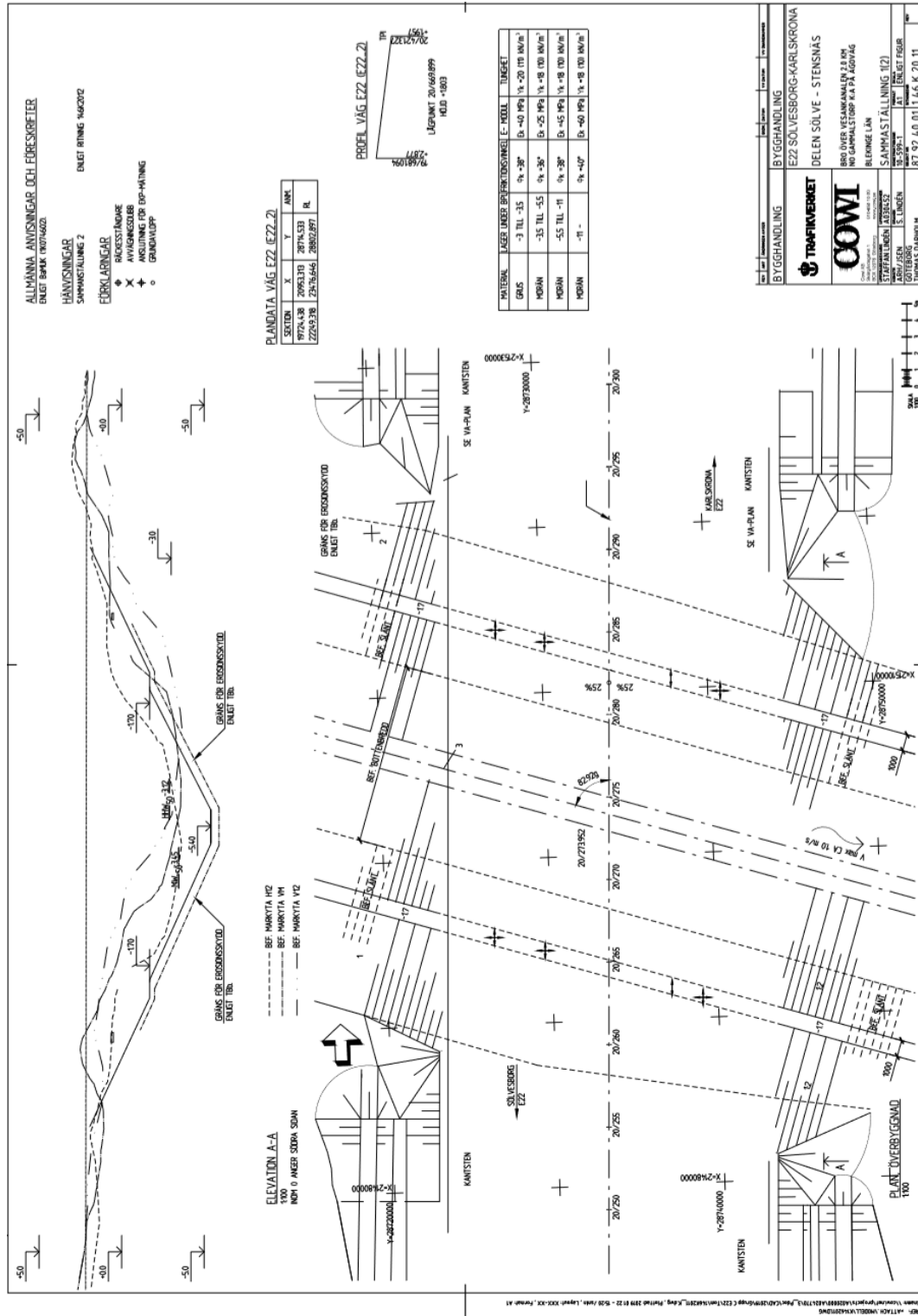
I ett tidigt skede av den preliminär dimensioneringen framgick att balkarnas egenvikt var begränsande för valet av antal balkar. Problematiken var att ju färre balkar bron hade, desto större tvärsnitt erfordrades för att bära lasterna. För att uppfylla kravet av maximal vikt på 30 ton vid transport utfördes flera iterationer där bron modellerades med olika antal balkar där man till slut erhöll ett tvärsnitt som vid full längd, 25 meter, vägde 27,5 ton. Noterbart är att balkarna transporteras utan övre fläns, det vill säga som inverterade T-tvärsnitt.

12 Referenser

- Abetong. (u. å.). *Prefabricerade broar och tunnlar*. Hämtad från https://www.abetong.se/sv/prefabricerade_broar_tunnlar
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2013). *Bärande konstruktioner: Del 1*. Institutionen för bygg- och miljöteknik, Avdelning för konstruktionsteknik, Göteborg.
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P. (2011). *Bärande konstruktioner: Del 2*. Institutionen för bygg- och miljöteknik, Avdelning för konstruktionsteknik, Göteborg.
- Bai, J. (2013). *Advanced fiber-reinforced polymer (FRP) for structural applications*. Hämtad från <https://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/reader.action?docID=1584561>
- Bergdahl, U., Ottosson, E., Stigson Malmberg, B. (1993). *Plattgrundläggning*. Hämtad från <http://www.swedgeo.se/>
- Burström, P.G. (2007). *Byggnadsmaterial*. Lund: Studentlitteratur.
- Engström, B. (2011). *Design and Analysis of Prestressed Concrete Structures*. Department of Civil and Environmental Engineering, Structural engineering, Göteborg, Sweden.
- Feller, P (2013). *McKee Street Bridge* [Elektronisk bild]. Hämtad från [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roller_Bearing_Jensen_Drive_\(Hill_Street\)_Bridge_over_Buffalo_Bayou,_Houston,_Texas_1310261116_\(10577360794\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roller_Bearing_Jensen_Drive_(Hill_Street)_Bridge_over_Buffalo_Bayou,_Houston,_Texas_1310261116_(10577360794).jpg)
- Hirt, M. & Lebet, J.P. (2013). *Steel Bridges*. Hämtad från <https://doi.org/10.1201/b15429>
- Jernkontoret. (2018). *Stålindustrin överlämnar klimatfärdplan till regeringen*. Hämtad från <https://www.jernkontoret.se/sv/publicerat/nytt-fran-jernkontoret/pressmeddelanden/2018/stalindustrin-overlamnar-klimatfardplan-till-regeringen/>
- Lundmark, M. (2013). *Energieffektivisering i investeringsprocessen, verksamhetsområde Investering* (Handlingsplan 130911, 2013:139). Trafikverket. Hämtad från https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11424/RelatedFiles/2013_139_energieffektivisering_i_investeringsprocessen.pdf
- Olsson, C., Holm, G. (1993). *Pålgrundläggning*. Hämtad från <http://www.swedgeo.se/>
- Ritter, M. (1990). *Timber Bridges - Design, Construction, Inspection, and Maintenance*. United States of America Department of Agriculture.
- SMHI. (2018). *Data*. Hämtad från <https://www.smhi.se/klimatdata>
- Strängbetong. (u.å.). *Broar*. Hämtad från https://www.strangbetong.se/byggsystem/broar/?gclid=EA1aIQobChMIj7vP0Jjt4AIVzbTtCh3x-A9pEAAAYASAAEgI27_D_BwE
- Svensk betong. (2017). *Betong och klimat: En rapport om arbetet för klimatneutral betong*. Hämtad från http://thomasbetong.se/images/docs/Environment/Rapport%20Betong_och_klimat_Thomas%20Betong.pdf
- Svensk Betong. (u.å.). *Koldioxidutsläpp*. Hämtad från <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/miljo-och-hallbarhet/koldioxidutslapp>
- Swedish Standards Institute. (2003a). SS-EN 1991-2. Laster på bärverk- del 2: Trafiklast på broar. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se/>
- Swedish Standards Institute. (2003b). SS-EN 1991-1-5. Laster på bärande konstruktioner – Del 1-5: Allmänna laster – Temperaturpåverkan. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se/>

- Swedish Standards Institute. (2005a). SS-EN 1992-1-1. Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se/>
- Swedish Standards Institute. (2005b). SS-EN 1990. Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se/>
- Sölvesborgs kommun. (2018). *Samhällsutveckling och hållbarhet*. Hämtad från <http://solvesborg.se/bygga-bo-och-miljo/samhallsutveckling-och-hallbarhet.html>
- Trafikverket. (2011a). *E22 Sölve-Stensnäs*. Hämtad från https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10302/RelatedFiles/100481_E22_Solve_Stensnas_klart_i_slutet_av_2014.pdf
- Trafikverket. (2011b). *TK Geo 11*.
- Trafikverket. (2011c). TRVFS 2011:12.
- Trafikverket. (2014a). *Krav på inspektion av byggnadsverk* (Ärendenummer: TRV 2004:95667). Hämtad från <https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/Biblioteket/Dokument/Krav%20Insp%20Byggnadsverk%20inkl%20Beslut.pdf>
- Trafikverket. (2014b). BaTMan - *Kodförteckning och beskrivning av Brotyper*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2015). *Krav för vägars och gators utformning*. (Publikationer, 2015:086) Hämtad från https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/12046/RelatedFiles/2015_086_krav_for_vagars_och_gators_utformning.pdf
- Trafikverket. (2016). *Underhåll av väg och järnväg*. Hämtad från <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/>
- Trafikverket. (2018a). TDOK 2016:0203
- Trafikverket. (2018b). *Krav brobyggande TDOK 2016:0204*.
- Trafikverket. (2018c). *Broprojekteringshandbok* (förstahandsutgåva).
- TräGuiden. (2015). *Träprodukter lagrar kol*. Hämtad från <https://www.traguiden.se/om-tra/miljo/miljoeffekter/miljoeffekter/traprodukter-lagrar-kol/?previousState=1>
- TräGuiden. (2019). *Träskyddsklasser*. Hämtad från <https://www.traguiden.se/underhall/drift-och-underhall/altaner-balkonger-och-yttertrappor/altaner-balkonger-och-yttertrappor/traskyddsklasser/>
- Vägverket. (1994). *Allmän teknisk beskrivning för broar*. Hämtad från https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11034/RelatedFiles/1994_7_bro_94_del_7_brounderhall.pdf
- Wade. M (2009). *Expansion joint in a steel plate girder bridge* [Elektronisk bild]. Hämtad från <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BridgeExpansionJoint.jpg>.

Bilaga A – Planbeskrivning



Bilaga B – Teknisk Beskrivning – Bro



Teknisk Beskrivning Bro, TBb

UTFÖRANDEENTREPRENAD MED AV ENTREPRENÖREN UPPRÄTTAD
ARBETSRTNINGAR OCH BESKRIVNINGAR

För utförande av broar i väganläggning
Väg E22, Sölvesborg-Karlskrona

Objektnummer: 87 92 40 01

Datum: 2011-03-25

Rev: 2011-08-22

C.1/ Geotekniska förhållanden/ Bro 10-599-1

Utförda undersökningar

Resultaten av utförda undersökningar redovisas i Rapport - Geoteknisk undersökning (Rgeo) daterad 2010-03-01.

Terräng

Terrängen utgörs söder om Vesankanalen av blockig skogsmark med nivåer mellan ca +0,5 och +2,0.

Norr om Vesankanalen utgörs terrängen av blockig, snårskogsbevuxen mark med nivåer mellan ca +1,0 och +2,0.

Både söder och norr om Vesankanalen finns 1 à 2 m höga jordvallar som utgörs av uppschaktat material från tidigare kanalschakt och kanalrensningar.

Teknisk Beskrivning, TBb

Jordlagerföljd

Jorden består överst av 1-3 m fyllning och organiska jord och därunder huvudsakligen av morän. Lokalt förekommer mellan den organiska jorden och moränen högst ca 1 m sand. Hejarsonden trängde ner till eller avbröts vid stort sonderingsmotstånd på 10 à 12 m djup under markytan.

Moränen - ovan grundläggningsnivån - utgörs av en relativt grovkornig morän (t.ex. grusig, sandig morän). Under grundläggningsnivån utgörs moränen av en finkornig morän, t.ex. siltig, lerig morän. Moränens fasthet varierar, men är i allmänhet överst medelhög och mot djupet hög och mycket hög.

Geohydrologiska förhållande

Rent allmänt kan sägas att grundvattennivåerna inom området ligger på nivåer mellan ca ±0 och ca +1,0, men intill Vesankanalen (som regleras genom pumpning) avviker grundvattennivån från ovanstående. Vattennivån i Vesankanalen varierar sannolikt mellan nivån ca -4,0 och -2,9. Närmast Vesankanalen påverkas med största säkerhet grundvattennivån i jorden av vattenståndet i kanalen. I ett grundvattenrör som installerats vid det södra stödet låg grundvattennivån i april 2009 på nivåer mellan ca -2,8 och -3,1. Ett grundvattenrör installerat i km 20/300, d.v.s. ca 10 m norr om det norra stödet, har grundvattennivån varierat mellan nivån ca -1,5 och -1,9 vid avläsningar dels under 1999 dels under 2009.

Teknisk Beskrivning, TBb

DC. Vägbro/ Bro 10-599-1,10-602-1,10-609-1,10-637-1 och 10-638-1

Landfästen får inte förläggas längre ut mot vattendraget än vad som anges på förslagsritningarna.

Avvikelse från på förslagsritning angivet läge för profillinjen över bron får inte förutsättas.

Bron ska vid ett utförande enligt beställarens förslag utföras enligt respektive förslagsritning.

Brons underkant får inte förläggas lägre än vad som anges på förslagsritning.

DC2. Grundläggning i vägbro /Bro 10-599-1

Dimensionering

Vid grundläggning av brons bottenplattor kan följande karaktäristiska dimensioneringsparametrar användas:

Stöd 1

Nivåintervall	Jordart	Hållfasthetsparameter φ (°)/ C_u (kPa)	Sättningsmodul E (MPa)	Tunghet γ (kN/m ³)	Tunghet under GVY γ' (kN/m ³)
-3 – -3,5	Grus	38	40	20	11
-3,5 – -5,5	Morän	36	25	18	10
-5,5 – -11	Morän	38	45	18	10
-11 –	Morän	40	60	18	10

Stöd 2

Nivåintervall	Jordart	Hållfasthetsparameter φ (°)/ C_u (kPa)	Sättningsmodul E (MPa)	Tunghet γ (kN/m ³)	Tunghet under GVY γ' (kN/m ³)
-3 – -3,5	Grus	38	40	20	11
-3,5 – -7	Morän	36	25	18	10
-7 –	Morän	40	60	18	10

Erosionsskydd/släntribeklädnad

Erosionsskyddet skall utföras med 500mm samkross 0-90 mm med $d_{50} > 50$ mm.

Utförande

Brons bottenplattor grundläggs enligt förslagsritningen på en 0,5 m tjock grusbädd. Badden utförs enligt AMA 07 CEB.414

Fyllning mot bro utförs enl.CEB.52 AMA-07

Schakt

Allt schaktarbete skall utföras i torrhet enligt CBB.51 i VV AMA 09. Moränen är känslig för vattenöverskott. Det är därför viktigt att schaktbotten skyddas mot vatten och tjälning.

Grundläggningsarbetet för bron bör utföras vid lågt vattenstånd i Vesankanalen.

Grundvattensänkning

Grundvattensänkningen kan utföras i djupt nedförda filterförsedda pumpgroppar. Tillrinningen bedöms till ca 4l/sek. Pumpgropparna skall placeras så att inte schaktbotten blir störd.

Kontroll

Geoteknisk kontroll skall utföras enligt av entreprenören upprättad kontrollplan. För samtliga kontroller skall entreprenören ha en sakkunnig geotekniker, som svarar för handläggning, geotekniska undersökningar, värderingar och kontroller under hela utförandeskedet. Entreprenörens geotekniker skall vara godkända av beställaren.

Schakt

Kontroll för schakt under brons bottenplattor skall ske med avseende på avvikelser från förväntade förhållanden, såsom jordlagerföljd, egenskaper m.m. i jämförelse med denna handling och Rgeo.

Grundvattensänkning

Entreprenören skall tillse att erforderlig grundvattensänkning uppnått i moränen innan några schaktarbeten påbörjas. Detta skall kontrolleras genom 2 st grundvattenrör samt avläsning av dessa för varje plattgrundlagd platta. Rören skall vara minst 1" i diameter och av stål, försedda med spets typ Geotech eller likvärdig samt vara försedda med lock. Mätresultaten skall rapporteras skriftligen till beställaren senast 1 månad innan schaktarbetena för brons broplattor påbörjas.

Om det misstänks att större mängder jordmaterial transporteras bort i installerade pumpgroppar skall pumpningen avbrytas omedelbart och sakkunnig geotekniker skall tillkallas.

Sättningsmätningar

Sättningsuppföljning skall utföras för vart plattgrundlagt brostöd. Mät-dubbar i form av armeringsjärn trycks ned minst 0,5 m under schaktbotten innanför gjutformen och kapas strax vanför bottenplattornas överyta. Minst 1dubb/brostöd installeras med mätningar före gjutning av bottenplatta och skaft, efter gjutning av bottenplatta och skaft, efter gjutning av brobana samt efter återfyllning mot brostöd. Mätresultaten överförs slutligen till dubbar i brobanan för framtida mätningar. Mätningarna skall utföras i mätclass 1 och redovisas, som ett tidsdiagram senast en vecka efter mätning


Sättningsuppföljning skall utföras för vart plattgrundlagt brostöd. Mät-dubbar i form av armeringsjärn trycks ned minst 0,5 m under schaktbotten innanför gjutformen och kapas strax vanför bottenplattornas överyta. Minst 1dubb/brostöd installeras med mätningar före gjutning av bottenplatta och skaft, efter gjutning av bottenplatta och skaft, efter gjutning av brobana samt efter återfyllning mot brostöd. Mätresultaten överförs slutligen till dubbar i brobanan för framtida mätningar. Mätningarna skall utföras i mätclass 1 och redovisas, som ett tidsdiagram senast en vecka efter mätning

Packningskontroll

Fyllning mot bro som utförs enligt CEB.51 i AMA-07 skall kontrolleras med lätt dynamisk fallvikt. Kontrollen skall utföras efter 1 m fyllning och packning därefter på varannan meter upp till terrasnivå.

E_{vd} skall vara minst 60 MPa i alla undersökta punkter. Kontrollen skall utföras för minst 3 punkter per kontrollerat lager.

Bilaga C – Teknisk Beskrivning – Väg

	Dokument		Sidnr 8(165)
	Projektname E22 Sölvesborg - Karlskrona Delen Sölve - Stensnäs		Händläggare Jörgen Liljegren
Status			Objekt nr 02 40 01
			Datum 2011-03-25
		Rev.dat	Rev
		2011-07-01	
Kod	Text		
	<p>E22 kommer i sträckans början ungefär fram till km 22/500 att gå i östra kanten av den s.k. Vesan. Vesan är ett låglänt f.d. sjöområde som genom invallning och utpumpning nu utgör bördig åkermark. Invallningen färdigställdes i slutet av 1920-talet. Markytan ligger (inom detta område) i allmänhet på nivåer mellan ca ±0 och +3,0. Vissa "fastmarksöar" förekommer där markytan ligger högre. Vägen kommer att gå på låg bank (högst ca 3 m).</p> <p>Mellan km 22/500 och ca km 24/950 kommer vägen att gå på omväxlande åker- och skogsmark. Markytan ligger i allmänhet på nivåer mellan ca +2 och +5. Lokalt vid km ca 24/550 finns ett höjdparti med nivån ca +8,0. Vägen kommer att gå på högst ca 4 m bank och i högst ca 3,5 m djup skärning (vid km 24/550).</p> <p>Från km 24/900 och österut kommer vägen huvudsakligen att gå i kuperad skogsmark även om lokala partier med åker-/ängsmark förekommer. Bankhöjden kommer här att vara högst ca 7 m och skärningar högst ca 9 m djupa.</p> <p>I det följande beskrivs terrängen mycket översiktligt. Närmare uppgifter om nivåer, lutningar etc. framgår av ritningar i R:geo. I bilaga nr. 2 till R:geo finns inventering av ytblock. Berg i dagen finns markerat på planritningar. (100G0201-13)</p>		
BBB.12	Jordmåns och vegetationsförhållanden		
	E22		
	<u>Km 14/400 - km 17/700</u>		
	Huvudsakligen låglänt åkermark.		
	Mellan km 16/600 och km 17/100 samt mellan km 17/300 och km 17/400 ligger marken (delvis uppfylld gårdsmark) under östra vägdelen högre med tämligen brant lutning ner mot väster.		
	Mellan ca km 16/700 och km 17/050 finns ett 1 à 2 m djupt, grävt dike ungefär mitt i vägen.		
	<u>Km 17/700 - km 17/790</u>		
	Lövskog.		
	<u>Km 17/790 - km 17/980</u>		
	Åkermark.		
	<u>Km 17/980 - km 18/020</u>		
	Lövskog.		
	<u>Km 18/020 - km 18/100</u>		
	Åkermark.		

Bilaga D – Material

Trä

Träets fiberstruktur består av rör sammanbundna med lignin vilket ger upphov till anisotropa hållfasthetsegenskaper (Al-Emrani, Engström, Johansson och Johansson, 2013, s. T12). Hållfastheten parallellt fiberriktningen är avsevärt större än rätvinkligt fiberriktningen. Beroende på träslag har trä en elasticitetsmodul i storleksordningen 4700 - 11900 MPa.

Fukt är något som måste beaktas vid all användning av trä i utomhusmiljöer då det har en stor påverkan på träets egenskaper, exempelvis har torrt trä högre hållfasthet än blött (Al-Emrani et al, 2013, s. T33). Trä är en del av kolets kretslopp och under vissa fukt- och temperaturförhållanden kan nedbrytande angrepp av bakterier och svampar ske (Burström, 2007, s. 387).

Tack vare fotosyntesen lagrar träprodukter koldioxid under sin livslängd, uppemot 1,8 ton koldioxid per ton träprodukt (Träguiden, 2015). Denna egenskap är ett incitament att använda trä i konstruktioner med långa livslängder, exempelvis broar.

Stål

Stål är ett isotropt material med segt verknings sätt. Materialet är elastiskt med små deformationer upp till dess flytgräns efter vilken stora deformationer uppstår utan ökad belastning (Al-Emrani et al, 2013, s. S13-22). Elasticitetsmodulen för konstruktionsstål är ungefär 210 GPa.

En annan viktig aspekt att beakta är materialets beständighet och det viktigaste beständighetsproblemet hos stål är korrosion. Det är ett elektrokemiskt angrepp som uppstår då syre kan samverka fritt med en vätska, vanligtvis vatten, på stålets yta. Det förekommer inte någon korrosion av stål under 60 % relativ fuktighet, förutsatt att ytan hålls ren. Föreningar i olika former kan binda fukt och bidra till att korrosion uppstår, även om den relativa fuktigheten understiger 60 %. Ytterligare en konsekvens av föreningar är att de kan påskynda korrosionsprocessen, ofta är det i dessa fall svaveldioxid och klorider man talar om (Burström, 2007, s. 320).

Stålets låga emissioner gör att den största delen av utsläpp sker under brytningen, tillverkningen och transport av materialet. Stålintustrin i Sverige står idag för cirka 11% av landets koldioxidutsläpp (Jernkontoret, 2018).

Betong

Mekaniskt sett har betong en tryckhållfasthet som är cirka 10 gånger högre än draghållfastheten (Al-Emrani et al, 2013, s. B1). Betongen armeras därför med material med bättre dragegenskaper, vanligen stål. Elasticitetsmodulen varierar mellan 27 till 44 GPa för olika betongklasser.

Betong utsätts i Sverige främst av beständighetsproblem i form av frostangrepp, armeringskorrosion och kemiska angrepp (Burström, 2007, s. 247). Frostangrepp innebär att vatten som trängt in i betongens porer fryser. Volymökningen ger upphov till stora spänningar som genom sprängverkan skadar betongen. Armeringskorrosion reducerar armeringsarea samt skapar inre spänningar då den korroderade armeringen upptar större volym. Detta sker genom antingen karbonatisering, koldioxid som tränger in i betongen och sänker pH-nivån, eller kloridinträngning, kloridhaltiga miljöer som ger upphov till för höga kloridkoncentrationer. Kemiska angrepp sker på två sätt, upplösning av betongen eller reaktioner med den. Syror kan

bryta ner den basiska cementpastan. Vatten som strömmar genom betongen kan laka ur den då vilket sänker hållfastheten.

Vid framtagning av betongens delmaterial är cementen det material som bidrar mest till negativ klimatpåverkan då det står för mer än 90% av utsläppen av koldioxid (Svensk betong, 2017). Under betongens livslängd återgår en del, cirka 15-20%, av koldioxiden genom karbonatisering. Cementtillverkning står idag för 3-4% av världens koldioxidutsläpp (Svensk Betong, u. å).

Kompositmaterial

Mohammad Al-Emrani förklarade att materialen utvecklades redan för 30 år sedan men har fortfarande inte riktigt slagit igenom (personlig kommunikation, 5 februari 2019). En typ av kompositmaterial är de så kallade FRP-kompositerna vilka under senare år blivit ett mycket aktuellt material för byggbranschen. Detta tack vare dess fördelaktiga egenskaper i form av hög hållfasthet och styvhet i förhållande till dess vikt. Ett av de största områdena inom vilket materialet används är förstärkning och underhåll av befintliga konstruktioner (Bai, J., 2013).

Bilaga E – Bärverk och Brotyper

Balkverkan

Balkverkan innebär att last verkar vinkelrätt mot balkens längdriktning och ger upphov till böjning av balkelementet. Balken kan utföras som fritt upplagd, kontinuerlig eller en del av en ramkonstruktion (Trafikverket, 2018c). Trafikverket delar in balkbroar i fem kategorier; balkbro, plattbro, rambro, fackverksbro samt samverkansbro utifrån konstruktionens utformning.

Balkbro

Huvudbärverket i en balkbro är bärande balkar där vanliga konstruktionsmaterial är betong, stål och trä (Trafikverket, 2014b). Balkbron är en vanlig bro vid längre spännvidder med ett eller flera spann där mellanstöden och ändstöden kan utformas som skivor eller pelare. En balkbro definieras av att huvudbärverket utgörs av en eller flera balkar där bredden är mindre eller lika med fem gånger höjden samt att den längsgående armeringen i överkant ska vara samlad till balkens bredd.

Höga balkar är fördelaktiga och antalet huvudbalkar bör minimeras med hänsyn till framtida reparationer och underhåll (Trafikverket, 2018c). En betongbalkbro kan ha spännvidder från 25 till 200 meter beroende på om betongen är slak- eller spännarmerad (Trafikverket, 2014b). Eftersom armeringen nyttjas mer effektivt vid en förspänd betongbro kan mängden betong minskas och konstruktionen blir således mer slank.

Plattbro

Skillnaden mellan en plattbro och en balkbro är huvudbärverkets utformning. Plattbrons huvudbärverk utgörs av ett element där bredden är fem gånger större än höjden samt att den längsgående armeringen i överkant av plattan i de flesta fallen är jämnt fördelad i tvärled (Trafikverket, 2014b). Plattan kan även vara kontinuerlig och upplagd på både ändstöd och mittstöd i flera spann med obruten armering i över- och underkant över mittstöd.

Plattbroar i ett spann kan ha spännvidder från 20 till 25 meter för slakarmerad betong och upp till 35 meter med spännarmerad betong (Trafikverket, 2018c). Fördelarna med en plattrambro är att konstruktionshöjden kan hållas låg, däremot är det inte ekonomiskt fördelaktigt att bygga balkbroar vid spännvidder större än 16 meter.

Rambro

Rambroar byggs vanligtvis i ett spann med en momentstyv ram och de vanligaste typerna är plattrambro eller balkrambro. Det som skiljer de två rambrotyperna åt är definitionen av platta och balk (Trafikverket, 2014b).

Plattrambro är den vanligast förekommande brotypen i Sverige och utgör av ungefär hälften av Trafikverkets alla broar (Trafikverket, 2018c). Bron är ekonomiskt fördelaktig vid spännvidder upp till 22 meter för slakarmerad betong och om armeringen förspänns kan spännvidder upp till 35 meter nås (Trafikverket, 2018c). Den armerade betongplattan är huvudbärverket i bron och plattan spänns in i rambenen som motsvarar ändstöd.

En balkrambro kan utföras med större spännvidder jämfört med en plattrambro och är vanligtvis spännarmerad (Trafikverket, 2018c). Bron kan ha spännvidder upp till 50 meter i ett spann och huvudbärverket kan vara en eller fler balkar som binds samman i tvärled av brobanepattan. På samma sätt som plattrambro är huvudbärverket vid ändstöden utformat med kontinuitet i de övre ramhörnerna och fortsätter ner i rambenen antingen som plattor, skivor eller balkar (Trafikverket, 2014b).

Fackverksbro

Principen för fackverksbalkbroar är att fördela drag och tryck mellan en överarmsstång och en underarmsstång med vertikala och diagonala stänger (Trafikverket, 2014b). Fackverksbalkbroar lämpar sig vid spännvidder över 50 meter men permanenta fackverksbroar för vägtrafik byggs idag inte på grund av den höga produktionskostnaden.

Samverkansbro

I en samverkansbro kombineras material tillsammans för att utnyttja dess egenskaper och optimera bärförmågan (Trafikverket, 2018c). Ett vanligt utförande är balkar av stål tillsammans med en farbaneplatta av betong. Stålbalkarna verkar i drag medan betongplattan verkar i tryck för att förhindra böjning i balkarna och vridning av bron (Hirt & Lebet 2013, s. 18–23). För att skapa samverkan mellan materialen används svetsbultar på stålbalkens övre flänsar, så kallade studs, som förbinder stålbalkarna med betongplattan. En samverkansbro är lämplig vid långa spännvidder och en ytterligare fördel är dess korta byggtid då stålbalkarna förtillverkas och monteras snabbt.

En annan typ av samverkansbroar är kombinationen av limträ och betong. De är dock inte etablerade i Sverige och kommer, enligt Robert Kliger (personlig kommunikation, 2019-02-11), ha svårigheter att möta Trafikverkets krav och råd.

Bågverkan

Bågverkan kännetecknas av att bron huvudbärverk utformas som en båge där lasten överförs i form av sneda trycksträvor vilket starkt bidrar till bärförmågan (Trafikverket, 2014b). Lasterna överförs till tryckbågen antingen genom egentygngen av brobanan, fyllnadsmaterial runt om bågen eller en kombination av båda (Trafikverket, 2014b).

De stora tryckkrafterna bärverket utsätts för ställer särskilda krav på grundläggning då stora horisontella krafter leds från huvudbärverket (Trafikverket, 2014b). Detta kan delvis hanteras med lagerutformning som erhåller fri upplägning.

Valvbro

Valvbroar kännetecknas genom ett huvudbärverk i slagen sten eller armerad betong i form av en båge som täcks av fyllnadsmaterial och ansluts med vägbanken för att skapa tryckkrafter i valvet (Trafikverket, 2014b). Valvbroar kan utföras i spännvidder om 17 till 30 meter beroende på material.

Bågbro

Bågbroar kan utföras i både under- eller överliggande bågar i ett eller flera spann. Brobanan, bestående av samma material som bågen, fungerar som sekundärbärverk för bågbron där dess egentygng bidrar till bron bärförmåga och stabilitet (Trafikverket, 2014b).

Linverkan

Linverksbroar består av pyloner och förstyrningsbalkar som kopplas samman av kablar (Trafikverket, 2018c). Förstyrningsbalken, även kallad farbanan, bärs av kablarna som utsätts för drag och kablarna ger i sin tur upphov till stora tryckkrafter i pylonerna de är förankrade till. Kablarna består av stål och pylonerna vanligen av betong men för mindre varianter är stål ett alternativ. En fördel är produktionsfasen där dess utformning enbart erfordrar vertikala laster i pylonerna vilket möjliggör montage utan uppförande av stödkonstruktioner.

Snedkabelbro

Snedkabelbroar används vid spann längre än 100 meter (Trafikverket, 2018c). Kablarna kan arrangeras på olika sätt som påverkar fördelningen av kablar på pylonen. För snedkabelbroar är det viktigt att avstyrningsbalken utformas för att minimera inverkan av vindlaster och i moderna fall utformas avstyrningsbalken som en sluten ställåda (Trafikverket, 2014b).

Pylonernas utformning beror främst på kabelsystemets utformning, antalet kabelplan och spännvidden (Trafikverket, 2018c).

Hängbro

Hängbroar är effektiva vid mycket stora spann och kan, precis som snedkabelbroar, monteras utan ställningar (Trafikverket, 2018c). Skillnaden mellan en hängbro och en snedkabelbro är kabelsystemets utformning där två bärkablar förankras i pylonernas toppar. Huvudkablarna förankras i varsitt ankare där landfästet antingen är i ett bergrum eller ett betonglandfäste med stor egentyngd (Trafikverket, 2014b). Huvudkablarna kopplas ihop med förstyrningsbalken genom vertikala hängare som har mindre dimension än huvudkabeln själv (Trafikverket, 2018c).

Bilaga F – Produktionsmetoder

Prefab

Fördelarna med prefabricerade broelement är många. Att tillverkningen sker i industrihallar medför en hög kvalitet på färdiga produkter eftersom arbetet sker i en kontrollerad miljö (Abetong, u. å). Ytterligare undviks störande moment då stora ytor av arbetsplatsen inte behöver ockuperas av material tack vare att leverans sker vid önskad tidpunkt för omgående montage. Ovannämnda faktorer bidrar till en reducerad byggtid vilket i sig leder till minskade påfrestningar på ekosystem och närmiljö. Med minskad byggtid medföljer även ett kortare tidsbehov av att omlada trafik, vilket även leder till minskad risk för olyckor.

Problem som kan uppstå vid prefabricering är att de allra längsta spännvidderna inte går att tillgodose samtidigt som de största delarna kan bli problematiska att transportera. Däremot är det fortfarande möjligt att konstruera element för kontinuerliga broar för att uppnå längre spännvidder enligt Mats Karlsson från Trafikverket (personlig kommunikation, 31 januari 2019).

Anna Egefalk från COWI påstår att prefabricerade broar i princip inte konstrueras i Sverige i dagens läge (personlig kommunikation, 5 mars 2019). Däremot har metoden framgångsrikt använts i Nederländerna sedan 60-talet och Trafikverket har erkänt Strängbetong som en certifierad leverantör av förspända prefabricerade balkbroar (Strängbetong, u. å).

Platsgjutning

Då brokonstruktioner allt som oftast konstrueras/byggs vid olika former av hinder medför detta vanligen utmanande förhållanden och åtkomlighet med maskiner kan vara begränsad. Platsgjutning anpassas utifrån rådande förutsättningar och är väldigt platsspecifik.

Vid platsgjutning erfordras stor virkesåtgång för gjutformar och stora mängder stödkonstruktioner. Då varje brokonstruktion är unik finns ingen möjlighet att återanvända gjutformarna enligt Mats Karlsson (personlig kommunikation, 5 mars 2019).

Kranlansering

För balkar är en möjlig produktionsmetod att lyfta delarna på plats med hjälp av en kran. Denna process är fördelaktig då mängden utrustning och tillfälliga ramar kan reduceras. Däremot krävs stora och väl lämpade ytor för kranen samtidigt som bygghöjden inte får vara allt för hög, ungefär 15 meter (Hirt och Lebet, 2013).

Konsolutbyggnad

Konsolutbyggnad innebär att man bygger upp bron med hjälp av konsolstöd från olika håll. Metoden är effektiv vid spännvidder över 100 meter, vid höga bygghöjder och även frekvent vid vattendrag då balkdelarna kan transporteras via pråmar. Processen kan utföras med symmetrisk utbyggnad från mellanstöd alternativt start vid ändstöd (Hirt och Lebet, 2013).

Vid symmetrisk utbyggnad krävs inga stödkonstruktioner tack vare jämvikten vilken erhålls då balkarna samtidigt lyfts eller gjuts på plats på varsin sida av stödet (Hirt och Lebet, 2013).

På ett liknande sätt fungerar metoden då konsolerna byggs ut från ändstödet med skillnaden att det krävs stöpelare för att undvika ras under uppförande.

Horisontell lansering

När arbetshöjden blir för hög och det inte längre är möjligt för kranar att lyfta brokomponenterna på plats krävs alternativa metoder för uppförandet av bron. I dessa fall kan horisontell lansering vara lämplig. För spännvidder upp till 150 meter används idag denna

metod vilken går ut på att förtillverkade element förs ut över stöden i axialled för att sedan sammankopplas. Metoden medför goda arbetsförhållanden (Hirt och Lebet, 2013).

Bilaga G – Grundläggning

Plattgrundläggning

Det finns olika former av plattgrundläggning. De kan utföras på berg, naturlig schaktbotten eller på packad fyllning. Grundläggningsarbetet kan även ske helt eller delvis under vatten (Trafikverket, 2018c).

Platta på berg

Vid dimensionering av en platta på berggrund kan stabilitetsproblem uppkomma och förekomst av lerslag och sprickzoner kan behöva inspekteras (Trafikverket, 2018c). Placeringen av plattan är i regel plan på berggrunden och kan tack vare bergets höga bärförmåga utföras i små dimensioner relativt plattor med andra förutsättningar. Trappstegsformade avsatser kan bildas med hjälp av sprängning vid lutande berg.

Grundläggning på berg ger en styv inspänning i brostödet och i vissa fall kan det vara gynnsamt att ha en grundläggning på minst 0,5 meter (Trafikverket, 2018c). Tjockare fyllning är även bra för att minska risken för temperatursprickning under betongens härdning.

Platta på mark

Nivån på grundläggningen bestäms av krav på bärförmåga, sättningar, tjälsäkert djup och risk för erosion (Trafikverket, 2018c). Tillverkningen av plattan påbörjas när schaktningen är färdigställd och schaktbotten utgör ett bra underlag. Om underlaget är känsligt för regn eller punktlaster kan en arbetsbädd av förstärkningsmaterial läggas ut. Plattan måste grundläggas så att tjällyftning undviks. Vid särskilda omständigheter då grundvattenytans nivå är känslig kan bottenplattan placeras över det tjälsäkra djupet med lämpligt tjälskydd, exempelvis cellplast, enligt Joosef Leppänen (personlig kommunikation, 19 februari 2019).

Platta på packad fyllning

Vid dåliga geotekniska förhållanden, exempelvis lera eller andra mindre bärkraftiga jordlager som överlagras bra grundläggningsmaterial, kan det vara ekonomiskt hållbart att ersätta de dåliga massorna med en packad grus- eller sprängstensfyllning. Den packade fyllningen kan användas för att åstadkomma önskvärd grundläggningsnivå. Stabilitetsproblem kan uppstå i slänt till plattan och måste därmed beaktas (Trafikverket, 2018c).

Plattgrundläggning under fri vattenyta

Arbete under vatten är överlag svårt att utföra och kontrollera. Problemet kan lösas på olika sätt för att arbetsförhållandena ska bli torra. Grundvattensänkning kan utföras och då är det viktigt att den sänks minst 0,5 meter under schaktbotten för att undvika risk för bottenuppluckring (Trafikverket, 2018c). Ett annat alternativ är att undersöka möjligheten av förhöjd grundläggning, vilket betyder att med hjälp av en packad fyllning lyfter grundläggningsnivån ovan vattenytan. Det finns även möjlighet att uppföra tillfälliga konstruktioner, exempelvis kassuner, som möjliggör gjutning under torra förhållanden.

Pålning

Pålning är en lämplig grundläggningsmetod för tyngre byggnationer om jordlagren är instabila och består av jord med låg bärighet (Olsson C., Holm, G., 1993). Pålarna leder då laster ner genom dessa mer instabila jordlager till underliggande mer bärkraftig jord alternativt berg. På detta sätt kan sättningarna reduceras eller bärförmågan öka. Pålarna är antingen av mantelbärande (Trafikverket, 2018c) eller av spetsbärande modell. Typiskt används pålning som grundläggning om marken består av lera, torv eller gytta (Olsson C., Holm, G., 1993).

Ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv är det lämpligt att använda pålning som grundläggningsmetod vid dåliga grundläggningsförutsättningar, men metoden kan också vara lämplig för konstruktioner i vatten, exempelvis brostöd (Trafikverket, 2018c). Pålning i vatten är dock särskilt komplicerat och kostnadskrävande. Vid svåra pålningsförhållanden, med exempelvis blockrik jord, risk för vattensprängning, vibrationskänslig miljö, liten felslagningstolerans, stora dragkrafter eller då betongpålar medför alltför stora jordrörelser eller massundanträngning, kan stålpålar vara att föredra. I Sverige utgörs pålarna oftast av slagna förtillverkade betongpålar (Olsson C., Holm, G., 1993), vanligen slakarmerade med kvadratiska tvärsnitt.

Bilaga H – Inspektioner och Underhåll

Inspektionstyper

Huvudinspektion ska genomföras innan ett nytt byggnadsverk tas i drift och efter det med maximalt sex års intervall (Trafikverket, 2014a). Syftet med inspektionen är att upptäcka, lokalisera och bedöma eventuella brister i konstruktionen som kan påverka dess funktion eller säkerhet inom en period av 10 år. Under inspektionen kontrolleras samtliga konstruktionselement, även de belägna under vatten, noggrant och sprickor i konstruktioner mäts upp och dokumenteras.

Allmänna inspektioner utförs mellan huvudinspektioner med syftet att kontrollera tidigare dokumenterade skador från huvudinspektioner samt att upptäcka nya (Trafikverket, 2014a). Särskilt utvärderas de skador som skulle kunna leda till bristfällig trafiksäkerhet, ett bristande bärsystem eller ökade förvaltningskostnader.

Särskilda inspektioner utförs efter regelbundna inspektioner och används för enskilda konstruktionselement där det krävs en mer fördjupad utredning eller en form av specialkompetens (Trafikverket, 2014a).

Skador och Reparation av broar

Vilka skador och nedbrytningsprocesser en bro utsätts för beror till stor del på dess material. Många av nedbrytningsprocesserna är starkt kopplade till fukt och effektivt skydd från denna belastning är mycket fördelaktigt. Skötsel för det statliga vägnätet sköts av trafikverket (Trafikverket, 2016).

Träbroar

Trä impregneras på olika sätt för att öka beständigheten mot röta och andra skadliga processer och delas in i olika träskyddsklasser baserat på grad av impregnering (TräGuiden, 2019). Det är även möjligt att värmebehandla materialet vilket ger ett förbättrat skydd mot rötsvampar men behandlingen påverkar även träets fysikaliska egenskaper (Burström, 2013, s.). Om en brokonstruktion utsätts för exempelvis röta eller skada från annat håll kan konstruktionen kompletteras med en annan beståndsdel såvida inte beslutet tas att byta hela delen (Ritter, M., 1990).

Stålbroar

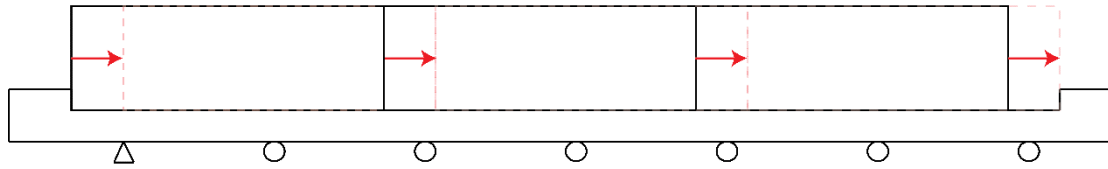
Det föreligger stor risk för korrosion hos stålkonstruktioner. Exempel på skydd mot korrosion är rostskyddsmålning, förzinkning, emaljering eller användande av korrosionshårdiga legeringar (Burström, 2007). Rostskyddsmålning är vanligt förekommande och kräver ommålning med jämna mellanrum för ett effektivt skydd. Valet av korrosionsskydd har stor inverkan på konstruktionens initialkostnader, underhållskostnad och livslängd.

Betongbroar

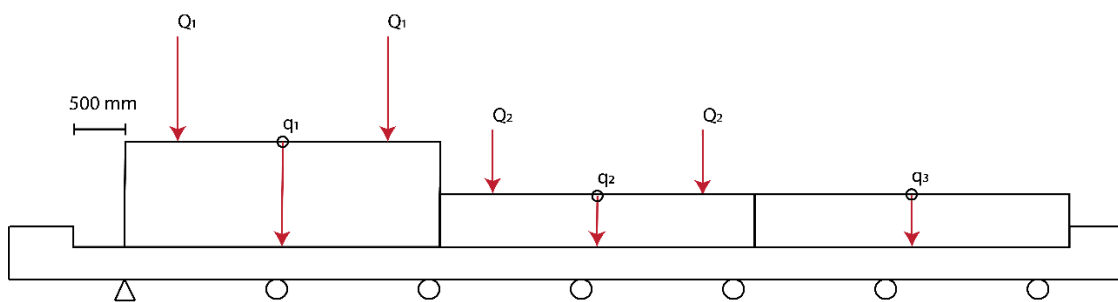
För betongbroar finns flera risker gällande nedbrytning. När sprickor uppstår i betongen ökar risken för salt- och vatteninträngning, vilket kan leda till frost- och saltfrostsprängning (Vägverket, 1994). Delar av konstruktionen kan då spjälkas vilket leder till att armeringen exponeras och riskerar att korrodera. En annan vanlig skada på betongbroar är karbonatisering som kan uppstå på grund av tösaltning eller havsvattensmiljö. Är betongen karbonatiserad så pass kraftigt att armeringskorrosion pågår krävs reparation.

Vid skador av betongbroar påbörjas reparationen med att all skadad betong avlägsnas, oftast genom bilning (Vägverket, 1994). När all skadad betong är borta rengörs motgjutningsytan från betongrester och föroreningar innan ny betong gjuts på plats. Skadad betong ska avlägsnas på ett sådant sätt att resterande brodelar och miljö inte påverkas och reparationen skall kontrolleras genom exempelvis bomknackning som lokaliserar håligheter och defekter.

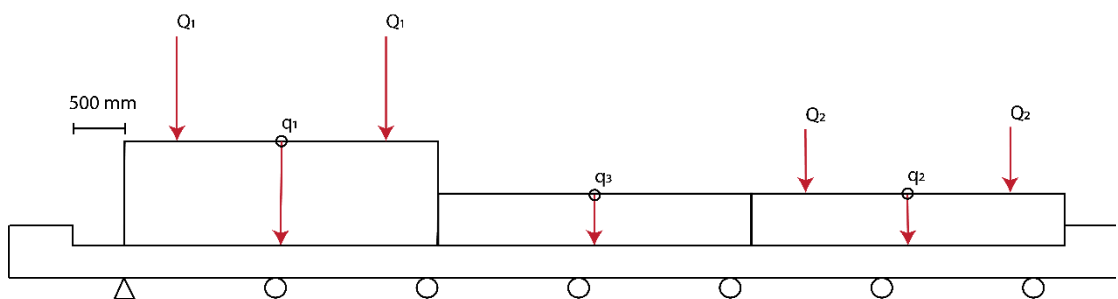
Bilaga I – Stegning



Principiell bild för hur laststegningen går till



Dimensionerade position och förflyttning av lastfält över dimensionerande moment i fält



Dimensionerade position och förflyttning av lastfält över dimensionerande moment i stöd

Bilaga J – Tvärled moment

```
clc
close all
clear all

L = 1; % Beräkningar görs per längdmeter

% Geometri och mtrl.egenskaper
n_ba = 14; % Antal längsgående balkar [st]
h_p = 0.3; % Plattans höjd [m]
h_be = 0.1; % Beläggnings tjocklek[m]
h_kb = 0.5; % Kantbalkens höjd [m]
b_p = 20.0; % Plattans bredd [m]
A_p = L * h_p; % Plattans area [m^2]
A_ba = 0.44; % Balkens(arnas) tvärsnittarea [m^2]
I_p = L * h_p^3/12; % Yttröghetsmoment platta [m^4]
E_cm = 39e9; % C60/75 [Pa]
ep = [E_cm A_p I_p]; % Elementegenskaper

% Tungheter
th_p = 25000; % Tunghet platta [N/m^3]
th_ba = th_p; % Tunghet balk [N/m^3]
th_be = 22000; % Tunghet beläggning [N/m^3]

% Egentyngd
g_p = -(L * h_p * th_p + L * h_be * th_be); % Egentyngd platta [N/m]
g_kb = -L * h_kb * th_p; % Egentyngd kantbalk [N/m]
g_ba = -L * A_ba * th_ba; % Egentyngd balk [N]
```

Lastkombinationer enligt SS-EN 1990 & 1991-2

```
% Lastkoefficienter
alfaQ1 = 0.9;
alfaQ2 = 0.9;
alfaQ3 = 0.0;

alfaqa1 = 0.8;
alfaqa2 = 1.0;
alfaqa3 = 1.0;

% Med w = 9.5 m ges n1 = 9.5/3 = 3 körfält. Återstående
% vägbanbredd blir 0.5 m

% Punktlaster
Q1 = -300e3*alfaQ1; % [N]
Q2 = -200e3*alfaQ2; % [N]
Q3 = -100e3*alfaQ3; % [N]

% Utbredda laster
q1 = -L*9e3*alfaqa1; % [N/m]
q2 = -L*2.5e3*alfaqa2; % [N/m]
q3 = -L*2.5e3*alfaqa3; % [N/m]
```

Ogynnsam lastkombination

```
% Partialkoefficienter
gamma_G = 1.35; % Permanent last
gamma_Q = 1.5; % Variabel last
gamma_P = 1.3; % Spännkraft

% Lastreduktionstal
% Kombinationsvärde, boggisystem [-]
psi_0_b = 0.75;
psi_1_b = 0.75;
psi_2_b = 0;

% Kombinationsvärde, utbredd last [-]
psi_0_u = 0.4;
psi_1_u = 0.4;
psi_2_u = 0;

% Reduktionsfaktor [-]
xi = 0.89;

% Förallokera vektorer för att lagra resultat i
forflyttning_max_falt_M = zeros(4,1);
forflyttning_max_stod_M = zeros(4,1);
Moment_Max_falt = zeros(4,1);
Moment_Max_stod = zeros(4,1);

for i=1:4

    if i == 1 % Lastkombination för brottgränstillstånd

        % Brottgränstillstånd enligt ekv 6.10a SS-EN 1990
        Ed_ba = gamma_G * (g_p + 2 * g_kb) + gamma_P * n_ba * g_ba + gamma_Q *
        (psi_0_b * (Q1 + Q2 + Q3) + psi_0_u * 3 * (q1 + q2 + q3));

        % Brottgränstillstånd enligt ekv 6.10b SS-EN 1990
        Ed_bb = xi * gamma_G * (g_p + 2 * g_kb) + gamma_P * n_ba * g_ba + gamma_Q *
        ((Q1 + 3 * q1) + psi_0_b * (Q2 + Q3) + psi_0_u * 3 * (q2 + q3));

        % kontrollera vilken av de två kombinationerna som är minst gynnsam
        if abs(Ed_ba) > abs(Ed_bb)

            gba = gamma_G * g_ba;
            gkb = gamma_G * g_kb;
            gp = gamma_G * g_p;
            q_1 = gamma_Q * psi_0_u * q1;
            q_2 = gamma_Q * psi_0_u * q2;
            q_3 = gamma_Q * psi_0_u * q3;
            Q_1 = gamma_Q * psi_0_b * Q1;
            Q_2 = gamma_Q * psi_0_b * Q2;
            Q_3 = gamma_Q * psi_0_b * Q3;

        elseif abs(Ed_bb) > abs(Ed_ba)

            gba = xi * gamma_G * g_ba;
```

```

gkb = xi * gamma_G * g_kb;
gp = xi * gamma_G * g_p;
q_1 = gamma_Q * q1;
q_2 = gamma_Q * psi_0_u * q2;
q_3 = gamma_Q * psi_0_u * q3;
Q_1 = gamma_Q * Q1;
Q_2 = gamma_Q * psi_0_b * Q2;
Q_3 = gamma_Q * psi_0_b * Q3;

end

elseif i == 2 % Karakteristisk lastkombination

% Karakteristisk lastkombination enligt ekv 6.14b SS-EN 1990
Ed_kar = g_p + 2 * g_kb + n_ba * g_ba + 3 * q1 + Q1 + psi_0_u * 3 * (q2 + q3)
+ psi_0_b * (Q2 + Q3);

gba = g_ba;
gkb = g_kb;
gp = g_p;
q_1 = q1;
q_2 = psi_0_u * q2;
q_3 = psi_0_u * q3;
Q_1 = Q1;
Q_2 = psi_0_b * Q2;
Q_3 = psi_0_b * Q3;

elseif i == 3 % Frekvent lastkombination

% Frekvent lastkombination enligt ekv 6.15b SS-EN 1990
Ed_frek = g_p + 2 * g_kb + n_ba * g_ba + psi_1_u * 3 * q1 + psi_1_b * Q1 +
psi_2_u * 3 * (q2 + q3) + psi_2_b * (Q2 + Q3);

gba = g_ba;
gkb = g_kb;
gp = g_p;
q_1 = psi_1_u * q1;
q_2 = psi_2_u * q2;
q_3 = psi_2_u * q3;
Q_1 = psi_1_b * Q1;
Q_2 = psi_2_b * Q2;
Q_3 = psi_2_b * Q3;

elseif i == 4 % Kvasipermanent lastkombination

% Kvasipermanent lastkombination enligt ekv 6.16b SS-EN 1990
Ed_kvasi = g_p + 2 * g_ba + n_ba * g_ba + psi_2_u * 3 * (q2 + q3) + psi_2_b *
(Q2 + Q3);

gba = g_ba;
gkb = g_kb;
gp = g_p;
q_1 = 0;
q_2 = psi_2_u * q2;
q_3 = psi_2_u * q3;

```

```

Q_1 = 0;
Q_2 = psi_2_b * Q2;
Q_3 = psi_2_b * Q3;

end

% Vektorer för att ändra lastfältens ordningsföljd för att undersöka
% vilket lastfall som ger störst lasteffekt
q = [q_1, q_3, q_2];
Q = [Q_1, Q_3, Q_2];

M_ref_falt = 0; % Referenspunkt för att beräkna maximalt moment i fält
M_ref_stod = 0; % '-'- stöd

for j = 0:0.01:0.5

    % Skapa matris med frihetsgrader
    for k = 1:28
        Edof(k,:) = [k 3*k-2 3*k-1 3*k 3*k+1 3*k+2 3*k+3];
    end

    ndof = max(Edof(:,end)); % Antal frihetsgrader
    ne = max(Edof(:,1)); % Antal element

    % Förallokering av styvhetsmatris & lastvektor
    K = zeros(ndof);
    f = zeros(ndof, 1);

    % Iom att vissa punktlaster vid särskilda steg sammanfaller med
    % balkarna (stöden) krävs flera olika elementuppsättningar vilket
    % löses med följande if-sats.

    if j == 0

        ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk          dof:
        ex2 = [0.6    0.9]; % LF1 börjar - extra nod
        ex3 = [0.9    1.1]; % extra nod - balk 1 & PL1
        ex4 = [1.1    1.9]; % balk 1 & PL1 - extra nod 11
        ex5 = [1.9    2.55]; % extra nod - balk 2      14
        ex6 = [2.55   3.1]; % balk 2 - PL1           17
        ex7 = [3.1    3.6]; % PL1 - LF1 slutar       20
        ex8 = [3.6    4.0]; % LF2 börjar - balk 3     23
        ex9 = [4.0    4.1]; % balk 3 - PL2           26
        ex10 = [4.1   5.45]; % PL2 - balk 4           29
        ex11 = [5.45   6.1]; % balk 4 - PL2           32
        ex12 = [6.1    6.6]; % PL2 - LF2 slutar       35
        ex13 = [6.6    6.9]; % LF3 börjar - balk 5     38
        ex14 = [6.9    7.1]; % balk 5 - PL3           41
        ex15 = [7.1    8.35]; % PL3 - balk 6           44
        ex16 = [8.35   9.1]; % balk 6 - PL3           47
        ex17 = [9.1    9.6]; % PL3 - LF3 slutar       50
        ex18 = [9.6    9.8]; % LF3 slutar - balk 7     53
        ex19 = [9.8    10.6]; % balk 7 - bromitt       56
        ex20 = [10.6   11.4]; % bromitt - balk 8       59
    end
end

```

```

ex21 = [11.4 12.85]; % balk 8 - balk 9      62
ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10    65
ex23 = [14.3 15.75]; % balk 10 - balk 11   68
ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12   71
ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13   74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14   77
ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk   80
ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

```

```

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster

```

```

eq = [0 gkb; % element
      0 gp+q(1); % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(3); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp; % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gkb];

```

```

% Korresponderande lastvektor för punktlaster

```

```

f(11) = Q(1)+gba;
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(41) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(56) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;

```



```

f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

% Randvillkor
bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      41 0;
      47 0;
      56 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

elseif j > 0 && j < 0.2

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j 1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
ex5 = [1.1+j 2.55]; % PL1 - balk 2      14
ex6 = [2.55 3.1+j]; % balk 2 - PL1      17
ex7 = [3.1+j 3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar  20
ex8 = [3.6+j 4.0]; % LF2 börjar - balk 3  23
ex9 = [4.0  4.1+j]; % balk 3 - PL2      26
ex10 = [4.1+j 5.45]; % PL2 - balk 4      29
ex11 = [5.45 6.1+j]; % balk 4 - PL2     32
ex12 = [6.1+j 6.6+j]; % PL2 - LF2 slutar 35
ex13 = [6.6+j 6.9]; % LF3 börjar - balk 5 38
ex14 = [6.9  7.1+j]; % balk 5 - PL3     41
ex15 = [7.1+j 8.35]; % PL3 - balk 6     44
ex16 = [8.35 9.1+j]; % balk 6 - PL3     47
ex17 = [9.1+j 9.6+j]; % PL3 - LF3 slutar 50
ex18 = [9.6+j 9.8]; % LF3 slutar - balk 7 53
ex19 = [9.8  10.6]; % balk 7 - bromitt   56
ex20 = [10.6 11.4]; % bromitt - balk 8   59
ex21 = [11.4 12.85]; % balk 8 - balk 9   62
ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10  65
ex23 = [14.3 15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk 80
ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2

```

```

0 gp+q(1);           % 3
0 gp+q(1);           % 4
0 gp+q(1);           % 5
0 gp+q(1);           % 6
0 gp+q(1);           % 7
0 gp+q(2);           % 8
0 gp+q(2);           % 9
0 gp+q(2);           % 10
0 gp+q(2);           % 11
0 gp+q(2);           % 12
0 gp+q(3);           % 13
0 gp+q(3);           % 14
0 gp+q(3);           % 15
0 gp+q(3);           % 16
0 gp+q(3);           % 17
0 gp;                 % 18
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gkb];

```

```
% korresponderande lastvektor för punktlaster
```

```

f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(41) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(56) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

```

```
% Randvillkor
```

```

bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      41 0;

```

```

47 0;
56 0;
62 0;
65 0;
68 0;
71 0;
74 0;
77 0;
80 0];

elseif j == 0.2

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j  1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1       11
ex5 = [1.1+j  2.55]; % PL1 - balk 2      14
ex6 = [2.55  3.1+j]; % balk 2 - PL1      17
ex7 = [3.1+j  3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar  20
ex8 = [3.6+j  4.0]; % LF2 börjar - balk 3  23
ex9 = [4.0  4.1+j]; % balk 3 - PL2       26
ex10 = [4.1+j  5.45]; % PL2 - balk 4      29
ex11 = [5.45  6.1+j]; % balk 4 - PL2     32
ex12 = [6.1+j  6.6+j]; % PL2 - LF2 slutar  35
ex13 = [6.6+j  6.9]; % LF3 börjar - balk 5  38
ex14 = [6.9  7.1+j]; % balk 5 - PL3      41
ex15 = [7.1+j  8.35]; % PL3 - balk 6     44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3     47
ex17 = [9.1+j  9.8]; % PL3 - balk 7 & LF3  50
ex18 = [9.8  10.2]; % balk 7 & LF3 - extra nod 53
ex19 = [10.2  10.6]; % extra nod - bromitt 56
ex20 = [10.6  11.4]; % bromitt - balk 8   59
ex21 = [11.4  12.85]; % balk 8 - balk 9   62
ex22 = [12.85  14.3]; % balk 9 - balk 10  65
ex23 = [14.3  15.75]; % balk 10 - balk 11  68
ex24 = [15.75  17.2]; % balk 11 - balk 12  71
ex25 = [17.2  18.65]; % balk 12 - balk 13  74
ex26 = [18.65  20.1]; % balk 13 - balk 14  77
ex27 = [20.1  20.6]; % balk 14 - kantbalk  80
ex28 = [20.6  21.2]; % kantbalk

% korresponderande lastvektor för utbredda laster
eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(3); % 13
      0 gp+q(3); % 14

```

```

0 gp+q(3);           % 15
0 gp+q(3);           % 16
0 gp+q(3);           % 17
0 gp;                % 18
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gkb];

```

```
% Korresponderande lastvektor för punktlaster
```

```

f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(41) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

```

```
% Randvillkor
```

```

bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      41 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

```

```
elseif j > 0.2 && j < 0.3
```

```

ex1 = [0      0.6]; % kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j  1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
ex5 = [1.1+j  2.55]; % PL1 - balk 2     14
ex6 = [2.55  3.1+j]; % balk 2 - PL1     17
ex7 = [3.1+j  3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar 20
ex8 = [3.6+j  4.0]; % LF2 börjar - balk 3 23
ex9 = [4.0  4.1+j]; % balk 3 - PL2      26
ex10 = [4.1+j  5.45]; % PL2 - balk 4     29
ex11 = [5.45  6.1+j]; % balk 4 - PL2     32
ex12 = [6.1+j  6.6+j]; % PL2 - LF2 slutar 35
ex13 = [6.6+j  6.9]; % LF3 börjar - balk 5 38
ex14 = [6.9  7.1+j]; % balk 5 - PL3     41
ex15 = [7.1+j  8.35]; % PL3 - balk 6     44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3     47
ex17 = [9.1+j  9.8]; % PL3 - balk 7     50
ex18 = [9.8  9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar 53
ex19 = [9.6+j  10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6  11.4]; % bromitt - balk 8   59
ex21 = [11.4  12.85]; % balk 8 - balk 9   62
ex22 = [12.85  14.3]; % balk 9 - balk 10  65
ex23 = [14.3  15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75  17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2  18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65  20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1  20.6]; % balk 14 - kantbalk 80
ex28 = [20.6  21.2]; % kantbalk

```

% korresponderande lastvektor för utbredda laster

```

eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(3); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp+q(3); % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;

```

```

0 gp;
0 gkb];

% Korresponderande lastvektor för punktlaster
f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(41) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

% Randvillkor
bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      41 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

elseif j == 0.3

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk          dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j 1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
ex5 = [1.1+j 2.55]; % PL1 - balk 2      14
ex6 = [2.55 3.1+j]; % balk 2 - PL1      17
ex7 = [3.1+j 3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar  20
ex8 = [3.6+j 4.0]; % LF2 börjar - balk 3  23
ex9 = [4.0  4.1+j]; % balk 3 - PL2      26
ex10 = [4.1+j 5.45]; % PL2 - balk 4      29
ex11 = [5.45 6.1+j]; % balk 4 - PL2      32
ex12 = [6.1+j 6.9]; % PL2 -LF2 slutar & balk 5 35

```

```

ex13 = [6.9    7.0]; % LF3 & balk 5 - extra nod 38
ex14 = [7.0    7.1+j]; % extra nod - PL3 41
ex15 = [7.1+j  8.35]; % PL3 - balk 6 44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3 47
ex17 = [9.1+j  9.8]; % PL3 - balk 7 50
ex18 = [9.8    9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar 53
ex19 = [9.6+j  10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6   11.4]; % bromitt - balk 8 59
ex21 = [11.4   12.85]; % balk 8 - balk 9 62
ex22 = [12.85  14.3]; % balk 9 - balk 10 65
ex23 = [14.3   15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75  17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2   18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65  20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1   20.6]; % balk 14 - kantbalk 80
ex28 = [20.6   21.2]; % kantbalk

```

```

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster

```

```

eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(3); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp+q(3); % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gkb];

```

```

% Korresponderande lastvektor för punktlaster

```

```

f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);

```

```

f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

```

```
% Randvillkor
```

```

bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      38 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

```

```
elseif j > 0.3 && j < 0.4
```

```

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j  1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
ex5 = [1.1+j  2.55]; % PL1 - balk 2     14
ex6 = [2.55  3.1+j]; % balk 2 - PL1     17
ex7 = [3.1+j  3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar 20
ex8 = [3.6+j  4.0]; % LF2 börjar - balk 3 23
ex9 = [4.0  4.1+j]; % balk 3 - PL2      26
ex10 = [4.1+j  5.45]; % PL2 - balk 4     29
ex11 = [5.45  6.1+j]; % balk 4 - PL2     32
ex12 = [6.1+j  6.9]; % PL2 - balk 5     35
ex13 = [6.9  6.6+j]; % balk 5 - LF2 slutar 38
ex14 = [6.6+j  7.1+j]; % LF3 börjar - PL3 41
ex15 = [7.1+j  8.35]; % PL3 - balk 6     44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3     47
ex17 = [9.1+j  9.8]; % PL3 - balk 7     50
ex18 = [9.8  9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar 53
ex19 = [9.6+j  10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6  11.4]; % bromitt - balk 8   59
ex21 = [11.4  12.85]; % balk 8 - balk 9   62
ex22 = [12.85  14.3]; % balk 9 - balk 10  65
ex23 = [14.3  15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75  17.2]; % balk 11 - balk 12 71

```



```

ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13      74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14     77
ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk     80
ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

```

```

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster

```

```

eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(2); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp+q(3); % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gkb];

```

```

% Korresponderande lastvektor för punktlaster

```

```

f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

```

```

% Randvillkor
bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      38 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

elseif j == 0.4

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk          dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j  1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
ex5 = [1.1+j  2.55]; % PL1 - balk 2     14
ex6 = [2.55  3.1+j]; % balk 2 - PL1     17
ex7 = [3.1+j  4.0]; % PL1 - LF1 & balk 3  20
ex8 = [4.0  4.25]; % LF2 & balk 3 - extra nod 23
ex9 = [4.25  4.1+j]; % extra nod - PL2   26
ex10 = [4.1+j  5.45]; % PL2 - balk 4     29
ex11 = [5.45  6.1+j]; % balk 4 - PL2     32
ex12 = [6.1+j  6.9]; % PL2 - balk 5      35
ex13 = [6.9  6.6+j]; % balk 5 - LF2 slutar 38
ex14 = [6.6+j  7.1+j]; % LF3 börjar - PL3 41
ex15 = [7.1+j  8.35]; % PL3 - balk 6     44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3     47
ex17 = [9.1+j  9.8]; % PL3 - balk 7      50
ex18 = [9.8  9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar 53
ex19 = [9.6+j  10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6  11.4]; % bromitt - balk 8   59
ex21 = [11.4  12.85]; % balk 8 - balk 9   62
ex22 = [12.85  14.3]; % balk 9 - balk 10  65
ex23 = [14.3  15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75  17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2  18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65  20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1  20.6]; % balk 14 - kantbalk 80
ex28 = [20.6  21.2]; % kantbalk

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6

```

```

0 gp+q(1); % 7
0 gp+q(2); % 8
0 gp+q(2); % 9
0 gp+q(2); % 10
0 gp+q(2); % 11
0 gp+q(2); % 12
0 gp+q(2); % 13
0 gp+q(3); % 14
0 gp+q(3); % 15
0 gp+q(3); % 16
0 gp+q(3); % 17
0 gp+q(3); % 18
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gkb];

```

% Korresponderande lastvektor för punktlaster

```

f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(23) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

```

% Randvillkor

```

bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      23 0;
      32 0;
      38 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;

```

```

68 0;
71 0;
74 0;
77 0;
80 0];

elseif j > 0.4 && j < 0.5

ex1 = [0      0.6]; % kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j  1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
ex5 = [1.1+j  2.55]; % PL1 - balk 2     14
ex6 = [2.55  3.1+j]; % balk 2 - PL1     17
ex7 = [3.1+j  4.0]; % PL1 - balk 3     20
ex8 = [4.0  3.6+j]; % balk 3 - LF1 slutar 23
ex9 = [3.6+j  4.1+j]; % LF2 börjar - PL2 26
ex10 = [4.1+j  5.45]; % PL2 - balk 4    29
ex11 = [5.45  6.1+j]; % balk 4 - PL2    32
ex12 = [6.1+j  6.9]; % PL2 - balk 5     35
ex13 = [6.9  6.6+j]; % balk 5 - LF2 slutar 38
ex14 = [6.6+j  7.1+j]; % LF3 börjar - PL3 41
ex15 = [7.1+j  8.35]; % PL3 - balk 6    44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3    47
ex17 = [9.1+j  9.8]; % PL3 - balk 7     50
ex18 = [9.8  9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar 53
ex19 = [9.6+j  10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6  11.4]; % bromitt - balk 8  59
ex21 = [11.4  12.85]; % balk 8 - balk 9  62
ex22 = [12.85  14.3]; % balk 9 - balk 10 65
ex23 = [14.3  15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75  17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2  18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65  20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1  20.6]; % balk 14 - kantbalk 80
ex28 = [20.6  21.2]; % kantbalk

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(1); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(2); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp+q(3); % 18

```

```

0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gkb];

% Korresponderande lastvektor för punktlaster
f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(23) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

% Randvillkor
bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      23 0;
      32 0;
      38 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

elseif j == 0.5

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk      dof:
ex2 = [0.6    1.1]; % Kantbalk - LF1 & balk 1  5
ex3 = [1.1    1.3]; % LF1 & balk 1 - extra nod  8
ex4 = [1.3    1.1+j]; % extra nod      - PL1     11

```

```

ex5 = [1.1+j 2.55]; % PL1 - balk 2      14
ex6 = [2.55 3.1+j]; % balk 2 - PL1    17
ex7 = [3.1+j 4.0]; % PL1 - balk 3     20
ex8 = [4.0 3.6+j]; % balk 3 - LF1 slutar 23
ex9 = [3.6+j 4.1+j]; % LF2 börjar - PL2 26
ex10 = [4.1+j 5.45]; % PL2 - balk 4   29
ex11 = [5.45 6.1+j]; % balk 4 - PL2   32
ex12 = [6.1+j 6.9]; % PL2 - balk 5    35
ex13 = [6.9 6.6+j]; % balk 5 - LF2 slutar 38
ex14 = [6.6+j 7.1+j]; % LF3 börjar - PL3 41
ex15 = [7.1+j 8.35]; % PL3 - balk 6   44
ex16 = [8.35 9.1+j]; % balk 6 - PL3   47
ex17 = [9.1+j 9.8]; % PL3 - balk 7    50
ex18 = [9.8 9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar 53
ex19 = [9.6+j 10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6 11.4]; % bromitt - balk 8 59
ex21 = [11.4 12.85]; % balk 8 - balk 9 62
ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10 65
ex23 = [14.3 15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk 80
ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

```

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster

```

eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(1); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(2); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp+q(3); % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gkb];

```

% Korresponderande lastvektor för punktlaster

```

f(8) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(23) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

% Randvillkor
bc = [ 7 0;
      8 0;
      17 0;
      23 0;
      32 0;
      38 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

end

% Skapa global koordinatvektor

ex = [ex1; ex2; ex3; ex4; ex5; ex6; ex7; ex8; ex9; ex10; ex11; ex12; ex13;
ex14; ex15; ex16; ex17; ex18; ex19; ex20; ex21; ex22; ex23; ex24; ex25; ex26; ex27;
ex28];
ey = [0 0]; % Bortser från bombering

% Assemblera global styvhetsmatrix
for l=1:ne
    [ke, fe] = beam2e(ex(l,:), ey, ep, eq(l,:));
    [k, f] = assem(Edof(l,:), k, ke, f, fe);
end

```

```

% Löser ekvationssystemet
[a, fb] = solveq(K, f, bc);
ed = extract(Edof, a);

% Ta fram snittkrafter
es1 = beam2s(ex(1,:), ey, ep, ed(1,:), eq(1,:), 50);
es2 = beam2s(ex(2,:), ey, ep, ed(2,:), eq(2,:), 50);
es3 = beam2s(ex(3,:), ey, ep, ed(3,:), eq(3,:), 50);
es4 = beam2s(ex(4,:), ey, ep, ed(4,:), eq(4,:), 50);
es5 = beam2s(ex(5,:), ey, ep, ed(5,:), eq(5,:), 50);
es6 = beam2s(ex(6,:), ey, ep, ed(6,:), eq(6,:), 50);
es7 = beam2s(ex(7,:), ey, ep, ed(7,:), eq(7,:), 50);
es8 = beam2s(ex(8,:), ey, ep, ed(8,:), eq(8,:), 50);
es9 = beam2s(ex(9,:), ey, ep, ed(9,:), eq(9,:), 50);
es10 = beam2s(ex(10,:), ey, ep, ed(10,:), eq(10,:), 50);
es11 = beam2s(ex(11,:), ey, ep, ed(11,:), eq(11,:), 50);
es12 = beam2s(ex(12,:), ey, ep, ed(12,:), eq(12,:), 50);
es13 = beam2s(ex(13,:), ey, ep, ed(13,:), eq(13,:), 50);
es14 = beam2s(ex(14,:), ey, ep, ed(14,:), eq(14,:), 50);
es15 = beam2s(ex(15,:), ey, ep, ed(15,:), eq(15,:), 50);
es16 = beam2s(ex(16,:), ey, ep, ed(16,:), eq(16,:), 50);
es17 = beam2s(ex(17,:), ey, ep, ed(17,:), eq(17,:), 50);
es18 = beam2s(ex(18,:), ey, ep, ed(18,:), eq(18,:), 50);
es19 = beam2s(ex(19,:), ey, ep, ed(19,:), eq(19,:), 50);
es20 = beam2s(ex(20,:), ey, ep, ed(20,:), eq(20,:), 50);
es21 = beam2s(ex(21,:), ey, ep, ed(21,:), eq(21,:), 50);
es22 = beam2s(ex(22,:), ey, ep, ed(22,:), eq(22,:), 50);
es23 = beam2s(ex(23,:), ey, ep, ed(23,:), eq(23,:), 50);
es24 = beam2s(ex(24,:), ey, ep, ed(24,:), eq(24,:), 50);
es25 = beam2s(ex(25,:), ey, ep, ed(25,:), eq(25,:), 50);
es26 = beam2s(ex(26,:), ey, ep, ed(26,:), eq(26,:), 50);
es27 = beam2s(ex(27,:), ey, ep, ed(27,:), eq(27,:), 50);
es28 = beam2s(ex(28,:), ey, ep, ed(28,:), eq(28,:), 50);

% Maximalt moment för respektive element beräknas

% Maximalt fältmomentvektor
m = zeros(ne, 1);

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(11,1) = max(es11(:,3));
m(12,1) = max(es12(:,3));
m(13,1) = max(es13(:,3));
m(14,1) = max(es14(:,3));
m(15,1) = max(es15(:,3));
m(16,1) = max(es16(:,3));

```



```

m(17,1) = max(es17(:,3));
m(18,1) = max(es18(:,3));
m(19,1) = max(es19(:,3));
m(20,1) = max(es20(:,3));
m(21,1) = max(es21(:,3));
m(22,1) = max(es22(:,3));
m(23,1) = max(es23(:,3));
m(24,1) = max(es24(:,3));
m(25,1) = max(es25(:,3));
m(26,1) = max(es26(:,3));
m(27,1) = max(es27(:,3));
m(28,1) = max(es28(:,3));

```

```

% Maximalt stödmomentvektor

```

```

ms = zeros(ne,1);

```

```

ms(1,1) = min(es1(:,3));
ms(2,1) = min(es2(:,3));
ms(3,1) = min(es3(:,3));
ms(4,1) = min(es4(:,3));
ms(5,1) = min(es5(:,3));
ms(6,1) = min(es6(:,3));
ms(7,1) = min(es7(:,3));
ms(8,1) = min(es8(:,3));
ms(9,1) = min(es9(:,3));
ms(10,1) = min(es10(:,3));
ms(11,1) = min(es11(:,3));
ms(12,1) = min(es12(:,3));
ms(13,1) = min(es13(:,3));
ms(14,1) = min(es14(:,3));
ms(15,1) = min(es15(:,3));
ms(16,1) = min(es16(:,3));
ms(17,1) = min(es17(:,3));
ms(18,1) = min(es18(:,3));
ms(19,1) = min(es19(:,3));
ms(20,1) = max(es20(:,3));
ms(21,1) = max(es21(:,3));
ms(22,1) = max(es22(:,3));
ms(23,1) = max(es23(:,3));
ms(24,1) = max(es24(:,3));
ms(25,1) = max(es25(:,3));
ms(26,1) = max(es26(:,3));
ms(27,1) = max(es27(:,3));
ms(28,1) = max(es28(:,3));

```

```

[Mk, M_falt_pos] = max(m);
[Mk, M_stod_pos] = min(ms);

```

```

M_falt_max = m(M_falt_pos,1);
M_stod_max = ms(M_stod_pos,1);

```

```

if M_falt_max > M_ref_falt

```

```

    M_ref_falt = M_falt_max;
    forflyttning_max_falt_M(i,1) = j;

```

```

x1_M_falt = linspace(0 , ex(1,2) , 50);
x2_M_falt = linspace(ex(1,2) , ex(2,2) , 50);
x3_M_falt = linspace(ex(2,2) , ex(3,2) , 50);
x4_M_falt = linspace(ex(3,2) , ex(4,2) , 50);
x5_M_falt = linspace(ex(4,2) , ex(5,2) , 50);
x6_M_falt = linspace(ex(5,2) , ex(6,2) , 50);
x7_M_falt = linspace(ex(6,2) , ex(7,2) , 50);
x8_M_falt = linspace(ex(7,2) , ex(8,2) , 50);
x9_M_falt = linspace(ex(8,2) , ex(9,2) , 50);
x10_M_falt = linspace(ex(9,2) , ex(10,2) , 50);
x11_M_falt = linspace(ex(10,2) , ex(11,2) , 50);
x12_M_falt = linspace(ex(11,2) , ex(12,2) , 50);
x13_M_falt = linspace(ex(12,2) , ex(13,2) , 50);
x14_M_falt = linspace(ex(13,2) , ex(14,2) , 50);
x15_M_falt = linspace(ex(14,2) , ex(15,2) , 50);
x16_M_falt = linspace(ex(15,2) , ex(16,2) , 50);
x17_M_falt = linspace(ex(16,2) , ex(17,2) , 50);
x18_M_falt = linspace(ex(17,2) , ex(18,2) , 50);
x19_M_falt = linspace(ex(18,2) , ex(19,2) , 50);
x20_M_falt = linspace(ex(19,2) , ex(20,2) , 50);
x21_M_falt = linspace(ex(20,2) , ex(21,2) , 50);
x22_M_falt = linspace(ex(21,2) , ex(22,2) , 50);
x23_M_falt = linspace(ex(22,2) , ex(23,2) , 50);
x24_M_falt = linspace(ex(23,2) , ex(24,2) , 50);
x25_M_falt = linspace(ex(24,2) , ex(25,2) , 50);
x26_M_falt = linspace(ex(25,2) , ex(26,2) , 50);
x27_M_falt = linspace(ex(26,2) , ex(27,2) , 50);
x28_M_falt = linspace(ex(27,2) , ex(28,2) , 50);

M1_falt = es1( :,3);
M2_falt = es2( :,3);
M3_falt = es3( :,3);
M4_falt = es4( :,3);
M5_falt = es5( :,3);
M6_falt = es6( :,3);
M7_falt = es7( :,3);
M8_falt = es8( :,3);
M9_falt = es9( :,3);
M10_falt = es10(:,3);
M11_falt = es11(:,3);
M12_falt = es12(:,3);
M13_falt = es13(:,3);
M14_falt = es14(:,3);
M15_falt = es15(:,3);
M16_falt = es16(:,3);
M17_falt = es17(:,3);
M18_falt = es18(:,3);
M19_falt = es19(:,3);
M20_falt = es20(:,3);
M21_falt = es21(:,3);
M22_falt = es22(:,3);
M23_falt = es23(:,3);
M24_falt = es24(:,3);
M25_falt = es25(:,3);
M26_falt = es26(:,3);
M27_falt = es27(:,3);

```

```

M28_falt = es28(:,3);

end

if M_stod_max < M_ref_stod

M_ref_stod = M_stod_max;
forflyttning_max_stod_M(i,1) = j;

x1_M_stod = linspace(0 , ex(1,2) , 50);
x2_M_stod = linspace(ex(1,2) , ex(2,2) , 50);
x3_M_stod = linspace(ex(2,2) , ex(3,2) , 50);
x4_M_stod = linspace(ex(3,2) , ex(4,2) , 50);
x5_M_stod = linspace(ex(4,2) , ex(5,2) , 50);
x6_M_stod = linspace(ex(5,2) , ex(6,2) , 50);
x7_M_stod = linspace(ex(6,2) , ex(7,2) , 50);
x8_M_stod = linspace(ex(7,2) , ex(8,2) , 50);
x9_M_stod = linspace(ex(8,2) , ex(9,2) , 50);
x10_M_stod = linspace(ex(9,2) , ex(10,2) , 50);
x11_M_stod = linspace(ex(10,2) , ex(11,2) , 50);
x12_M_stod = linspace(ex(11,2) , ex(12,2) , 50);
x13_M_stod = linspace(ex(12,2) , ex(13,2) , 50);
x14_M_stod = linspace(ex(13,2) , ex(14,2) , 50);
x15_M_stod = linspace(ex(14,2) , ex(15,2) , 50);
x16_M_stod = linspace(ex(15,2) , ex(16,2) , 50);
x17_M_stod = linspace(ex(16,2) , ex(17,2) , 50);
x18_M_stod = linspace(ex(17,2) , ex(18,2) , 50);
x19_M_stod = linspace(ex(18,2) , ex(19,2) , 50);
x20_M_stod = linspace(ex(19,2) , ex(20,2) , 50);
x21_M_stod = linspace(ex(20,2) , ex(21,2) , 50);
x22_M_stod = linspace(ex(21,2) , ex(22,2) , 50);
x23_M_stod = linspace(ex(22,2) , ex(23,2) , 50);
x24_M_stod = linspace(ex(23,2) , ex(24,2) , 50);
x25_M_stod = linspace(ex(24,2) , ex(25,2) , 50);
x26_M_stod = linspace(ex(25,2) , ex(26,2) , 50);
x27_M_stod = linspace(ex(26,2) , ex(27,2) , 50);
x28_M_stod = linspace(ex(27,2) , ex(28,2) , 50);

M1_stod = es1( :,3);
M2_stod = es2( :,3);
M3_stod = es3( :,3);
M4_stod = es4( :,3);
M5_stod = es5( :,3);
M6_stod = es6( :,3);
M7_stod = es7( :,3);
M8_stod = es8( :,3);
M9_stod = es9( :,3);
M10_stod = es10(:,3);
M11_stod = es11(:,3);
M12_stod = es12(:,3);
M13_stod = es13(:,3);
M14_stod = es14(:,3);
M15_stod = es15(:,3);
M16_stod = es16(:,3);
M17_stod = es17(:,3);
M18_stod = es18(:,3);

```

```

        M19_stod = es19(:,3);
        M20_stod = es20(:,3);
        M21_stod = es21(:,3);
        M22_stod = es22(:,3);
        M23_stod = es23(:,3);
        M24_stod = es24(:,3);
        M25_stod = es25(:,3);
        M26_stod = es26(:,3);
        M27_stod = es27(:,3);
        M28_stod = es28(:,3);

    end

end

M_maximal_falt = M_ref_falt;
M_maximal_stod = M_ref_stod;
Moment_Max_falt(i,1) = M_maximal_falt;
Moment_Max_stod(i,1) = M_maximal_stod;

% Plotta fältmomentdiagram
figure(1)
color = ['r', 'g', 'b', 'c'];

plotcolor(i) = plot(x1_M_falt, M1_falt, color(i));
hold on
plot(x2_M_falt , M2_falt , color(i));
plot(x3_M_falt , M3_falt , color(i));
plot(x4_M_falt , M4_falt , color(i));
plot(x5_M_falt , M5_falt , color(i));
plot(x6_M_falt , M6_falt , color(i));
plot(x7_M_falt , M7_falt , color(i));
plot(x8_M_falt , M8_falt , color(i));
plot(x9_M_falt , M9_falt , color(i));
plot(x10_M_falt, M10_falt, color(i));
plot(x11_M_falt, M11_falt, color(i));
plot(x12_M_falt, M12_falt, color(i));
plot(x13_M_falt, M13_falt, color(i));
plot(x14_M_falt, M14_falt, color(i));
plot(x15_M_falt, M15_falt, color(i));
plot(x16_M_falt, M16_falt, color(i));
plot(x17_M_falt, M17_falt, color(i));
plot(x18_M_falt, M18_falt, color(i));
plot(x19_M_falt, M19_falt, color(i));
plot(x20_M_falt, M20_falt, color(i));
plot(x21_M_falt, M21_falt, color(i));
plot(x22_M_falt, M22_falt, color(i));
plot(x23_M_falt, M23_falt, color(i));
plot(x24_M_falt, M24_falt, color(i));
plot(x25_M_falt, M25_falt, color(i));
plot(x26_M_falt, M26_falt, color(i));
plot(x27_M_falt, M27_falt, color(i));
plot(x28_M_falt, M28_falt, color(i));

b1 = linspace(0, 21.2, 50);
M29 = linspace(0, 0, 50);

```

```

plot(b1, M29, 'k', 'Linewidth', 1)
hold on
ax = gca;
ax.YDir = 'reverse';

title('Fältmoment för ogynnsam placering i tvärled')
axis([0 21.2 -1.5e5 1.5e5])
ticksx = zeros(42,1);
ticksx(1,1)=0;
for o=1:41
    ticksx(o+1,1)=0.5+0.5*(o-1);
end
xticks(ticksx)
ticksy = linspace(-1.5e5, 1.5e5, 4*(mod(1.5--1.5,0))+1);
yticks(ticksy)
grid on
grid minor
hold all
xlabel('Brolängd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')

% Plottar stödmoment
figure(2)
color = ['r', 'g', 'b', 'c'];

plotcolor(i) = plot(x1_M_stod, M1_stod, color(i));
hold on
plot(x2_M_stod , M2_stod , color(i));
plot(x3_M_stod , M3_stod , color(i));
plot(x4_M_stod , M4_stod , color(i));
plot(x5_M_stod , M5_stod , color(i));
plot(x6_M_stod , M6_stod , color(i));
plot(x7_M_stod , M7_stod , color(i));
plot(x8_M_stod , M8_stod , color(i));
plot(x9_M_stod , M9_stod , color(i));
plot(x10_M_stod, M10_stod, color(i));
plot(x11_M_stod, M11_stod, color(i));
plot(x12_M_stod, M12_stod, color(i));
plot(x13_M_stod, M13_stod, color(i));
plot(x14_M_stod, M14_stod, color(i));
plot(x15_M_stod, M15_stod, color(i));
plot(x16_M_stod, M16_stod, color(i));
plot(x17_M_stod, M17_stod, color(i));
plot(x18_M_stod, M18_stod, color(i));
plot(x19_M_stod, M19_stod, color(i));
plot(x20_M_stod, M20_stod, color(i));
plot(x21_M_stod, M21_stod, color(i));
plot(x22_M_stod, M22_stod, color(i));
plot(x23_M_stod, M23_stod, color(i));
plot(x24_M_stod, M24_stod, color(i));
plot(x25_M_stod, M25_stod, color(i));
plot(x26_M_stod, M26_stod, color(i));
plot(x27_M_stod, M27_stod, color(i));
plot(x28_M_stod, M28_stod, color(i));

b1 = linspace(0, 21.2, 50);

```

```

M29 = linspace(0, 0, 50);

plot(b1, M29, 'k', 'Linewidth', 1)
hold on
ax = gca;
ax.YDir = 'reverse';

title('Stödmoment för ogynnsam placering i tvärled')
axis([0 21.2 -1.5e5 1.5e5])
ticksx = zeros(42,1);
ticksx(1,1)=0;
for o=1:41
    ticksx(o+1,1)=0.5+0.5*(o-1);
end
xticks(ticksx)
ticksy = linspace(-1.5e5, 1.5e5, 4*(mod(1.5--1.5,0))+1);
yticks(ticksy)
grid on
grid minor
hold all
xlabel('Brolängd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')

if i==4

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

end

end

table(Moment_Max_falt/1000, Moment_Max_stod/1000, 'VariableNames',
{'Moment_i_falt_kNm' 'Moment_stod_kNm'}, 'rownames', label)

```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Bilaga K – Tvärled filfaktorer & tvärkraft

```
clc
close all
clear all

L = 1; % Beräkningar görs per längdmeter

% Geometri och mtrl.egenskaper
n_ba = 14; % Antal längsgående balkar [st]
h_p = 0.3; % Plattans höjd [m]
h_be = 0.1; % Beläggningens tjocklek[m]
h_kb = 0.5; % Kantbalkens höjd [m]
b_p = 20.0; % Plattans bredd [m]
A_p = L * h_p; % Plattans area [m^2]
A_ba = 0.44; % Balkens(arnas) tvärsnittarea [m^2]
I_p = L * h_p^3/12; % Yttröghetsmoment platta [m^4]
E_cm = 39e9; % C60/75 [Pa]
ep = [E_cm A_p I_p]; % Elementegenskaper

% Tungheter
th_p = 25000; % Tunghet platta [N/m^3]
th_ba = th_p; % Tunghet balk [N/m^3]
th_be = 22000; % Tunghet beläggning [N/m^3]

% Egentyngd
g_p = -(L * h_p * th_p + L * h_be * th_be); % Egentyngd platta [N/m]
g_kb = -L * h_kb * th_p; % Egentyngd kantbalk [N/m]
g_ba = -L * A_ba * th_ba; % Egentyngd balk [N]
```

Lastkombinationer enligt SS-EN 1990 & 1991-2

```
% Lastkoefficienter
alfaQ1 = 0.9;
alfaQ2 = 0.9;
alfaQ3 = 0.0;

alfaqa1 = 0.8;
alfaqa2 = 1.0;
alfaqa3 = 1.0;

% Med w = 9.5 m ges n1 = 9.5/3 = 3 körfält. Återstående
% vägbanbredd blir 0.5 m
% Då endast en meterstrimma i längsled studeras kommer bara en axellast få
% plats

% Punktlaster
Q1 = -150e3*alfaQ1; % [N]
Q2 = -100e3*alfaQ2; % [N]
Q3 = -50e3*alfaQ3; % [N]

% Utbredda laster
q1 = -L*9e3*alfaqa1; % [N/m]
```

```

q2 = -L*2.5e3*alfa2; % [N/m]
q3 = -L*2.5e3*alfa3; % [N/m]

```

Ogynnsam lastkombination

```

% Partialkoefficienter
gamma_G = 1.35; % Permanent last
gamma_Q = 1.5; % Variabel last
gamma_P = 1.3; % Spännkraft

% Lastreduktionstal
% Kombinationsvärde, boggisystem [-]
psi_0_b = 0.75;
psi_1_b = 0.75;
psi_2_b = 0;

% Kombinationsvärde, utbredd last [-]
psi_0_u = 0.4;
psi_1_u = 0.4;
psi_2_u = 0;

% Reduktionsfaktor [-]
xi = 0.89;

% Förallokera tre vektorer för att lagra resultat från varje
% lastkombination
Tvarkraft = zeros(4,1);
filfaktor_punkt = zeros(4,1);
filfaktor_utbredd = zeros(4,1);

for i=1:4

    if i == 1 % Lastkombination för brottgränstillstånd

        % Brottgränstillstånd enligt ekv 6.10a SS-EN 1990
        Ed_ba = gamma_G * (g_p + 2 * g_kb) + gamma_P * n_ba * g_ba + gamma_Q *
        (psi_0_b * (Q1 + Q2 + Q3) + psi_0_u * 3 * (q1 + q2 + q3));

        % Brottgränstillstånd enligt ekv 6.10b SS-EN 1990
        Ed_bb = xi * gamma_G * (g_p + 2 * g_kb) + gamma_P * n_ba * g_ba + gamma_Q *
        ((Q1 + 3 * q1) + psi_0_b * (Q2 + Q3) + psi_0_u * 3 * (q2 + q3));

        % Kontrollera vilken av de två kombinationerna som är minst gynnsam
        if abs(Ed_ba) > abs(Ed_bb)

            gba = gamma_G * g_ba;
            gkb = gamma_G * g_kb;
            gp = gamma_G * g_p;
            q_1 = gamma_Q * psi_0_u * q1;
            q_2 = gamma_Q * psi_0_u * q2;
            q_3 = gamma_Q * psi_0_u * q3;
            Q_1 = gamma_Q * psi_0_b * Q1;
            Q_2 = gamma_Q * psi_0_b * Q2;
            Q_3 = gamma_Q * psi_0_b * Q3;

```



```

elseif abs(Edbb) > abs(Edba)

    gba = xi * gammaG * gba;
    gkb = xi * gammaG * gkb;
    gp = xi * gammaG * gp;
    q1 = gammaQ * q1;
    q2 = gammaQ * psi0_u * q2;
    q3 = gammaQ * psi0_u * q3;
    Q1 = gammaQ * Q1;
    Q2 = gammaQ * psi0_b * Q2;
    Q3 = gammaQ * psi0_b * Q3;

end

elseif i == 2 % Karakteristisk lastkombination

% Karakteristisk lastkombination enligt ekv 6.14b SS-EN 1990
Edkar = gp + 2 * gkb + nba * gba + 3 * q1 + Q1 + psi0_u * 3 * (q2 + q3)
+ psi0_b * (Q2 + Q3);

gba = gba;
gkb = gkb;
gp = gp;
q1 = q1;
q2 = psi0_u * q2;
q3 = psi0_u * q3;
Q1 = Q1;
Q2 = psi0_b * Q2;
Q3 = psi0_b * Q3;

elseif i == 3 % Frekvent lastkombination

% Frekvent lastkombination enligt ekv 6.15b SS-EN 1990
Edfrek = gp + 2 * gkb + nba * gba + psi1_u * 3 * q1 + psi1_b * Q1 +
psi2_u * 3 * (q2 + q3) + psi2_b * (Q2 + Q3);

gba = gba;
gkb = gkb;
gp = gp;
q1 = psi1_u * q1;
q2 = psi2_u * q2;
q3 = psi2_u * q3;
Q1 = psi1_b * Q1;
Q2 = psi2_b * Q2;
Q3 = psi2_b * Q3;

elseif i == 4 % Kvasipermanent lastkombination

% Kvasipermanent lastkombination enligt ekv 6.16b SS-EN 1990
Edkvasi = gp + 2 * gba + nba * gba + psi2_u * 3 * (q2 + q3) + psi2_b *
(Q2 + Q3);

gba = gba;
gkb = gkb;
gp = gp;

```

```

q_1 = 0;
q_2 = psi_2_u * q2;
q_3 = psi_2_u * q3;
Q_1 = 0;
Q_2 = psi_2_b * Q2;
Q_3 = psi_2_b * Q3;

end

% Skapa matris med frihetsgrader
for k = 1:4
    Edof(k,:) = [k 3*k-2 3*k-1 3*k 3*k+1 3*k+2 3*k+3];
end

ndof = max(Edof(:,end)); % Antal frihetsgrader
ne = max(Edof(:,1)); % Antal element

% Förallokering av styvhetsmatris & lastvektor
K = zeros(ndof);
f = zeros(ndof, 1);

ex1 = [0 0.45];
ex2 = [0.45 0.95];
ex3 = [0.95 1.45];
ex4 = [1.45 2.9];

eq = [0 g_p + q_2;
      0 g_p + q_2;
      0 g_p + q_1;
      0 g_p + q_1];

f(2) = gba;
f(5) = Q_2;
f(11) = Q_1 + gba;
f(14) = gba;

bc = [1 0;
      2 0;
      11 0;
      14 0];

ex = [ex1; ex2; ex3; ex4];
ey = [0 0];

for l=1:ne
    [ke, fe] = beam2e(ex(l,:), ey, ep, eq(l,:));
    [K, f] = assem(Edof(l,:), K, ke, f, fe);
end

[a, fb] = solveq(K, f, bc);

Tvarkraft(i,1) = max(abs(fb));

```

```

% Filfaktor - Punktlaster
filfaktor_punkt(i,1) = (Q_1 + gba) / (2 * (Q_1 + Q_2 + Q_3) + gba * n_ba);

% Filfaktor - Utbredda laster
filfaktor_utbredd(i,1) = (gp + 1.45/3*q_1) / (q_1 + q_2 + q_3 + gp * b_p + 2 * gkb);

end

label = {'Brottgränstillstånd', 'Karakteristisk last', 'Frekvent last',
'Kvasipermanent last'};
disp(table(filfaktor_punkt, filfaktor_utbredd, 'VariableNames', {'Filfaktor_punkt',
'Filfaktor_utbredd'}, 'rownames', label))
disp(table(Tvarkraft/1000, 'VariableNames', {'Tvarkraft_kN'}, 'rownames', label))

```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Bilaga L – Längsled lasteffekt

```
clc
clear all
close all

L = 25;          % Spännvidd [m]

% Egentyngd

h_p = 0.3;      % Plattans tjocklek [m]
h_be = 0.1;     % Beläggnings tjocklek [m]
h_kb = 0.5;     % Kantbalkens tjocklek [m]
B_p = 20.0;    % Plattans bredd [m]
B_kb = 0.6;    % Kantbalkens bredd [m]

A_ba = 0.44;   % Balkens(arnas) tvärsnittarea [m^2]

th_p = 25000;  % Tunghet platta [N/m^3]
th_kb = th_p;  % Tunghet kantbalk [N/m^3]
th_ba = th_p;  % Tunghet balk [N/m^3]
th_be = 22000; % Tunghet beläggning [N/m^3]

g_p = -(B_p * h_p * th_p + B_p * h_be * th_be); % Egentyngd platta [N/m]
g_kb = -B_kb * h_kb * th_kb;                  % Egentyngd kantbalk [N/m]
g_ba = -A_ba * th_ba;                         % Egentyngd balk [N/m]

% Laster enligt SS-EN 1991-2
% Beräkningar görs per längdmeter där endast ett axelpar ryms

% Lastkoefficienter

alfaQ1 = 0.9;
alfaQ2 = 0.9;
alfaQ3 = 0.0;

alfaq1 = 0.8;
alfaq2 = 1.0;
alfaq3 = 1.0;

% Tandemlasterna för lastfält 1 och 2 summeras då spännvidden för bron är
% mer än 10 m
Q1 = -2 * 300e3 * alfaQ1; % [N]
Q2 = -2 * 200e3 * alfaQ2; % [N]
Q3 = -2 * 100e3 * alfaQ3; % [N]

% Utbredda laster

q1 = -9e3*alfaQ1; % [N/m]
q2 = -2.5e3*alfaQ2; % [N/m]
q3 = -2.5e3*alfaQ3; % [N/m]

% Laster
```

```

n_ba = 14;          % Antal balkar [st]

ep = [1 1 1];      % Element egenskaper

% Partialkoefficienter
gamma_G = 1.35; % Permanent last
gamma_Q = 1.5;  % Variabel last
gamma_P = 1.3;  % Spännkraft

% Lastreduktionsstal
psi_0_b = 0.75; % Kombinationsvärde boggsystem [-]
psi_1_b = 0.75;
psi_2_b = 0;

psi_0_u = 0.4; % Kombinationsvärde för utbredd last [-]
psi_1_u = 0.4;
psi_2_u = 0;

xi = 0.89;        % Reduktionsfaktor

% Filfaktorer för olika lastkombinationer för punktlast respektive utbredd
% last. Beräknade i "Tvarled_filfaktorer_tvarkraft"

ff_brott_p = 0.26382;
ff_brott_u = 0.060935;
ff_kar_p   = 0.25191;
ff_kar_u   = 0.057756;
ff_frek_p  = 0.29673;
ff_frek_u  = 0.049991;
ff_kvas_p  = 0.071429;
ff_kvas_u  = 0.044292;

forflyttning_max_M = zeros(4,1);
forflyttning_max_T = zeros(4,1);
Moment_Max = zeros(4,1);
Tvarkraft_Max = zeros(4,1);
nedb = 0;

for i=1:4

    if i == 1 % Lastkombination för brottgränstillstånd

        % ekv 6.10a SS-EN 1990
        Ed_a = gamma_G * (g_p + 2 * g_kb) + gamma_G * n_ba * g_ba + gamma_Q * psi_0_b
        * (Q1 + Q2 + Q3) + gamma_Q * psi_0_u * 3 * (q1 + q2 + q3);

        % ekv 6.10b SS-EN 1990
        Ed_b = xi * gamma_G * (g_p + 2 * g_kb) + gamma_G * n_ba * g_ba + gamma_Q * (Q1
        + Q2 + Q3 + 3 * (q1 + q2 + q3));

        if abs(Ed_a) > abs(Ed_b)

            gba = gamma_G * g_ba * n_ba * ff_brott_u;
            gkb = gamma_G * g_kb * 2 * ff_brott_u;
            gp  = gamma_G * g_p * ff_brott_u;

```

```

    q_1 = gamma_Q*psi_0_u*q1*ff_brott_u;
    q_2 = gamma_Q*psi_0_u*q2*ff_brott_u;
    q_3 = gamma_Q*psi_0_u*q3*ff_brott_u;
    Q_1 = gamma_G*psi_0_b*Q1*ff_brott_p;
    Q_2 = gamma_G*psi_0_b*Q2*ff_brott_p;
    Q_3 = gamma_G*psi_0_b*Q3*ff_brott_p;

elseif abs(Ed_b) > abs(Ed_a)

    gba = xi*gamma_G*g_ba*n_ba*ff_brott_u;
    gkb = xi*gamma_G*g_kb*2*ff_brott_u;
    gp = xi*gamma_G*g_p*ff_brott_u;
    q_1 = gamma_Q*psi_0_u*q1*ff_brott_u;
    q_2 = gamma_Q*psi_0_u*q2*ff_brott_u;
    q_3 = gamma_Q*psi_0_u*q3*ff_brott_u;
    Q_1 = gamma_G*psi_0_b*Q1*ff_brott_p;
    Q_2 = gamma_G*psi_0_b*Q2*ff_brott_p;
    Q_3 = gamma_G*psi_0_b*Q3*ff_brott_p;

end

elseif i == 2 % Karakteristisk lastkombination

% ekv 6.14b SS-EN 1990
Ed_kar = g_p + 2 * g_kb + n_ba * g_ba + 3 * q1 + Q1 + psi_0_u * 3 * (q2 + q3)
+ psi_0_b*(Q2 + Q3);

    gba = g_ba * n_ba*ff_kar_u;
    gkb = g_kb * 2*ff_kar_u;
    gp = g_p*ff_kar_u;
    q_1 = q1*ff_kar_u;
    q_2 = psi_0_u*q2*ff_kar_u;
    q_3 = psi_0_u*q3*ff_kar_u;
    Q_1 = Q1*ff_kar_p;
    Q_2 = psi_0_b*Q2*ff_kar_p;
    Q_3 = psi_0_b*Q3*ff_kar_p;

elseif i == 3 % Frekvent lastkombination

% ekv 6.15b SS-EN 1990
Ed_frek = g_p + 2 * g_kb + n_ba * g_ba + psi_1_u * 3 * q1 + psi_1_b * Q1 +
psi_2_u * 3 * (q2 + q3) + psi_2_b * (Q2 + Q3);

    gba = g_ba * n_ba * ff_frek_u;
    gkb = g_kb * 2 * ff_frek_u;
    gp = g_p * ff_frek_u;
    q_1 = psi_1_u * q1*ff_frek_u;
    q_2 = psi_2_u * q2*ff_frek_u;
    q_3 = psi_2_u * q3*ff_frek_u;
    Q_1 = psi_1_b * Q1*ff_frek_p;
    Q_2 = psi_2_b * Q2*ff_frek_p;
    Q_3 = psi_2_b * Q3*ff_frek_p;

elseif i == 4 % Kvasipermanent lastkombination

% ekv 6.16b SS-EN 1990

```

```

Ed_kvasi = g_p + 2 * g_ba + n_ba * g_ba + psi_2_u * 3 * (q2 + q3) + psi_2_b *
(Q2 + Q3);

g_ba = g_ba * n_ba*ff_kvas_u;
g_kb = g_kb * 2*ff_kvas_u;
g_p = g_p*ff_kvas_u;
q_1 = 0*ff_kvas_u;
q_2 = psi_2_u * q2*ff_kvas_u;
q_3 = psi_2_u * q3*ff_kvas_u;
Q_1 = 0*ff_kvas_p;
Q_2 = psi_2_b * Q2*ff_kvas_p;
Q_3 = psi_2_b * Q3*ff_kvas_p;

end

g_bro = g_p + g_kb + g_ba;
g_trafik = q_1 + q_2 + q_3;
Q_trafik = Q_1 + Q_2 + Q_3;

T_ref = 0; % Referenspunkt för att beräkna maximal tvärkraft i fält
M_ref = 0; % Referenspunkt för att beräkna maximalt moment i fält

for j=0:0.01:L/2 % Steglängd 1 cm

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];
ndof = max(Edof(:,end)); % Antal frihetsgrader
ne = max(Edof(:,1)); % Antal element

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

if j == 0

ex1 = [0 1.5];
ex2 = [1.5 2];
ex3 = [2 3];
ex4 = [3 L];

f(2) = Q_trafik;

eq = [0 g_bro + g_trafik;
      0 g_bro;
      0 g_bro;
      0 g_bro];

elseif j > 0 && j <= 1.5

ex1 = [0 j];
ex2 = [j j+1.5];
ex3 = [j+1.5 4];
ex4 = [4 L];

```

```

f(5) = Q_trafik;

eq = [0 g_bro + g_trafik;
      0 g_bro + g_trafik;
      0 g_bro;
      0 g_bro];

elseif j > 1.5

ex1 = [0 j-1.5];
ex2 = [j-1.5 j];
ex3 = [j j+1.5];
ex4 = [j+1.5 L];

eq = [0 g_bro;
      0 g_bro + g_trafik;
      0 g_bro + g_trafik;
      0 g_bro];

f(8) = Q_trafik;

end

ex = [ex1; ex2; ex3; ex4];
ey = [0 0];

bc = [1 0;
      2 0;
      14 0];

% Assemblera global styvhetsmatrixis
for l=1:ne
    [Ke, fe] = beam2e(ex(l,:), ey, ep, eq(l,:));
    [K, f] = assem(Edof(l,:), K, Ke, f, fe);
end

[a, fb] = solveq(K, f, bc);
ed = extract(Edof, a);

% Ta fram snittkrafter
es1 = beam2s(ex(1,:), ey, ep, ed(1,:), eq(1,:), 50);
es2 = beam2s(ex(2,:), ey, ep, ed(2,:), eq(2,:), 50);
es3 = beam2s(ex(3,:), ey, ep, ed(3,:), eq(3,:), 50);
es4 = beam2s(ex(4,:), ey, ep, ed(4,:), eq(4,:), 50);

m = zeros(ne, 1);
t = zeros(ne, 1);

% Maximalt moment för respektive element beräknas
m(1,1) = max(es1(:,3));
m(2,1) = max(es2(:,3));
m(3,1) = max(es3(:,3));
m(4,1) = max(es4(:,3));

% Maximal tvärkraft för respektive element beräknas
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)));

[Tk, T_pos] = max(t);
[Mk, M_pos] = max(m);

M_max = m(M_pos,1);
T_max = t(T_pos,1);

if M_max > M_ref

    M_ref = M_max;
    forflyttning_max_M(i,1) = j;
    Moment_Max(i,1) = M_ref;

    x1_M = linspace(0, ex(1,2), 50);
    x2_M = linspace(ex(1,2), ex(2,2), 50);
    x3_M = linspace(ex(2,2), ex(3,2), 50);
    x4_M = linspace(ex(3,2), ex(4,2), 50);

    M1 = es1(:,3);
    M2 = es2(:,3);
    M3 = es3(:,3);
    M4 = es4(:,3);

end

if T_max > T_ref

    T_ref = T_max;
    forflyttning_max_T(i,1) = j;
    Tvarkraft_Max(i,1) = T_ref;

    x1_T = linspace(0, ex(1,2), 50);
    x2_T = linspace(ex(1,2), ex(2,2), 50);
    x3_T = linspace(ex(2,2), ex(3,2), 50);
    x4_T = linspace(ex(3,2), ex(4,2), 50);

    T1 = es1(:,2);
    T2 = es2(:,2);
    T3 = es3(:,2);
    T4 = es4(:,2);

end
end

% Plotta momentdiagram
figure(1)
color = ['r', 'g', 'b', 'c'];

plotcolor(i) = plot(x1_M, M1, color(i));
hold on
plot(x2_M, M2, color(i));
plot(x3_M, M3, color(i));
plot(x4_M, M4, color(i))

```

```

b1 = linspace(0, L, 50);
M20 = linspace(0, 0, 50);

plot(b1, M20, 'k', 'Linewidth', 1)
hold on
ax = gca;
ax.YDir = 'reverse';

title('Moment för ogynnsam placering i längsled')
axis([0 L -0.25e7 0.5e7])
ticksx = zeros(51,1);
ticksx(1,1)=0;
for o=1:50
    ticksx(o+1,1)=0.5+0.5*(o-1);
end
xticks(ticksx)
ticksy = linspace(-0.25e7, 0.5e7, 8*mod(0.5--0.25,0)+1);
yticks(ticksy)
grid on
xlabel('Brolängd [m]')
ylabel('Moment [Nm]')

if i==4

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

% Plotta tvärkraftsdiagram
figure(2)
color = ['r', 'g', 'b', 'c'];

plotcolor(i) = plot(x1_T, T1, color(i));
hold on
plot(x2_T, T2, color(i));
plot(x3_T, T3, color(i));
plot(x4_T, T4, color(i));

b1 = linspace(0, L, 50);
M20 = linspace(0, 0, 50);

plot(b1, M20, 'k', 'Linewidth', 1)

title('Tvärkraft för ogynnsam placering i längsled')
axis([0 L -0.75e6 0.75e6])
ticksx = zeros(51,1);
ticksx(1,1)=0;
for o=1:50
    ticksx(o+1,1)=0.5+0.5*(o-1);
end
xticks(ticksx)
ticksy = linspace(-0.75e6, 0.75e6, 4*mod(0.75--0.75,0)+1);

```

```

yticks(ticksy)
grid on
grid minor
xlabel('Brolängd [m]')
ylabel('Tvärkraft [N]')

if i==4

    legend([plotcolor(1) plotcolor(2) plotcolor(3) plotcolor(4)], label,
'Location', 'southeast')

end

Tvarkraft(i) = T_ref;
Moment(i)    = M_ref;

end

table((Moment/1000)', (Tvarkraft/1000)', 'variableNames', {'Moment_kNm'
'Stodreaktion_kN'}, 'rownames', label)
disp('Längsled')

```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Bilaga M – Tvärled nedböjning

```
clc
close all
clear all

L = 1; % Beräkningar görs per längdmeter

% Geometri och mtrl.egenskaper
n_ba = 14; % Antal längsgående balkar [st]
h_p = 0.3; % Plattans höjd [m]
h_be = 0.1; % Beläggnings tjocklek[m]
h_kb = 0.5; % Kantbalkens höjd [m]
b_p = 20.0; % Plattans bredd [m]
A_p = L * h_p; % Plattans area [m^2]
A_ba = 0.44; % Balkens(arnas) tvärsnittarea [m^2]
I_p = L * h_p^3/12; % Yttröghetsmoment platta [m^4]
E_cm = 39e9; % C60/75 [Pa]
ep = [E_cm A_p I_p]; % Elementegenskaper

% Tungheter
th_p = 25000; % Tunghet platta [N/m^3]
th_ba = th_p; % Tunghet balk [N/m^3]
th_be = 22000; % Tunghet beläggning [N/m^3]

% Egentyngd
g_p = -(L * h_p * th_p + L * h_be * th_be); % Egentyngd platta [N/m]
g_kb = -L * h_kb * th_p; % Egentyngd kantbalk [N/m]
g_ba = -L * A_ba * th_ba; % Egentyngd balk [N]
```

Lastkombinationer enligt SS-EN 1990 & 1991-2

```
% Lastkoefficienter
alfaQ1 = 0.9;
alfaQ2 = 0.9;
alfaQ3 = 0.0;

alfaq1 = 0.8;
alfaq2 = 1.0;
alfaq3 = 1.0;

% Med w = 9.5 m ges n1 = 9.5/3 = 3 körfält. Återstående
% vägbanbredd blir 0.5 m

% Punktlaster
Q1 = -300e3*alfaQ1; % [N]
Q2 = -200e3*alfaQ2; % [N]
Q3 = -100e3*alfaQ3; % [N]

% Utbredda laster
q1 = -L*9e3*alfaQ1; % [N/m]
q2 = -L*2.5e3*alfaQ2; % [N/m]
q3 = -L*2.5e3*alfaQ3; % [N/m]
```

Ogynnsam lastkombination

```
% Partialkoefficienter
gamma_G = 1.35; % Permanent last
gamma_Q = 1.5; % Variabel last
gamma_P = 1.3; % Spännkraft

% Lastreduktionstal
% Kombinationsvärde, boggisystem [-]
psi_0_b = 0.75;
psi_1_b = 0.75;
psi_2_b = 0;

% Kombinationsvärde, utbredd last [-]
psi_0_u = 0.4;
psi_1_u = 0.4;
psi_2_u = 0;

% Reduktionsfaktor [-]
xi = 0.89;

% Frekvent lastkombination enligt ekv 6.15b SS-EN 1990
Ed_frek = g_p + 2 * g_kb + n_ba * g_ba + psi_1_u * 3 * q1 + psi_1_b * Q1 + psi_2_u * 3
 * (q2 + q3) + psi_2_b * (Q2 + Q3);

gba = g_ba * n_ba;
gkb = g_kb * 2;
gp = g_p;
q_1 = psi_1_u * q1;
q_2 = psi_2_u * q2;
q_3 = psi_2_u * q3;
Q_1 = psi_1_b * Q1;
Q_2 = psi_2_b * Q2;
Q_3 = psi_2_b * Q3;

% Vektorer för att ändra lastfältens ordningsföljd för att undersöka
% vilket lastfall som ger störst lasteffekt
q = [q_1, q_2, q_3];
Q = [Q_1, Q_2, Q_3];

nedb = 0;

for j = 0:0.01:0.5

    % Skapa matris med frihetsgrader
    for k = 1:28
        Edof(k,:) = [k 3*k-2 3*k-1 3*k 3*k+1 3*k+2 3*k+3];
    end

    ndof = max(Edof(:,end)); % Antal frihetsgrader
    ne = max(Edof(:,1)); % Antal element

    % Förallokering av styvhetsmatris & lastvektor
    K = zeros(ndof);
    f = zeros(ndof, 1);
```

```
% Iom att vissa punktlaster vid särskilda steg sammanfaller med
% balkarna (stöden) krävs flera olika elementuppsättningar vilket
% löses med följande if-sats.
```

```
if j == 0
```

```
ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk          dof:
ex2 = [0.6    0.9]; % LF1 börjar - extra nod
ex3 = [0.9    1.1]; % extra nod - balk 1 & PL1
ex4 = [1.1    1.9]; % balk 1 & PL1 - extra nod 11
ex5 = [1.9    2.55]; % extra nod - balk 2      14
ex6 = [2.55   3.1]; % balk 2 - PL1           17
ex7 = [3.1    3.6]; % PL1 - LF1 slutar       20
ex8 = [3.6    4.0]; % LF2 börjar - balk 3     23
ex9 = [4.0    4.1]; % balk 3 - PL2           26
ex10 = [4.1   5.45]; % PL2 - balk 4           29
ex11 = [5.45  6.1]; % balk 4 - PL2           32
ex12 = [6.1   6.6]; % PL2 - LF2 slutar       35
ex13 = [6.6   6.9]; % LF3 börjar - balk 5     38
ex14 = [6.9   7.1]; % balk 5 - PL3           41
ex15 = [7.1   8.35]; % PL3 - balk 6           44
ex16 = [8.35  9.1]; % balk 6 - PL3           47
ex17 = [9.1   9.6]; % PL3 - LF3 slutar       50
ex18 = [9.6   9.8]; % LF3 slutar - balk 7     53
ex19 = [9.8   10.6]; % balk 7 - bromitt       56
ex20 = [10.6  11.4]; % bromitt - balk 8       59
ex21 = [11.4  12.85]; % balk 8 - balk 9       62
ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10       65
ex23 = [14.3  15.75]; % balk 10 - balk 11     68
ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12     71
ex25 = [17.2  18.65]; % balk 12 - balk 13    74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14    77
ex27 = [20.1  20.6]; % balk 14 - kantbalk     80
ex28 = [20.6  21.2]; % kantbalk
```

```
% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
```

```
eq = [0 gkb; % element
      0 gp+q(1); % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(3); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp; % 18
```

```

0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gkb];

% Korresponderande lastvektor för punktlaster
f(11) = Q(1)+gba;
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(41) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(56) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

% Randvillkor
bc = [10 0;
11 0;
17 0;
26 0;
32 0;
41 0;
47 0;
56 0;
62 0;
65 0;
68 0;
71 0;
74 0;
77 0;
80 0];

elseif j > 0 && j < 0.2

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j 1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11

```

```

ex5 = [1.1+j 2.55]; % PL1 - balk 2      14
ex6 = [2.55 3.1+j]; % balk 2 - PL1     17
ex7 = [3.1+j 3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar 20
ex8 = [3.6+j 4.0]; % LF2 börjar - balk 3 23
ex9 = [4.0 4.1+j]; % balk 3 - PL2     26
ex10 = [4.1+j 5.45]; % PL2 - balk 4    29
ex11 = [5.45 6.1+j]; % balk 4 - PL2    32
ex12 = [6.1+j 6.6+j]; % PL2 - LF2 slutar 35
ex13 = [6.6+j 6.9]; % LF3 börjar - balk 5 38
ex14 = [6.9 7.1+j]; % balk 5 - PL3     41
ex15 = [7.1+j 8.35]; % PL3 - balk 6    44
ex16 = [8.35 9.1+j]; % balk 6 - PL3    47
ex17 = [9.1+j 9.6+j]; % PL3 - LF3 slutar 50
ex18 = [9.6+j 9.8]; % LF3 slutar - balk 7 53
ex19 = [9.8 10.6]; % balk 7 - bromitt   56
ex20 = [10.6 11.4]; % bromitt - balk 8  59
ex21 = [11.4 12.85]; % balk 8 - balk 9  62
ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10 65
ex23 = [14.3 15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk 80
ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

```

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster

```

eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(3); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp; % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gkb];

```

% Korresponderande lastvektor för punktlaster


```

f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(41) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(56) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

% Randvillkor
bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      41 0;
      47 0;
      56 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

elseif j == 0.2

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j 1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
ex5 = [1.1+j 2.55]; % PL1 - balk 2      14
ex6 = [2.55  3.1+j]; % balk 2 - PL1      17
ex7 = [3.1+j 3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar  20
ex8 = [3.6+j 4.0]; % LF2 börjar - balk 3  23
ex9 = [4.0  4.1+j]; % balk 3 - PL2      26
ex10 = [4.1+j 5.45]; % PL2 - balk 4      29
ex11 = [5.45  6.1+j]; % balk 4 - PL2      32
ex12 = [6.1+j 6.6+j]; % PL2 - LF2 slutar  35
ex13 = [6.6+j 6.9]; % LF3 börjar - balk 5  38
ex14 = [6.9  7.1+j]; % balk 5 - PL3      41
ex15 = [7.1+j 8.35]; % PL3 - balk 6      44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3      47

```

```

ex17 = [9.1+j 9.8]; % PL3 - balk 7 & LF3 50
ex18 = [9.8 10.2]; % balk 7 & LF3 - extra nod 53
ex19 = [10.2 10.6]; % extra nod - bromitt 56
ex20 = [10.6 11.4]; % bromitt - balk 8 59
ex21 = [11.4 12.85]; % balk 8 - balk 9 62
ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10 65
ex23 = [14.3 15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk 80
ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

```

```
% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
```

```

eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(3); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp; % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gkb];

```

```
% Korresponderande lastvektor för punktlaster
```

```

f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(41) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);

```

```

f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

```

```

% Randvillkor

```

```

bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      41 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

```

```

elseif j > 0.2 && j < 0.3

```

```

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j 1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1       11
ex5 = [1.1+j 2.55]; % PL1 - balk 2       14
ex6 = [2.55  3.1+j]; % balk 2 - PL1       17
ex7 = [3.1+j 3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar   20
ex8 = [3.6+j 4.0]; % LF2 börjar - balk 3   23
ex9 = [4.0  4.1+j]; % balk 3 - PL2       26
ex10 = [4.1+j 5.45]; % PL2 - balk 4       29
ex11 = [5.45  6.1+j]; % balk 4 - PL2       32
ex12 = [6.1+j 6.6+j]; % PL2 - LF2 slutar  35
ex13 = [6.6+j 6.9]; % LF3 börjar - balk 5  38
ex14 = [6.9  7.1+j]; % balk 5 - PL3       41
ex15 = [7.1+j 8.35]; % PL3 - balk 6       44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3       47
ex17 = [9.1+j 9.8]; % PL3 - balk 7       50
ex18 = [9.8  9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar  53
ex19 = [9.6+j 10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6 11.4]; % bromitt - balk 8     59
ex21 = [11.4 12.85]; % balk 8 - balk 9     62
ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10    65
ex23 = [14.3 15.75]; % balk 10 - balk 11   68
ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12   71
ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13   74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14   77
ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk   80
ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

```

```
% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
```

```
eq = [0 gkb; % element  
      0 gp; % 2  
      0 gp+q(1); % 3  
      0 gp+q(1); % 4  
      0 gp+q(1); % 5  
      0 gp+q(1); % 6  
      0 gp+q(1); % 7  
      0 gp+q(2); % 8  
      0 gp+q(2); % 9  
      0 gp+q(2); % 10  
      0 gp+q(2); % 11  
      0 gp+q(2); % 12  
      0 gp+q(3); % 13  
      0 gp+q(3); % 14  
      0 gp+q(3); % 15  
      0 gp+q(3); % 16  
      0 gp+q(3); % 17  
      0 gp+q(3); % 18  
      0 gp;  
      0 gp;  
      0 gp;  
      0 gp;  
      0 gp;  
      0 gp;  
      0 gp;  
      0 gp;  
      0 gp;  
      0 gkb];
```

```
% Korresponderande lastvektor för punktlaster
```

```
f(11) = gba;  
f(14) = Q(1);  
f(17) = gba;  
f(20) = Q(1);  
f(26) = gba;  
f(29) = Q(2);  
f(32) = gba;  
f(35) = Q(2);  
f(41) = gba;  
f(44) = Q(3);  
f(47) = gba;  
f(50) = Q(3);  
f(53) = gba;  
f(62) = gba;  
f(65) = gba;  
f(68) = gba;  
f(71) = gba;  
f(74) = gba;  
f(77) = gba;  
f(80) = gba;
```

```
% Randvillkor
```

```
bc = [10 0;  
      11 0];
```

```

17 0;
26 0;
32 0;
41 0;
47 0;
53 0;
62 0;
65 0;
68 0;
71 0;
74 0;
77 0;
80 0];

elseif j == 0.3

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j  1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1       11
ex5 = [1.1+j  2.55]; % PL1 - balk 2      14
ex6 = [2.55  3.1+j]; % balk 2 - PL1      17
ex7 = [3.1+j  3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar  20
ex8 = [3.6+j  4.0]; % LF2 börjar - balk 3  23
ex9 = [4.0  4.1+j]; % balk 3 - PL2       26
ex10 = [4.1+j  5.45]; % PL2 - balk 4      29
ex11 = [5.45  6.1+j]; % balk 4 - PL2     32
ex12 = [6.1+j  6.9]; % PL2 -LF2 slutar & balk 5 35
ex13 = [6.9  7.0]; % LF3 & balk 5 - extra nod 38
ex14 = [7.0  7.1+j]; % extra nod - PL3    41
ex15 = [7.1+j  8.35]; % PL3 - balk 6      44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3     47
ex17 = [9.1+j  9.8]; % PL3 - balk 7      50
ex18 = [9.8  9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar  53
ex19 = [9.6+j  10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6  11.4]; % bromitt - balk 8   59
ex21 = [11.4  12.85]; % balk 8 - balk 9   62
ex22 = [12.85  14.3]; % balk 9 - balk 10  65
ex23 = [14.3  15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75  17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2  18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65  20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1  20.6]; % balk 14 - kantbalk  80
ex28 = [20.6  21.2]; % kantbalk

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10

```

```

0 gp+q(2);           % 11
0 gp+q(2);           % 12
0 gp+q(3);           % 13
0 gp+q(3);           % 14
0 gp+q(3);           % 15
0 gp+q(3);           % 16
0 gp+q(3);           % 17
0 gp+q(3);           % 18
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gkb];

% Korresponderande lastvektor för punktlaster
f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

% Randvillkor
bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      38 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;

```

```

80 0];

elseif j > 0.3 && j < 0.4

    ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk           dof:
    ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
    ex3 = [0.6+j 1.1]; % LF1 börjar - balk 1
    ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
    ex5 = [1.1+j 2.55]; % PL1 - balk 2      14
    ex6 = [2.55 3.1+j]; % balk 2 - PL1      17
    ex7 = [3.1+j 3.6+j]; % PL1 - LF1 slutar  20
    ex8 = [3.6+j 4.0]; % LF2 börjar - balk 3  23
    ex9 = [4.0  4.1+j]; % balk 3 - PL2      26
    ex10 = [4.1+j 5.45]; % PL2 - balk 4      29
    ex11 = [5.45 6.1+j]; % balk 4 - PL2      32
    ex12 = [6.1+j 6.9]; % PL2 - balk 5      35
    ex13 = [6.9  6.6+j]; % balk 5 - LF2 slutar 38
    ex14 = [6.6+j 7.1+j]; % LF3 börjar - PL3  41
    ex15 = [7.1+j 8.35]; % PL3 - balk 6      44
    ex16 = [8.35 9.1+j]; % balk 6 - PL3      47
    ex17 = [9.1+j 9.8]; % PL3 - balk 7      50
    ex18 = [9.8  9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar 53
    ex19 = [9.6+j 10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
    ex20 = [10.6 11.4]; % bromitt - balk 8    59
    ex21 = [11.4 12.85]; % balk 8 - balk 9    62
    ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10   65
    ex23 = [14.3 15.75]; % balk 10 - balk 11  68
    ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12  71
    ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13  74
    ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14  77
    ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk  80
    ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(2); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp+q(3); % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;

```

```

0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gkb];

% Korresponderande lastvektor för punktlaster
f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(26) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

% Randvillkor
bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      26 0;
      32 0;
      38 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

elseif j == 0.4

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk          dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j 1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
ex5 = [1.1+j 2.55]; % PL1 - balk 2      14
ex6 = [2.55 3.1+j]; % balk 2 - PL1      17
ex7 = [3.1+j 4.0]; % PL1 - LF1 & balk 3  20
ex8 = [4.0  4.25]; % LF2 & balk 3 - extra nod 23

```



```

ex9 = [4.25 4.1+j]; % extra nod - PL2      26
ex10 = [4.1+j 5.45]; % PL2 - balk 4      29
ex11 = [5.45 6.1+j]; % balk 4 - PL2     32
ex12 = [6.1+j 6.9]; % PL2 - balk 5     35
ex13 = [6.9 6.6+j]; % balk 5 - LF2 slutar 38
ex14 = [6.6+j 7.1+j]; % LF3 börjar - PL3 41
ex15 = [7.1+j 8.35]; % PL3 - balk 6     44
ex16 = [8.35 9.1+j]; % balk 6 - PL3     47
ex17 = [9.1+j 9.8]; % PL3 - balk 7     50
ex18 = [9.8 9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar 53
ex19 = [9.6+j 10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6 11.4]; % bromitt - balk 8  59
ex21 = [11.4 12.85]; % balk 8 - balk 9  62
ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10 65
ex23 = [14.3 15.75]; % balk 10 - balk 11 68
ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12 71
ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13 74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14 77
ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk 80
ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

```

```

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster

```

```

eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(2); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(2); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp+q(3); % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gkb];

```

```

% Korresponderande lastvektor för punktlaster

```

```

f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);

```

```

f(23) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

```

```
% Randvillkor
```

```

bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      23 0;
      32 0;
      38 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

```

```
elseif j > 0.4 && j < 0.5
```

```

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk           dof:
ex2 = [0.6  0.6+j]; % Kantbalk - LF1 börjar
ex3 = [0.6+j 1.1]; % LF1 börjar - balk 1
ex4 = [1.1  1.1+j]; % balk 1 - PL1      11
ex5 = [1.1+j 2.55]; % PL1 - balk 2      14
ex6 = [2.55  3.1+j]; % balk 2 - PL1      17
ex7 = [3.1+j 4.0]; % PL1 - balk 3      20
ex8 = [4.0   3.6+j]; % balk 3 - LF1 slutar 23
ex9 = [3.6+j 4.1+j]; % LF2 börjar - PL2  26
ex10 = [4.1+j 5.45]; % PL2 - balk 4      29
ex11 = [5.45  6.1+j]; % balk 4 - PL2     32
ex12 = [6.1+j 6.9]; % PL2 - balk 5      35
ex13 = [6.9   6.6+j]; % balk 5 - LF2 slutar 38
ex14 = [6.6+j 7.1+j]; % LF3 börjar - PL3  41
ex15 = [7.1+j 8.35]; % PL3 - balk 6      44
ex16 = [8.35  9.1+j]; % balk 6 - PL3     47
ex17 = [9.1+j 9.8]; % PL3 - balk 7      50
ex18 = [9.8   9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar 53
ex19 = [9.6+j 10.6]; % LF3 slutar - bromitt 56
ex20 = [10.6  11.4]; % bromitt - balk 8  59

```

```

ex21 = [11.4 12.85]; % balk 8 - balk 9      62
ex22 = [12.85 14.3]; % balk 9 - balk 10    65
ex23 = [14.3 15.75]; % balk 10 - balk 11   68
ex24 = [15.75 17.2]; % balk 11 - balk 12   71
ex25 = [17.2 18.65]; % balk 12 - balk 13   74
ex26 = [18.65 20.1]; % balk 13 - balk 14   77
ex27 = [20.1 20.6]; % balk 14 - kantbalk    80
ex28 = [20.6 21.2]; % kantbalk

```

```
% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
```

```

eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2
      0 gp+q(1); % 3
      0 gp+q(1); % 4
      0 gp+q(1); % 5
      0 gp+q(1); % 6
      0 gp+q(1); % 7
      0 gp+q(1); % 8
      0 gp+q(2); % 9
      0 gp+q(2); % 10
      0 gp+q(2); % 11
      0 gp+q(2); % 12
      0 gp+q(2); % 13
      0 gp+q(3); % 14
      0 gp+q(3); % 15
      0 gp+q(3); % 16
      0 gp+q(3); % 17
      0 gp+q(3); % 18
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gp;
      0 gkb];

```

```
% Korresponderande lastvektor för punktlaster
```

```

f(11) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(23) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;

```

```

f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

% Randvillkor
bc = [10 0;
      11 0;
      17 0;
      23 0;
      32 0;
      38 0;
      47 0;
      53 0;
      62 0;
      65 0;
      68 0;
      71 0;
      74 0;
      77 0;
      80 0];

elseif j == 0.5

ex1 = [0      0.6]; % Kantbalk          dof:
ex2 = [0.6    1.1]; % Kantbalk - LF1 & balk 1  5
ex3 = [1.1    1.3]; % LF1 & balk 1 - extra nod  8
ex4 = [1.3    1.1+j]; % extra nod - PL1      11
ex5 = [1.1+j  2.55]; % PL1 - balk 2        14
ex6 = [2.55   3.1+j]; % balk 2 - PL1      17
ex7 = [3.1+j  4.0]; % PL1 - balk 3        20
ex8 = [4.0    3.6+j]; % balk 3 - LF1 slutar  23
ex9 = [3.6+j  4.1+j]; % LF2 börjar - PL2    26
ex10 = [4.1+j  5.45]; % PL2 - balk 4       29
ex11 = [5.45   6.1+j]; % balk 4 - PL2     32
ex12 = [6.1+j  6.9]; % PL2 - balk 5       35
ex13 = [6.9    6.6+j]; % balk 5 - LF2 slutar  38
ex14 = [6.6+j  7.1+j]; % LF3 börjar - PL3   41
ex15 = [7.1+j  8.35]; % PL3 - balk 6       44
ex16 = [8.35   9.1+j]; % balk 6 - PL3     47
ex17 = [9.1+j  9.8]; % PL3 - balk 7       50
ex18 = [9.8    9.6+j]; % balk 7 - LF3 slutar  53
ex19 = [9.6+j  10.6]; % LF3 slutar - bromitt  56
ex20 = [10.6   11.4]; % bromitt - balk 8    59
ex21 = [11.4   12.85]; % balk 8 - balk 9    62
ex22 = [12.85  14.3]; % balk 9 - balk 10   65
ex23 = [14.3   15.75]; % balk 10 - balk 11  68
ex24 = [15.75  17.2]; % balk 11 - balk 12  71
ex25 = [17.2   18.65]; % balk 12 - balk 13  74
ex26 = [18.65  20.1]; % balk 13 - balk 14  77
ex27 = [20.1   20.6]; % balk 14 - kantbalk  80
ex28 = [20.6   21.2]; % kantbalk

% Korresponderande lastvektor för utbredda laster
eq = [0 gkb; % element
      0 gp; % 2

```

```

0 gp+q(1); % 3
0 gp+q(1); % 4
0 gp+q(1); % 5
0 gp+q(1); % 6
0 gp+q(1); % 7
0 gp+q(1); % 8
0 gp+q(2); % 9
0 gp+q(2); % 10
0 gp+q(2); % 11
0 gp+q(2); % 12
0 gp+q(2); % 13
0 gp+q(3); % 14
0 gp+q(3); % 15
0 gp+q(3); % 16
0 gp+q(3); % 17
0 gp+q(3); % 18
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gp;
0 gkb];

```

```
% korresponderande lastvektor för punktlaster
```

```

f(8) = gba;
f(14) = Q(1);
f(17) = gba;
f(20) = Q(1);
f(23) = gba;
f(29) = Q(2);
f(32) = gba;
f(35) = Q(2);
f(38) = gba;
f(44) = Q(3);
f(47) = gba;
f(50) = Q(3);
f(53) = gba;
f(62) = gba;
f(65) = gba;
f(68) = gba;
f(71) = gba;
f(74) = gba;
f(77) = gba;
f(80) = gba;

```

```
% Randvillkor
```

```

bc = [ 7 0;
      8 0;
      17 0;
      23 0;
      32 0;
      38 0;

```

```

47 0;
53 0;
62 0;
65 0;
68 0;
71 0;
74 0;
77 0;
80 0];

end

% Skapa global koordinatvektor
ex = [ex1; ex2; ex3; ex4; ex5; ex6; ex7; ex8; ex9; ex10; ex11; ex12; ex13; ex14;
ex15; ex16; ex17; ex18; ex19; ex20; ex21; ex22; ex23; ex24; ex25; ex26; ex27; ex28];
ey = [0 0]; % Bortser från bombering

% Assemblera global styvhetsmatrix
for l=1:ne

    [Ke, fe] = beam2e(ex(l,:), ey, ep, eq(l,:));
    [K, f] = assem(Edof(l,:), K, Ke, f, fe);

end

% Lös ekvationssystemet
[a, fb] = solveq(K, f, bc);
ed = extract(Edof, a);

if max(abs(ed(:,2))) > nedb

    % Allokera värden vid maximal nedböjning i nya variabler
    nedb = max(abs(ed(:,2)));

    exp = ex;
    edp = ed;

    nf = j;
end
end

if nedb > 1.45/400

    disp(['Nedböjning = ', num2str(nedb*10^3), ' mm >', num2str(1.45/400*10^3), ' mm =
krav'])
    disp('=> Ej ok!')

elseif nedb <= 1.45/400

    disp(['Nedböjning = ', num2str(nedb*10^3), ' mm < ', num2str(1.45/400*10^3), ' mm
= krav'])
    disp('=> Ok!')

end

```

```
sfac = scalfact2(exp(2,:), ey, edp(2,:), 1);

for a = 1:28

    eldraw2(exp(a,:), ey, [1 2 0]);
    eldisp2(exp(a,:), ey, edp(a,:), [2 1 0], sfac);

end
title('Nedböjning i tvärled vid minst gynnsam lastplacering')
grid minor
axis([0 b_p -2.5 2.5])
pltscalb2(sfac,[nedb 3 -1]);
```

Published with MATLAB® R2017b

Bilaga N – Längsled nedböjning

```
clc
clear all
close all

L = 25;          % Spännvidd [m]

% Egentyngd
h_p = 0.3;      % Plattans tjocklek [m]
h_be = 0.1;     % Beläggnings tjocklek [m]
h_kb = 0.5;     % Kantbalkens tjocklek [m]
B_p = 20.0;     % Plattans bredd [m]
B_kb = 0.6;     % Kantbalkens bredd [m]

A_ba = 0.522;   % Balkens(arnas) tvärsnittarea [m^2]

th_p = 25000;   % Tunghet platta [N/m^3]
th_kb = th_p;   % Tunghet kantbalk [N/m^3]
th_ba = th_p;   % Tunghet balk [N/m^3]
th_be = 22000; % Tunghet beläggning [N/m^3]

g_p = -(B_p * h_p * th_p + B_p * h_be * th_be); % Egentyngd platta [N/m]
g_kb = -B_kb * h_kb * th_kb;                  % Egentyngd kantbalk [N/m]
g_ba = -A_ba * th_ba;                          % Egentyngd balk [N/m]

% Laster enligt SS-EN 1991-2
% Beräkningar görs per breddmeter där endast ett axelpar ryms

% Lastkoefficienter
alfaQ1 = 0.9;
alfaQ2 = 0.9;
alfaQ3 = 0.0;

alfaq1 = 0.8;
alfaq2 = 1.0;
alfaq3 = 1.0;

% Tandemlasterna för lastfält 1 och 2 summeras då spännvidden för bron är
% med än 10 m
Q1 = -2 * 300e3 * alfaQ1; % [N]
Q2 = -2 * 200e3 * alfaQ2; % [N]
Q3 = -2 * 100e3 * alfaQ3; % [N]

% Utbredda laster
q1 = -9e3*alfaQ1; % [N/m]
q2 = -2.5e3*alfaQ2; % [N/m]
q3 = -2.5e3*alfaQ3; % [N/m]

% Laster
n_ba = 14;          % Antal balkar [st]
A_bap = 0.8729;     % Area balk och platta [m^2]
I_bap = 0.2716;     % Yttröghetsmoment balk och platta [m^4]
E_cm = 39e9;        % C60/75 [Pa]
```



```

ep = [E_cm A_bap I_bap];% Elementegenskaper

% Partialkoefficienter
gamma_G = 1.35; % Permanent last
gamma_Q = 1.5; % Variabel last
gamma_P = 1.3; % Spännkraft

% Lastreduktionstal
psi_0_b = 0.75; % Kombinationsvärde boggsystem [-]
psi_1_b = 0.75;
psi_2_b = 0;

psi_0_u = 0.4; % Kombinationsvärde för utbredd last [-]
psi_1_u = 0.4;
psi_2_u = 0;

xi = 0.89; % Reduktionsfaktor

% Filfaktorer för olika lastkombinationer för punktlast respektive utbredd
% last. Beräknade i "Tvarled_filfaktorer_tvarkraft"

ff_frek_p = 0.29673;
ff_frek_u = 0.049991;

% Förallokera referensvärde för nedböjning
nedb = 0;

% ekv 6.15b SS-EN 1990
Ed_frek = g_p + 2 * g_kb + n_ba * g_ba + psi_1_u * 3 * q1 + psi_1_b * Q1 + psi_2_u * 3
* (q2 + q3) + psi_2_b * (Q2 + Q3);

g_ba = g_ba * n_ba * ff_frek_u;
g_kb = g_kb * 2 * ff_frek_u;
g_p = g_p * ff_frek_u;
q_1 = psi_1_u * q1 * ff_frek_u;
q_2 = psi_2_u * q2 * ff_frek_u;
q_3 = psi_2_u * q3 * ff_frek_u;
Q_1 = psi_1_b * Q1 * ff_frek_p;
Q_2 = psi_2_b * Q2 * ff_frek_p;
Q_3 = psi_2_b * Q3 * ff_frek_p;

g_bro = g_p + g_kb + g_ba;
g_trafik = q_1 + q_2 + q_3;
Q_trafik = Q_1 + Q_2 + Q_3;

for j=0:0.01:L/2 % Steglängd 1 cm

    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];

    ndof = max(Edof(:,end)); % Antal frihetsgrader
    ne = max(Edof(:,1)); % Antal element

```

```

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

% Iom
if j == 0

    ex1 = [0 1.5];
    ex2 = [1.5 2];
    ex3 = [2 3];
    ex4 = [3 L];

    f(2) = Q_trafik;

    eq = [0 g_bro + g_trafik;
          0 g_bro;
          0 g_bro;
          0 g_bro];

elseif j > 0 && j <= 1.5

    ex1 = [0 j];
    ex2 = [j j+1.5];
    ex3 = [j+1.5 4];
    ex4 = [4 L];

    f(5) = Q_trafik;

    eq = [0 g_bro + g_trafik;
          0 g_bro + g_trafik;
          0 g_bro;
          0 g_bro];

elseif j > 1.5

    ex1 = [0 j-1.5];
    ex2 = [j-1.5 j];
    ex3 = [j j+1.5];
    ex4 = [j+1.5 L];

    eq = [0 g_bro;
          0 g_bro + g_trafik;
          0 g_bro + g_trafik;
          0 g_bro];

    f(8) = Q_trafik;

end

ex = [ex1; ex2; ex3; ex4];
ey = [0 0];

bc = [1 0;
      2 0];

```

```

14 0];

% Assemblera global styvhetsmatrix
for l=1:ne
    [ke, fe] = beam2e(ex(l,:), ey, ep, eq(l,:));
    [K, f] = assem(Edof(l,:), K, ke, f, fe);
end

% Lös ekvationssystemet
[a, fb] = solveq(K, f, bc);
ed = extract(Edof, a);

% Jämför framtagen nedböjning med referensvärde för att hitta max
if max(abs(ed(:,2))) > nedb

    % Allokera värden vid maximal nedböjning i nya variabler
    nedb = max(abs(ed(:,2)));

    exp = ex;
    edp = ed;

    nf = j;

end

end

if nedb > L/400

    disp(['Nedböjning = ', num2str(nedb*10^3), ' mm > ', num2str(L/400*10^3), ' mm =
krav'])
    disp('=> Ej ok!')

elseif nedb <= L/400

    disp(['Nedböjning = ', num2str(nedb*10^3), ' mm < ', num2str(L/400*10^3), ' mm =
krav'])
    disp('=> Ok!')

end

sfac = scalfact2(exp(2,:), ey, edp(2,:), 0.5);

for a = 1:4

    eldraw2(exp(a,:), ey, [1 2 0]);
    eldisp2(exp(a,:), ey, edp(a,:), [2 1 0], sfac);

end
title('Nedböjning i längsled vid minst gynnsam lastplacering')
grid minor
axis([0 L -2.5 2.5])
pltscalb2(sfac, [nedb 3 -1]);

```

Bilaga O – Balkar tvärrarmering

Överslagsberäkning S-avstånd

```
c1c
clear all
close all

% Bärande konstruktioner del 1 [1]
```

Indata

```
% Tvärsnittsdata
bw = 0.23; % [m] Livtjocklek
d = 1.525; % [m] d-avstånd, från tidigare beräkningar
phi_w = 12; % [mm] bygeldiameter
A_sw = 2 * (phi_w / 1000)^2 * pi / 4; % [m^2] Area byglar

% Materialdata
f_ck = 60e6; % [Pa] Karakteristisk tryckhållfasthet, betong
f_ywk = 500e6; % [Pa] Karakteristisk draghållfasthet, byglar
gamma_s = 1.15; % [-] Partialkoefficient
f_ywd = f_ywk / gamma_s; % [Pa] Dimensionerande draghållfasthet, byglar
theta = 40 * pi / 180; % [rad] Antagen spricklutning
alpha = pi/2; % [rad] Vinkel mellan tvärkraftsarmering och
balkens längdaxel

% Laster
V_Ed = 649.76e3; % [N] Maximal tvärkraft i brottgränstillstånd,
från tidigare beräkningar
```

Beräkningar

```
% Beräkna erforderligt s-avstånd
s = 0.9 * d * cot(theta) * A_sw * f_ywd / V_Ed; % [m] ekv. B6-29 [1]

% Beräkna minsta erforderliga tvärrarmeringsmängd
rho_w_min = 0.08 * sqrt(f_ck * 10^-6)/(f_ywk * 10^-6); % [-] ekv. B6-24 [1]

% Beräkna tvärrarmeringsmängd
rho = A_sw / (s * bw * sin(alpha)); % [-] ekv. B6-25 [1]

% Kontrollera tvärrarmeringsmängd
if rho < rho_w_min

    disp(['rho = ', num2str(rho), ' < ', 'rho_w_min = ', num2str(rho_w_min), ' => EJ
OK!'])
elseif rho >= rho_w_min

    disp(['rho = ', num2str(rho), ' > ', 'rho_w_min = ', num2str(rho_w_min), ' =>
OK!'])
```

```

end

disp(' ')

% Beräkna maximalt s-avstånd
s_max = 0.75 * d * (1 + cot(alpha)); % [m] B6-26 [1]

% Kontrollera s-avstånd
if s < s_max

    disp(['s = ', num2str(s*1000), ' mm < ', 's_max = ', num2str(s_max*1000), ' mm =>
OK!'])

    s = floor(s*100);
    s = (s)/100-0.04;

    disp(['Välj: phi ', num2str(phi_w), ' s', num2str(s*1000)])

elseif s >= s_max

    disp(['s = ', num2str(s), ' > ', 's_max = ', num2str(s_max), ' => EJ OK!'])
    disp(['=> Sätt s till s_max = ', num2str(s_max)])
    s = s_max;

end
disp(' ')

% Beräkna tvärkraftskapacitet
V_Rds = 0.9 * d * cot(theta) * A_sw * f_ywd / s; % [N] B6-21 [1]

if V_Ed < V_Rds

    disp(['V_Ed = ', num2str(V_Ed*10^-3), ' kN < ', 'V_Rds = ', num2str(V_Rds*10^-3),
' kN => OK!']);

elseif V_Ed > V_Rds

    disp(['V_Ed = ', num2str(V_Ed*10^-3), ' kN > ', 'V_Rds = ', num2str(V_Rds*10^-3),
' kN => EJ OK!']);

end
disp(' ')

disp(['Nyttjandegrad: ', num2str(V_Ed/V_Rds*100), ' %']);

```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Bilaga P – Uppskattning av erforderligt tvärsnitt

```
% Uppskattning tvärsnitt
% Betongklass C 60/75
% [1] Bärande konstruktioner Del 1.
% [2] Design and analysis of prestressed concrete structures.
clear all
clc

L = 25.0; % [m] Spännvidd

% Betong har ej härdat vid avspänning.
% Betongen antas då ha uppnått 70 % av hållfastheten.
% Använd 0.7 * 60 = 42 --> Betongklass C 40/50

% Dimensionerande hållfastheter
% För härdat betong, klass C 60/75
gamma_c = 1.5; % [-] Partialkoefficient. S. B37 [1]
f_ck_60 = 60e6; % [Pa] Karakteristisk tryckhållfasthet Tabell B2.1 [1]
f_cd = f_ck_60/gamma_c; % [Pa] Dimensionerande tryckhållfasthet. Ekv. B2-3[1]

% För betong som inte uppnått full hållfasthet. C 40/50
f_ctk5_40 = 2.5e6; % [Pa] Draghållfasthet 0.05-kvartil. Tabell B2.2[1]
f_ck_40 = 40e6; % [Pa] Karakteristisk tryckhållfasthet Tabell B2.1 [1]

sigma_ccemax = 0.45*f_ck_60; % [Pa] Ekv. 5-7 [2] Max tillåten tryckspänning efter lång
tid. Full hållfasthet uppnådd.
sigma_ctimax = f_ctk5_40; % [Pa] Ekv. 5-3 [2] Max tillåten dragspänning när
armeringen släpps. Betong har ej full hållfasthet.
sigma_ccimax = 0.6*f_ck_40; % [Pa] Ekv. 5-10[2] Max tillåten tryckspänning när
armering släpps. Betong har ej full hållfasthet.
sigma_ctemax = 0; % [Pa] Ekv. 5-2 [2] Full förspänning utförs(inga
dragspänningar tillåts).

% Dimensioner på tvärsnitt [m]
bw = 0.23; % Bredd på liv
hw = 1.0; % Höjd på liv
bf1 = 0.7; % Bredd på nedre fläns
tf1 = 0.3; % Tjocklek nedre fläns
bf2 = 20.2/14; % Bredd övre fläns
tf2 = 0.3; % Tjocklek övre fläns
h = tf2+hw+tf1; % Total höjd

% Tvärsnittskonstanter

% Balk med platta
A_c1 = bf1*tf1+hw*bw+bf2*tf2; % [m^2] Area tvärsnitt med platta
x_c1 = (bf1*tf1*(tf2+hw+tf1/2)+bw*hw*(tf2+hw/2)+bf2*tf2*(tf2/2))/A_c1; % [m]
Tyngdpunkt definierad från tvärsnittets ovankant
I_c1 = (bf1*tf1^3)/12+bf1*tf1*(tf2+hw+tf1/2-x_c1)^2+bf2*tf2*(tf2+hw/2-x_c1)^2+
bf2*tf2^3/12+bf2*tf2*(tf2/2-x_c1)^2; % [m^4] Yttröghetsmoment kring
tvärsnittets tyngdpunkt

% Balk utan platta
```

```

A_c2 = bf1*tf1+hw*bw; % [m^2] Area tvärsnitt med platta
x_c2 = (bf1*tf1*(hw+tf1/2)+bw*hw*(hw/2))/A_c2; % [m] Tyngdpunkt definierad från
tvärsnittets ovkant
I_c2 = (bf1*tf1^3)/12+bf1*tf1*(hw+tf1/2-x_c2)^2+bw*hw^3/12 + hw*bw*(hw/2-x_c2)^2; %
[m^4] Yttröghetsmoment kring tvärsnittets tyngdpunkt

% Dimensionerande laster
g=A_c2*2.5*L; % Betongbalkens vikt i antal ton(utan
platta). Får ej överstiga 35 ton.
disp(['En balk väger ',num2str(g),' ton'])
M_gmax = (A_c1*25*10^3)*L^2/8; % [Nm] Maxmoment från egentygnd.
M_qtmax = 2276.8e3-M_gmax; % [Nm] Maxmoment från quasipermanent
lastkombination exklusive egentygnd. 1771.4
M_qmax = 3765.5e3-M_gmax; % [Nm] Maxmoment karakteristisk
lastkombination exklusive egentygnd. 6013.7

% Uppskattning av erforderligt tvärsnitt
n=0.8; % Faktor som tar hänsyn till
relaxation i förspänningsstål.
A = I_c1/x_c1; % Ekv. 5-20 [2]
B = (M_qtmax+M_gmax)/((sigma_ccemax)+n*sigma_ctimax); % Ekv. 5-20 [2]
C = I_c1/(h-x_c1); % Ekv. 5-21 [2]
D = (M_qmax+M_gmax)/(n*sigma_ccimax+sigma_ctemax); % Ekv. 5-21 [2]

if A >=B
    disp(['A = ', num2str(A), ' > ',num2str(B),' = B --> ok!'])
else
    disp(['A = ', num2str(A), ' < ',num2str(B),' = B --> ej ok!'])
end

if C >=D
    disp(['C = ', num2str(C), ' > ',num2str(D),' = D --> ok!'])
else
    disp(['C = ', num2str(C), ' < ',num2str(D),' = D --> ej ok!'])
end

disp(' ')

% Uppskattade gränser för spännkraft
% Spännkraften begränsas av: P_imin < P_i < P_imax

C_c = 75e-3; % [m] Täckande betongskikt.
s = 25e-3; % [m] Avstånd mellan armering.
d1 = h-C_c; % [m] Överkant tryckzon till tyngdpunkt dragarmering (antaget ett
armeringslager)
e1 = d1-x_c1; % [m] Spännkablaras excentricitet

h2 = hw+tf1; % [m] Balkens höjd utan platta
d2 = h2-C_c; % [m] Överkant tryckzon till tyngdpunkt spännarmering (antaget ett
armeringslager)
e2 = d2-x_c2; % [m] Spännkablaras excentricitet

% Minsta och största möjliga förspänningskraft beräknas.

% Begränsning då spännkablar kapas, P_imax
% Index t - edge in tension

```

```

% Index c - edge in compression

Mg0 = 0; % Moment i ändsnitt från egentyngd.

P_it = (Mg0+(I_c2*sigma_ctimax)/x_c2) / (e2-(I_c2/(x_c2*A_c2))); % Ekv 5-24
[2] Begränsning dragen ovankant

P_ic = (Mg0+(I_c2*sigma_ccimax)/(h2-x_c2)) / (e2+(I_c2/((h2-x_c2)*A_c2))); % Ekv 5-25
[2] Begränsning tryckt underkant

disp(['P_it = ', num2str(P_it/10^6), ' MN'])
disp(['P_ic = ', num2str(P_ic/10^6), ' MN'])

% Minsta värdet dimensionerande.
% Förspänning ogynnsamt då stålet kortas av.
if P_it < P_ic
    P_imax = P_it;
    disp('P_it är dimensionerande!')
else
    P_imax = P_ic;
    disp('P_ic är dimensionerande!')
end
disp(' ')

% P_imin från 5-26 och 5-27.
% Quasi-permanent lastkombination- Tryckt kant
P_iq = 1/n * ((M_gmax+M_qtmax-(I_c1*sigma_ccemax)/x_c1)/(e1-(I_c1/(x_c1*A_c1))));
% Ekv. 5-26 [2]

% Karakteristisk lastkombination - "dragen" kant
P_ic1 = 1/n * ((M_gmax+M_qmax-(I_c1*sigma_ctemax)/(h-x_c1)) / (e1+(I_c1/((h-x_c1)*A_c1)))); % Ekv. 5-27 [2]

% Förspänning är gynnsamt vid quasi- och karakteristisk lastkombination.
disp(['P_iq = ', num2str(P_iq/10^6), ' MN'])
disp(['P_ic1 = ', num2str(P_ic1/10^6), ' MN'])

% Största värdet dimensionerande.
if P_iq < P_ic1
    P_imin = P_ic1;
    disp('P_ic1 är dimensionerande!')
else
    P_imin = P_iq;
    disp('P_iq är dimensionerande!')
end

disp(' ')
disp(['P_imax = ', num2str(P_imax/10^6), ' MN'])
disp(['P_imin = ', num2str(P_imin/10^6), ' MN'])

% Om balken tillåts spricka i ovankant vid avspänning av armering blir
% P_ic dimensionerande.

```


Bilaga Q – Täckande betongskikt

Beräkningar utförs enligt:

Bärande konstruktioner Del 1.

Eurokod 2: SS – EN_1992 1-1_2005–8

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad \text{Täckande betongskikt}$$

$$c_{min,b} = \phi \quad \text{Stångens diameter}$$

$$c_{min,b} = \phi_0 \quad \text{Ekvivalenta diameter buntade stänger}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{Möjlig och tillåten avvikelse. Nationell parameter}$$

$$S_{min} = \max(d_g + k_2, k_1 \cdot \phi, 20 \text{ mm}) \quad \text{Minsta fria avstånd mellan stänger.}$$

$$S_{min} = \max(d_g + k_2, 2 \cdot \phi, 20 \text{ mm}) \quad \text{Minsta avstånd mellan stänger vid omlottskarvning.}$$

d_g Storlek ballast, väljs till 20 mm.

k_1 Nationell parameter, rekommenderat värde 1.

k_2 Nationell parameter, rekommenderat värde 5.

Balk

$\phi_w = 12 \text{ mm}$ Diameter bygel

$\phi_p = 15,7 \text{ mm}$ Diameter spännarmering

$\phi_s = 25 \text{ mm}$ Diameter Slakarmering

Spännarmering

Exponeringsklass XD1 ger $c_{min} = 45$ Enligt tabell för spännarmering Eurokod 2.

$$c_{nom} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$

Kant till centrum av armeringsstång

$$C_c = c_{nom} + \phi_w + \frac{\phi_s}{2} = 55 + 12 + \frac{15,7}{2} = 74,85 \text{ mm. Väljer } 75 \text{ mm.}$$

$$S_{min} = \max(20 + 5,1 \cdot 15,7, 20 \text{ mm}) = 25 \text{ mm.}$$

Slakarmering

Exponeringsklass XD1 ger $c_{min} = 35$ Enligt tabell för slakarmering Eurokod 2.

$$c_{nom} = 35 + 10 = 40 \text{ mm}$$

Kant till centrum av armeringsstång

$$C_c = c_{nom} + \phi_w + \frac{\phi_s}{2} = 40 + 12 + \frac{25}{2} = 64,5 \text{ mm. Väljer } 65 \text{ mm.}$$

$$S_{min} = \max(20 + 5,2 \cdot 25, 20 \text{ mm}) = 50 \text{ mm}$$

Platta

$\phi_s = 16 \text{ mm}$ Diameter Slakarmering

$\phi_w = 12 \text{ mm}$ Diameter Tvärrarmering

Exponeringsklass XD3 ger $c_{min} = 45$ Enligt tabell för slakarmering Eurokod 2.

$$c_{nom} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$

Kant till centrum av armeringsstång

$$C_c = c_{nom} + \phi_w + \frac{\phi_s}{2} = 55 + 12 + \frac{16}{2} = 75 \text{ mm.}$$

$$S_{min} = \max(20 + 5,1 \cdot 16, 20 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

Bilaga R – Längsled inläggning av spänningsarmering

```
% Inläggning av förspänningsarmering
% Beräkning av minsta möjliga spännarmering

clc
clear all

P_i = 4.0e6;           % [N] Förspänningskraft. Vald utifrån uppnådda kriterier.

% Materialparametrar förspänningsstål
f_p1k = 1580e6;        % [Pa] Karakteristiskt värde 0,1 %
f_puk = 1860e6;        % [Pa] Karakteristisk drag-hållfasthet
gamma_s = 1.15;       % [-] Partialkoefficient.
f_pd = f_p1k/gamma_s; % [Pa] Dimensionerande värde stålets hållfasthet.
E_p = 200e9;          % [Pa] Elasticitetsmodul
e_puk = 3.5e-2;       % [-] Max töjning
A_pi = 150e-6;        % [mm^2] Area per spännehet

% Dimensioner på tvärsnitt [m]
bw = 0.23;            % Bredd på liv
hw = 1.0;             % Höjd på liv
bf1 = 0.7;            % Bredd på nedre fläns
tf1 = 0.3;            % Tjocklek nedre fläns
bf2 = 20.2/14;        % Bredd övre fläns
tf2 = 0.3;            % Tjocklek övre fläns
h = tf2+hw+tf1;       % Total höjd

% Tvärsnittskonstanter för balk med platta
A_c1 = bf1*tf1+hw*bw+bf2*tf2; % [m^2]
x_c1 = (bf1*tf1*(tf2+hw+tf1/2)+bw*hw*(tf2+hw/2)+bf2*tf2*(tf2/2))/A_c1; % [m]
I_c1 = (bf1*tf1^3)/12+bf1*tf1*(tf2+hw+tf1/2-x_c1)^2+bw*hw^3/12 + hw*bw*(tf2+hw/2-x_c1)^2+ bf2*tf2^3/12+bf2*tf2*(tf2/2-x_c1)^2; % [m^4]

C_c = 75e-3;          % [m] Täckande betongskikt
s = 25e-3;            % [m] Avstånd mellan armering
d1 = h-C_c;           % [m] Överkant tryckzon till tyngdpunkt dragarmering (antaget ett armeringslager)
e1 = d1-x_c1;         % [m] Spännkablaras excentricitet

sigma_pi = min(0.8*f_puk,0.9*f_p1k); % [Pa] Ekv. 5-5 [2] Begränsning av stålspänning

A_p = P_i/sigma_pi;   % Total erforderlig spännarmeringsarea.

n = A_p/A_pi;         % Antal spännkablar. Ekv. 6-11 [2]

n = round(A_p/A_pi);  % Avrundning av antalet spännkablar
if n < (A_p/A_pi)
    n = round(A_p/A_pi+1);
end

disp(['n = ', num2str(n), ' st'])
```

Bilaga S – Längsled inläggning av armering i ovankant

```
clc
clear all

% Geometri
bw = 0.23;      %Bredd på liv
hw = 1.0;      %Höjd på liv
bf1 = 0.7;     %Bredd på nedre fläns
tf1 = 0.3;     %Tjocklek nedre fläns
bf2 = 20.2/14; %Bredd övre fläns
tf2 = 0.3;     %Tjocklek övre fläns

% Täckande betongskikt och armeringsavstånd
s_p = 25e-3;    % Armeringsavstånd förspänningsstål
C_cp = 75e-3;  % Täckande betongsskikt till armeringscentrum

s_s = 50e-3;   % Armeringsavstånd slakarmering
C_cs = 65e-3;  % Täckande betongsskikt till armeringscentrum

h2 = hw+tf1;  %[m] Höjd balk utan platta

% Tvärsnittskonstanter balk utan platta
A_c2 = bf1*tf1+hw*bw; % [m^2]
x_c2 = (bf1*tf1*(hw+tf1/2)+bw*hw*(hw/2))/A_c2; % [m]
I_c2 = (bf1*tf1^3)/12+bf1*tf1*(hw+tf1/2-x_c2)^2+bw*hw^3/12 + hw*bw*(hw/2-x_c2)^2; %
[m^4]

% Materialparametrar

% Betong
f_ck_40 = 40e6;      % [Pa] Karakteristisk tryckhållfasthet Tabell B2.1 [1]
f_ctk5 = 2.5e6;     % [Pa] Draghållfasthet 0.05-kvartil. Tabell B2.2[1]
E_cm = 33e9;        % [Pa] Elasticitetsmodul betong.

% Armering, B500B
f_yk = 435e6; % Flytgräns
E_s = 200e9; % [Pa] Elasticitetsmodul slakarmering
A_si = 0.025^2*pi/4; % [m^2] Area per armeringsenhet. D = 25 mm väljs.

% Förspänningsarmering
E_p = 200e9; %[Pa] Elasticitetsmodul förspänningsstål.

% Alfa- faktorer för omvandling till ekvivalent betong
alfa_s = E_s/E_cm; %[-]
alfa_p = E_p/E_cm; %[-]

% Förspänningsarmering
n_p = 22;      % Vald antal spännarmeringskablar
P_i = 4.0e6;   % [N] Vald spännkraft
A_pi = 150e-6; % [m^2] Area per spännarmeringsenhet
A_p = A_pi*n_p; % [m^2] Total armeringsarea
sigma_p0i=P_i/A_p; % [Pa] Spänning i förspänningskablar

% Analys av sektion. Tvärsnitt vänds så att dragzonen är nedåt.
```

```

n_s = 5; % Antal armeringsstänger
A_s = A_si*n_s; % [m^2] Area armeringsstänger

d_pm = ((18*C_cp+4*(C_cp+s_p))/n_p); % [m] Avstånd tryck kant till tyngdpunkt
spännarmering. Beräknat utifrån valt antal förspänningskablar. 2 lager (18+8)
d_sm = h2-(3*(C_cs)+2*(C_cs+s_s))/n_s; % [m] Avstånd tryckt kant till tyngdpunkt
slakarmering. Beräknat utifrån valt antal armeringsstänger. 2 lager (3+3)

% Beräkning av neutrallager. Antaget att neutrallager ligger inom balkens
% liv (tf1<x<tf1+bw). (Tvärsnitt är vänt)
% Tvärsnittet antas uppsprucket och i stadium II.
x=0.001;
M_g0 = 0;
for n=1:1000

x= 0.001*n + 0.25;

A_II = bf1*tf1+(alfa_p-1)*A_p+bw*(x-tf1)+A_s*alfa_s;

x_II = (bf1*tf1*tf1/2+(alfa_p-1)*A_p*d_pm+alfa_s*A_s*d_sm+bw*(x-tf1)*(tf1+(x-
tf1)/2))/A_II;

e = d_pm-x_II;

I_II = bf1*tf1^3/12+(bf1*tf1)*(x_II-tf1/2)^2+(alfa_p-1)*A_p*(e)^2+alfa_s*A_s*(d_sm-
x_II)^2+bw*(x-tf1)^3/12+bw*(x-tf1)*(x_II-(tf1+(x-tf1)/2))^2;

sigma_cx = (-1.05*P_i)/(A_II) + ((-1.05*P_i*e+M_g0)/(I_II))*(x); % Spänning vid
koordinaten x

if abs(sigma_cx) < 0.1e6
    disp([' sigma_cx = ', num2str(sigma_cx/10^6),' MN', ' för x =', num2str(x)])
    break
end

if x >= (tf1+hw)
    disp('Neutrallager ej inom liv ')
    break
end
end

disp([' '])

% Beräkna spänningar i ovan- och underkant av ändsnitt med hjälp av
% Naviers formel.
% z=-x_II
sigma_cc = -1.05*P_i/A_II + (-1.05*P_i*e+M_g0)/I_II*(-x_II); % Beräkning
tryckspänning i ändsnitt. Naviers formel.
sigma_ccmax = 0.6*f_ck_40 ; % Maximal tillåten tryckspänning vid antagande om linjär
tryckkurva.
if sigma_ccmax >= abs(sigma_cc)
    disp(['sigma_ccmax = ', num2str(sigma_ccmax),' > ',num2str(abs(sigma_cc)), ' =
sigma_cc --> ok!'])

```

```

else
    disp(['sigma_ccmax ', num2str(sigma_ccmax), ' < ', num2str(abs(sigma_cc)), ' =
sigma_cc --> ej ok!'])
end

disp([' '])

% Beräkning av spänning på armering och spännarmeringsnivå. Naviers formel.
% z = d_sm-x_II
sigma_cs = -P_i/A_II + (-P_i*e+M_g0)/I_II*(d_sm-x_II); % Betongspänning på
armeringsnivå. Naviers formel

% Beräkning av stålspänning.
sigma_s = alfa_s * sigma_cs;
disp(['sigma_s = ', num2str(sigma_s/1e6), ' MPa']);

sigma_cp = -P_i/A_II + (-P_i*e+M_g0)/I_II*(d_pm-x_II); % Betongspänning på
förspänningsarmeringsnivå. Naviers formel

% Beräkning av spänning i förspänningskablar
sigma_p = alfa_p * sigma_cp; % Spänning i nivå med förpänningsstålet

sigma_p1 = sigma_p0i + alfa_p * sigma_p; % Ekv 6-14 [2] Spänning i förspänningsstål
när kablarna kapas.

disp(['sigma_p = ', num2str(sigma_p/1e6), ' MPa']);
disp(['sigma_p1 = ', num2str(sigma_p1/1e6), ' MPa']);

```

[Published with MATLAB® R2018b](#)

Bilaga T – Längsled brottgräns momentkapacitet

```
% Kapacitet i brottgränstillstånd. Böjande moment längsled.
% Betongklass C 60/75
% [1] Bärande konstruktioner del 1
% [2] Förspänd betong

clc
clear all

M_ed = 4225.5e3;% [Nm] Dimensionerade last i brottgränstillstånd
e_cc = 2.9e-3; % [-] Tabell B5.3 [1] Betongens kantstukning
alfa = 0.695; % Tabell B5.3 [1] Tryckblocksfaktor
beta = 0.377; % Tabell B5.3 [1] Tryckblocksfaktor

% Betong
% För härdad betong, klass C 60/75
gamma_c = 1.5; % [-] Partialkoefficient. S. B37 [1]
f_ck_60 = 60e6; % [Pa] Karakteristisk tryckhållfasthet Tabell B2.1 [1]
f_cd = f_ck_60/gamma_c; % [Pa] Dimensionerande tryckhållfasthet. Ekv. B2-3[1]

% Materialparametrar förspänningsstål
f_p1k = 1580e6; % [Pa] Karakteristiskt värde 0,1 %
f_puk = 1860e6; % [Pa] Karakteristisk drag-hållfasthet
gamma_s = 1.15; % [-] Partialkoefficient. Ekv. 9-2 [2]
f_pd = f_p1k/gamma_s; % [Pa] Dimensionerande karakteristisk(0,1% kvartil)
maxspänning i förspänningsstål
f_pud = f_puk/gamma_s; % [Pa] Dimensionerande karakteristisk maxtöjning i
förspänningsstål
E_p = 200e9; % [Pa] Elasticitetsmodul
A_pi = 150e-6; % [m^2] Area per spännenhet
e_puk = 3.5e-2; % [-] Max karakteristisk töjning
e_pud = 0.9 * e_puk; % [-] Dimensionerande maxtöjning
e_py = f_pd / E_p; % [-] flyttöjning förspänningsstål
P_i = 4.0e6; % [N] Spännkraften
n_p = 22; % Antal spännkablar
A_p = n_p * A_pi; % [m^2] Total area spännarmering
A_p1 = 18 * A_pi; % [m] Area understa lagret spännstål
A_p2 = 4 * A_pi; % [m] Area övre lagret spännstål

% Slakarmering B500B
f_td = 435e6; % [Pa] Flytgräns dimensionerande
E_s = 200e9; % [Pa] Elasticitetsmodul
n_s = 5; % Antal armeringsstänger
A_si = 0.025^2*pi/4; % [m^2] Area en armeringsstång
A_s = A_si*n_s; % [m^2] Total area för armeringsstänger
e_sy = 2.174e-3; % [-] Flyttöjning slakarmering

% Geometri [m]
bw = 0.23; %Bredd på liv
hw = 1.0; %Höjd på liv
bf1 = 0.7; %Bredd på nedre fläns
tf1 = 0.3; %Tjocklek nedre fläns
bf2 = 20.2/14; %Bredd övre fläns
```

```

tf2 = 0.3;           %Tjocklek övre fläns
h = tf2+hw+tf1;    %Total höjd

s_p = 25e-3; % [m]Armeringsavstånd förspänningsstål
C_cp = 75e-3; % [m]Täckande betongskikt förspänningsstål

s_s = 50e-3; % [m]Armeringsavstånd armering
C_cs = 70e-3;% [m]Täckande betongskikt armering

% Avstånd från ovkant balk med platta till tyngdpunkt av respektive
% armeringslager
d_s1 = tf2 + C_cs;      % [m] Övre slakarmeringslager
d_s2 = tf2 + C_cs + s_s; % [m] Undre slakarmeringslager

d_p1 = h - C_cp;      % [m] Undre spännarmeringslager (18 st)
d_p2 = h - C_cp - s_s; % [m] Övre spännarmeringslager (4 st)

% För tryckzon i övre fläns (platta)
% Beräkna neutrallagret x.
% Materialantaganden :
% - Antag att all spännarmering flyter vid brott
% - Antag att all slakarmering flyter vid brott

x=0;
for n = 0:1000
x = 0.001*n;
gamma_p = 1.0;
e_p0e = gamma_p*0.8*P_i/(E_p*A_p); % Långtidstöjning. 0.8 kompenserar för relaxation i
stålet vid långtidseffekt.

F_c = a1fa*f_cd*bf2*x;           % Kraft i tryckt betong

F_s1 = f_td*A_si*3; % Slakarmering flyter. Halva stålarean på respektive lager
F_s2 = f_td*A_si*2; % Slakarmering flyter. Halva stålarean på respektive lager

e_p1 = e_p0e+((d_p1-x)/x)*e_cc; % Töjning i förspänningsstål lager 1.
e_p2 = e_p0e+((d_p2-x)/x)*e_cc; % Töjning i förspänningsstål lager 2.

sigma_p1 = f_pd + (e_p1 - e_py)/(e_puk-e_py)*(f_pud-f_pd); % Spänning i
förspänningsstål lager 1. Spänningsnivån överstiger flytgränsen.
sigma_p2 = f_pd + (e_p2 - e_py)/(e_puk-e_py)*(f_pud-f_pd); % Spänning i
förspänningsstål lager 2. Spänningsnivån överstiger flytgränsen.

P_1 = sigma_p1*A_p1; % Kraft förspänningsstål lager 1
P_2 = sigma_p2*A_p2; % Kraft förspänningsstål lager 2

F_eq = F_c-F_s1-F_s2-P_1-P_2; % Endast betongen är tryckt. All armering antas ligga i
dragzon.

if abs(F_eq) <= 0.01e6
    break
end

if x > 0.3
    disp ('Tryckzon ryms ej i fläns')
    break

```

```

end
end

% Kontrollera för framtaget x om materialantaganden stämmer.

% Kontroll av antagande för förspänningsarmering (armering flyter)

if e_py < e_p1 && e_p1 < e_pud
    disp('Materialantagande om förspänningslager 1 ok')
    disp(' ')
else
    disp('Materialantagande om förspänningslager 1 felaktigt')
    disp(' ')
end

if e_py < e_p2 && e_p2 < e_pud
    disp('Materialantagande om förspänningslager 1 ok')
    disp(' ')
else
    disp('Materialantagande om förspänningslager 1 felaktigt')
    disp(' ')
end

% Kontroll av antagande för slakarmering (armering flyter)

e_s1 = ((d_s1-x)/x)*e_cc;
e_s2 = ((d_s2-x)/x)*e_cc;

if e_s1 > e_sy
    disp('Materialantagande om slakarmeringslager 1 ok')
    disp(' ')
else
    disp('Materialantagande om slakarmeringslager 1 felaktigt')
    disp(' ')
end

if e_s2 > e_sy
    disp('Materialantagande om slakarmeringslager 2 ok')
    disp(' ')
else
    disp('Materialantagande om slakarmeringslager 2 felaktigt')
    disp(' ')
end

% Beräkna momentkapacitet med momentekvation kring nedersta lager förspänningskablar.

M_rd = F_c * (d_p1-beta*x) - F_s1 * (d_p1-d_s1) - F_s2 * (d_p1-d_s2) - P_2 * (d_p1 -
d_p2);
disp('Momentkapaciteten beräknas till, ')
disp(['M_rd = ', num2str(M_rd/10^6), ' MNm'])

disp('Dimensionerande last i brottgränstillstånd,')
disp(['M_ed = ', num2str(M_ed/10^6), ' MNm'])
if M_rd > M_ed
    disp('kapacitet tillräcklig,')
else

```



```
disp('kapacitet ej tillräcklig,')  
  
end  
disp(['nyttjandegrad = ', num2str(M_ed/M_rd)])
```

[Published with MATLAB® R2018b](#)

Bilaga U – Tvärled inläggning av armering

```
clc
close all
clear all

% [1] Bärande konstruktioner del 1
```

Indata

```
% Tvärsnittsdata
L = 1; % [m] Beräkningar görs per längdmeter
h_platta = 0.3; % [m] Plattans höjd
A_c = L * h_platta; % [m^2] Betongtvärsnittsarea
d_approx = h_platta - 70e-3; % [m] Preliminär uppskattning av d

% Materialdata
% Betong C60/75
fctm = 4.4e6; % [Pa] Medelvärde draghållfasthet, Tabell B2.2 [1]

% Armering B500B
fyk = 500e6; % [Pa] Flytspänning för stålet
gamma_s = 1.15; % [-] Partialkoefficient för armering
fyd = fyk/gamma_s; % [Pa] Dimensionerande flytspänning

% Laster vid brottgränstillstånd
M_falt = 107.83e3; % [Nm]
M_stod = 75.86e3; % [Nm]

% Reduktion av moment över stöd enligt B1-3 [1]
R = 245.05e3; % [N] Stödreaktion vid maximal stödkraft
t = 0.23; % [m] Stödbredd, dvs livtjocklek
dM_stod = R * t / 8;
M_stod_red = M_stod - dM_stod;
```

Erforderlig armeringsarea

```
As_falt = M_falt / (fyd * 0.9 * d_approx);
As_stod = M_stod_red / (fyd * 0.9 * d_approx);

disp(['Erforderlig armeringsarea vid fältsnitt = ', num2str(As_falt*10^6), ' mm^2 (underkant)'])
disp(['Erforderlig armeringsarea vid stödsnitt = ', num2str(As_stod*10^6), ' mm^2 (överkant)'])
```

Val av armering

```
A_si_12 = pi * (12e-3)^2 / 4;
A_si_16 = pi * (16e-3)^2 / 4;
A_si_20 = pi * (20e-3)^2 / 4;
A_si_25 = pi * (25e-3)^2 / 4;
```

```

n_12 = [As_falt / A_si_12 , As_stod / A_si_12];
n_16 = [As_falt / A_si_16 , As_stod / A_si_16];
n_20 = [As_falt / A_si_20 , As_stod / A_si_20];
n_25 = [As_falt / A_si_25 , As_stod / A_si_25];

disp(' ')
label = {'Antal stänger i fält', 'Antal stänger i stöd'};
disp(table(n_12', n_16', n_20', n_25', 'VariableNames', {'phi_12' 'phi_16' 'phi_20'
'phi_25'}, 'rownames', label))

disp('Avrunda uppåt och välj 6 phi 16 i fält & 4 phi 16 i stöd')
phi = 16e-3;
n_falt = 6;
n_stod = 4;
As_falt = n_falt * A_si_16;
As_stod = n_stod * A_si_16;

disp(['Armeringsmängd fält = ', num2str(As_falt*10^6), ' mm^2'])
disp(['Armeringsmängd stöd = ', num2str(As_stod*10^6), ' mm^2'])

```

Kontroll av armeringsmängder

```

b_t = L; % [m] Bredd av dragzon

As_min = 0.26 * (fctm / fyk) * b_t * d_approx; % B4-21

if As_min < 0.0013 * b_t * d_approx
    As_min = 0.0013 * b_t * d_approx;
end

As_max = 0.04 * A_c; % B4-22

disp(' ')
disp(['Minimal armeringsmängd = ', num2str(As_min*10^6), ' mm^2'])
disp(['Maximal armeringsmängd = ', num2str(As_max*10^6), ' mm^2'])

disp(' ')
if As_falt > As_min && As_falt < As_max
    disp('As_min < As_falt < As_max')
    disp('Armeringsmängd i fält ok!')
else
    disp('Armeringsmängd i fält ej ok!')
end
disp(' ')
if As_stod > As_min && As_stod < As_max
    disp('As_min < As_stod < As_max')
    disp('Armeringsmängd i stöd ok!')
else
    disp('Armeringsmängd i stöd ej ok!')
end
disp(' ')

```

Tryckarmering

Utgå ifrån minimiarmeringskrav

```
n_16 = As_min / A_si_16;

% Tryckarmering krävs för fixering av tvärkraftsbyglar.
% Tre stänger tryckarmering per meter understiger Krav Brobyggandes (s.101)
% maximiavstånd mellan stänger på 300 mm. Därför väljs 4 phi 16!
n_tryck = 4;
As_tryck = n_tryck * A_si_16;

if As_tryck > As_min && As_tryck < As_max
    disp('As_min < As_tryck < As_max')
    disp('Tryckarmeringsmängd ok!')
else
    disp('Tryckarmeringsmängd ej ok!')
end
disp(' ')
```

Avstånd mellan stänger

Minimalt avstånd mellan stänger beräknas enligt B4-27 [1]

```
k1 = 1.0; % Nationell parameter
d_g = 20e-3; % Antag maximal kornstorlek 20 mm i ballast
k2 = 5e-3; % Nationell parameter

a_min = max([k1 * phi, d_g + k2, 20e-3]);
n_max = floor(1 / (phi + a_min));
disp(['Maximalt antal stänger per breddmeter = ', num2str(n_max), ' st'])

% Om det största antalet stänger (Dragarmering i fältsnitt) ryms kommer
% dragarmeringen i stöd rymmas och tryckarmeringen likaså.

if n_falt < n_max
    disp(['n_fält = ', num2str(n_falt), ' st < ', num2str(n_max), ' st = n_max'])
    disp('Armeringen får plats!')
else
    disp(['n_fält = ', num2str(n_falt), ' st > ', num2str(n_max), ' st'])
    disp('Armeringen får inte plats!')
end
disp(' ')
```

Tyngdpunkter armering

```
% Täckande betongskikt
C_nom = (55 + 12 + phi/2*10^3)*10^-3; % [m] Antag phi 12 byglar

d = h_platta - C_nom; % [m] Tyngdpunkt dragarmering
d_prim = C_nom; % [m] Tyngdpunkt tryckarmering
disp(['Tyngdpunkt dragarmering: ', num2str(d), ' m'])
disp(['Tyngdpunkt tyngdarmering: ', num2str(d_prim), ' m'])
```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Bilaga V – Tvärled brottgräns momentkapacitet

Kontroll av tvärsnitt i brottgränstillstånd

```
clc
close all
clear all

% [1] Bärande konstruktioner del 1
```

Tvärsnittsdata

```
L = 1; % [m] Beräkningar görs per längdmeter
h_platta = 0.3; % [m] Plattans höjd
A_c = L * h_platta; % [m^2] Betongtvärsnittsarea
d = 0.225; % [m] Dragarmeringens tyngdpunkt
d_prim = h_platta - d; % [m] Tryckarmeringens tyngdpunkt

% Armering
phi = 16e-3; % [m] Armeringsdiameter
Asi = pi * phi^2 / 4; % [m^2] Areal av ett armeringsjärn
n_falt = 6; % Antal stänger dragarmering i fältsnitt
n_stod = 4; % Antal stänger dragarmering i stödsnitt
n_falt_prim = 4; % Antal stänger tryckarmering i fältsnitt
n_stod_prim = 4; % Antal stänger tryckarmering i stödsnitt
As_falt = n_falt * Asi;
As_stod = n_stod * Asi;
As_falt_prim = n_falt_prim * Asi;
As_stod_prim = n_stod_prim * Asi;
```

Materialdata

```
% Armering phi 16 B500B
fyk = 500e6; % [Pa] Flytspänning för stålet, Tabell B2.11 [1]
gamma_s = 1.15; % [-] Partialkoefficient för armering
fyd = fyk/gamma_s; % [Pa] Dimensionerande flytspänning, Ekvation B2-25 [1]
Es = 200e9; % [Pa] E-modul för stålet, Ekvation B2-26 [1]
eps_sy = fyd/Es; % [-] Flyttöjning för stålet

% Betong C60/75
fck = 60e6; % [Pa] Karaktäristisk tryckhållfasthet, Tabell B2.1 [1]
gamma_c = 1.5; % [-] Partialkoefficient för betong
fcd = fck / gamma_c; % [Pa] Dimensionerande tryckhållfasthet, Ekvation B2-3 [1]
eps_cu = 2.9e-3; % Tabell B2.4 [1]
% Tryckblocksfaktorer för C60/75, Tabell B5.1 [1]
alpha = 0.695;
beta = 0.377;
```

Dimensionerande moment

```
M_falt = 107.83e3;      % [Nm]
M_stod_red = 68.81e3;  % [Nm]
```

Brottgräns i fält

```
disp('Kontroll av brottgräns i fält')
disp('Antag att tryckarmeringen ligger inom tryckzonen, dvs x > d_prim')
disp('Antag att drag- och tryckarmeringen flyter, dvs sigma_s = fyd * As')
disp(' ')

% Projektionsekvation ger Fc + Fs_prim = Fs
% => alpha * fcd * L * x + fyd * As_prim = fyd * As_falt
% x löses ut till:

x_falt = fyd * (As_falt - As_falt_prim) / (alpha * fcd * L);

% kontroll av tryckzonens läge
if x_falt > d_prim
    disp('Antagande ok i fält - x_falt > d_prim')
else
    disp('Antagande ej ok i fält - x_falt < d_prim')
    disp('=> Fs_prim har fel riktning, ny projektionsekvation lyder:')
    disp('  Fc = Fs + Fs_prim')
    x_falt = fyd * (As_falt + As_falt_prim) / (alpha * fcd * L);
    disp(['x_falt = ', num2str(x_falt), ' < ', num2str(d_prim), ' = d_prim'])
end

disp(' ')

% kontroll av antagande att armeringen flyter
disp('Kontroll av antagande att all armering flyter i fält')
eps_s_falt = (d - x_falt) / x_falt * eps_cu;
eps_s_falt_prim = (d_prim - x_falt) / x_falt * eps_cu;

if eps_s_falt > eps_sy && eps_s_falt_prim > eps_sy
    disp('All armering flyter!')
    disp('Momentjämvikt kring Fs ger:')
    disp('M_Rd = Fc * (d - beta * x) - Fs_prim * (d - d_prim)')
    M_Rd_falt = alpha * fcd * L * x_falt * (d - beta * x_falt) + fyd * As_falt_prim *
    (d - d_prim);
    disp(['M_Rd_falt = ', num2str(M_Rd_falt/10^3), ' kNm'])

elseif eps_s_falt > eps_sy && eps_s_falt_prim < eps_sy
    disp(['eps_s_falt = ', num2str(eps_s_falt), ' > ', num2str(eps_sy), ' = eps_sy ->
    ok!'])
    disp(['eps_s_falt_prim = ', num2str(eps_s_falt_prim), ' < ', num2str(eps_sy), ' =
    eps_sy -> ej ok!'])
    disp('Antagande ej ok!: Dragarmering flyter men tryckarmering flyter ej!')
    disp('=> Ny projektionsekvation krävs!')
    disp(' ')
    disp('Ansätt sigma_s_prim = Es * eps_s_falt_prim ')
    disp('och lös sedan ut x_falt från projektionsekvation.')
    x_falt = (fyd * As_falt + Es * eps_s_falt_prim * As_falt_prim) / (alpha * fcd *
    L);
```

```

disp(['Nytt värde: x_falt = ',num2str(x_falt),' m'])
disp(' ')
disp('Tidigare antagande om tryckzon:')
disp(['x_falt = ',num2str(x_falt),' < ',num2str(d_prim),' = d_prim'])
disp('=> ok!')
disp(' ')
disp('Kontrollera att dragarmering flyter och att tryckarmering ej flyter')
eps_s_falt = (d - x_falt) / x_falt * eps_cu;
eps_s_falt_prim = (d_prim - x_falt) / x_falt * eps_cu;
disp(['eps_s_falt = ',num2str(eps_s_falt),' > ',num2str(eps_sy),' = eps_sy ->
ok!'])
disp(['eps_s_falt_prim = ',num2str(eps_s_falt_prim),' < ',num2str(eps_sy),' =
eps_sy -> ok!'])
disp(' ')
disp('Momentjämvikt kring Fs ger:')
disp('M_Rd = Fc * (d - beta * x) - Fs_prim * (d - d_prim)')
M_Rd_falt = alpha * fcd * L * x_falt * (d - beta * x_falt) - Es * eps_s_falt_prim
* As_falt_prim * (d - d_prim);
disp(['M_Rd_falt = ',num2str(M_Rd_falt/10^3),' kNm'])
end
disp(' ')

% kontroll av kapacitet i fält
if M_Rd_falt > M_falt
disp(['Nyttjandegrad i fält: ',num2str(round(M_falt/M_Rd_falt*100)), '%'])
disp('Tvärsnittet har erforderlig kapacitet i fält!')
else
disp(['Nyttjandegrad i fält: ',num2str(round(M_falt/M_Rd_falt*100)), '%'])
disp('Tvärsnittet har EJ erforderlig kapacitet i fält!')
end

disp(['Seghet i fält = x_falt / d = ',num2str(x_falt / d), ' < 0.35 -> ok!'])
disp(' ')
disp('-----')

```

Brottgräns i stöd

```

disp('Kontroll av brottgräns i stöd')
disp('Antag att tryckarmeringen ligger inom tryckzonen, dvs x > d_prim')
disp('Antag att drag- och tryckarmeringen flyter, dvs sigma_s = fyd * As')
disp(' ')

% Projektionsekvation ger Fc + Fs_prim = Fs
% => alpha * fcd * L * x + fyd * As_prim = fyd * As_falt
% x löses ut till:

x_stod = fyd * (As_stod - As_stod_prim) / (alpha * fcd * L);

if x_stod > d_prim
disp('Antagande ok - x_stod > d_prim')
else
disp('Antagande ej ok i stöd - x_stod < d_prim')
disp('=> Fs_prim har fel riktning, ny projektionsekvation lyder:')
disp(' Fc = Fs + Fs_prim')
x_stod = fyd * (As_stod + As_stod_prim) / (alpha * fcd * L);

```



```

disp(['x_stod = ', num2str(x_stod), ' < ', num2str(d_prim), ' = d_prim'])
end
disp(' ')

% Kontroll av antagande att armeringen flyter i stöd
disp('Kontroll av antagande att all armering flyter i stöd')
eps_s_stod = (d - x_stod) / x_stod * eps_cu;
eps_s_stod_prim = (d_prim - x_stod) / x_stod * eps_cu;

if eps_s_stod > eps_sy && eps_s_stod_prim > eps_sy
disp('All armering flyter!')
disp('Momentjämvikt kring Fs ger:')
disp('M_Rd = Fc * (d - beta * x) - Fs_prim * (d - d_prim)')
M_Rd_stod = alpha * fcd * L * x_stod * (d - beta * x_stod) + fyd * As_stod_prim *
(d - d_prim);
disp(['M_Rd_stod = ', num2str(M_Rd_stod/10^3), ' kNm'])

elseif eps_s_stod > eps_sy && eps_s_stod_prim < eps_sy
disp(['eps_s_stod = ', num2str(eps_s_stod), ' > ', num2str(eps_sy), ' = eps_sy ->
ok!'])
disp(['eps_s_stod_prim = ', num2str(eps_s_stod_prim), '< ', num2str(eps_sy), ' =
eps_sy -> ej ok!'])
disp('Antagande ej ok!: Dragarmering flyter men tryckarmering flyter ej!')
disp('=> Ny projektionsekvation krävs!')
disp(' ')
disp('Ansätt sigma_s_prim = Es * eps_s_falt_prim ')
disp('och lös sedan ut x_falt från projektionsekvation.')
x_stod = (fyd * As_stod + Es * eps_s_stod_prim * As_stod_prim) / (alpha * fcd *
L);
disp(['Nytt värde: x_stod = ', num2str(x_stod), ' m'])
disp(' ')
disp('Tidigare antagande om tryckzon:')
disp(['x_stod = ', num2str(x_stod), ' < ', num2str(d_prim), ' = d_prim'])
disp('=> ok!')
disp(' ')
disp('Kontrollera att dragarmering flyter och att tryckarmering ej flyter')
eps_s_stod = (d - x_stod) / x_stod * eps_cu;
eps_s_falt_prim = (d_prim - x_stod) / x_stod * eps_cu;
disp(['eps_s_stod = ', num2str(eps_s_stod), ' > ', num2str(eps_sy), ' = eps_sy ->
ok!'])
disp(['eps_s_stod_prim = ', num2str(eps_s_stod_prim), '< ', num2str(eps_sy), ' =
eps_sy -> ok!'])
disp(' ')
disp('Momentjämvikt kring Fs ger:')
disp('M_Rd = Fc * (d - beta * x) - Fs_prim * (d - d_prim)')
M_Rd_stod = alpha * fcd * L * x_stod * (d - beta * x_stod) - Es * eps_s_stod_prim
* As_stod_prim * (d - d_prim);
disp(['M_Rd_stod = ', num2str(M_Rd_stod/10^3), ' kNm'])
end
disp(' ')

% Kontroll av kapacitet i stöd
if M_Rd_stod > M_stod_red
disp(['Nyttjandegrad i stöd: ', num2str(round(M_stod_red/M_Rd_stod*100)), '%'])
disp('Tvärsnittet har erforderlig kapacitet i stöd!')
else

```

```
disp(['Nyttjandegrad i stöd: ', num2str(round(M_stod_red/M_Rd_stod*100)), '%'])  
disp('Tvärsnittet har EJ erforderlig kapacitet i stöd!')  
end  
  
disp(['seghet i stöd =  $x_{stod} / d =$  ', num2str(x_stod / d), ' < 0.35 -> ok!'])
```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Bilaga W – Tvärled brottgräns tvärkraftskapacitet

Kontroll av tvärkraftskapacitet i brottgränstillstånd

```
clc
close all
clear all

% [1] Bärande konstruktioner del 1
```

Indata

Tvärsnittsdata

```
L = 1; % [m] Beräkningar görs per längdmeter
h_platta = 0.3; % [m] Plattans höjd
d = 0.225; % [m] Dragarmeringens tyngdpunkt

% Armering
phi = 16e-3; % [m] Armeringsdiameter
Asi = pi * phi^2 / 4; % [m^2] Areal av ett armeringsjärn
n_stod = 4; % Antal stänger dragarmering i stödsnitt
n_stod_prim = 4; % Antal stänger tryckarmering i stödsnitt
As_stod = n_stod * Asi;
As_stod_prim = n_stod_prim * Asi;

% Materialdata
% Betong C60/75
fck = 60e6;
gamma_c = 1.5;
fcd = fck / gamma_c;

% Tvärarmering
fywk = 500e6; % [Pa] Flytspänning för stålet
gamma_s = 1.15; % [-] Partialkoefficient för armering
fywd = fywk/gamma_s; % [Pa] Dimensionerande flytspänning

% Maximal tvärkraft i brottgränstillstånd
V_Ed = 296.93e3;
% Tvärkraften reduceras inte vilket innebär en överdimensionering och är
% således på säker sida.
```

Kontroll av livtryckbrott

Kontroll av livtryckbrott utförs enligt B6-11 [1]

```
v = 0.6 * (1 - (fck * 10^-6) / 250); % Nationell parameter
bw = L; % Bredd mellan drag- och tryckzon

disp('Kontroll av livtryckbrott:')
if V_Ed < v * fcd * bw * d
    disp(['V_Ed = ', num2str(V_Ed/10^3), ' kN < ', num2str(v * fcd * bw * d / 10^3), '
kN = v * fcd * bw * d'])
    disp('Ingen risk för livtryckbrott finns!')
```

```

else
    disp(['V_Ed = ', num2str(V_Ed), ' > ', num2str(v * fcd * bw * d), ' = v * fcd * bw *
d'])
    disp('Risk för livtryckbrott finns!')
end
disp(' ')

```

Tvärkraftskapacitet utan tvärkraftsarmering

```

% Tvärkraftskapaciteten utan tvärkraftsarmering, dvs betongens bidrag,
% beräknas enligt B6-14 [1]

C_Rd_c = 0.18 / gamma_c;
k = 1 + sqrt(200 / d / 10^3);
if k > 2.0
    k = 2.0;
end

As_l_stod = As_stod;
rho_l_stod = As_l_stod / (bw * d);
if rho_l_stod > 0.02
    rho_l_stod = 0.02;
end

disp('Kontroll av tvärkraftskapacitet utan tvärkraftsarmering i stöd:')
V_Rd_c_stod = C_Rd_c * k * (100 * rho_l_stod * fck / 10^6)^(1/3) * bw * 10^3 * d *
10^3;
if V_Rd_c_stod < 0.035 * k^(3/2) * (fck / 10^6)^(1/2) * bw * 10^3 * d * 10^3
    V_Rd_c_stod = 0.035 * k^(3/2) * (fck / 10^6)^(1/2) * bw * 10^3 * d * 10^3;
end

if V_Rd_c_stod > V_Ed
    disp(['V_Ed = ', num2str(V_Ed/10^3), ' kN < ', num2str(V_Rd_c_stod / 10^3), ' kN =
V_Rd_c_stod'])
    disp('Tvärkraftskapaciteten i stöd utan tvärkraftsarmering är tillräcklig!')
    disp('-> Ingen tvärkraftsarmering krävs i stöd!')
else
    disp(['V_Ed = ', num2str(V_Ed/10^3), ' kN > ', num2str(V_Rd_c_stod / 10^3), ' kN =
V_Rd_c_stod'])
    disp('Tvärkraftskapaciteten i stöd utan tvärkraftsarmering är ej tillräcklig!')
    disp('-> Tvärkraftsarmering krävs i stöd!')
end
disp(' ')

```

Krossning av sned trycksträva

```

% Trycksträvornas lutning väljs till 40 grader
theta = 40 * pi/180; % Omvandling till radianer

% Tvärkraftskapacitet för livtryckbrott med tvärkraftsarmering beräknas
% enligt B6-19 [1]
alpha_cw = 1.0; % Nationell parameter
bw = bw; % Tidigare använd parameter
v1 = v; % Tidigare använd parameter

```

```

z = 0.9 * d;
V_Rd_max = alpha_cw * bw * z * v1 * fcd * 1 / (cot(theta) + tan(theta));

disp('Kontroll av livtryckbrott med vertikal tvärkraftsarmering:')
if V_Rd_max > V_Ed
    disp(['V_Ed = ', num2str(V_Ed/10^3), ' kN < ', num2str(V_Rd_max/10^3), ' kN =
V_Rd_max'])
    disp('Ingen risk för livtryckbrott finns!')
else
    disp(['V_Ed = ', num2str(V_Ed/10^3), ' kN > ', num2str(V_Rd_max/10^3), ' kN =
V_Rd_max'])
    disp('Risk för livtryckbrott finns!')
end
disp(' ')

```

Dimensionering av tvärkraftsarmering

```

% Vertikala byglar väljs
alpha = 90 * pi/180;

% Välj 2 st tvåskäriga phi 12 byglar
phi_w = 12e-3;
Asw = 4 * pi * phi_w^2 / 4;

% Erforderligt s-avstånd beräknas med omskrivning av B6-29 [1]
s = (Asw / V_Ed) * z * fywd * cot(theta);
s = floor(s*100)/100;

disp(['Välj 2 st tvåskäriga phi 12 byglar med s = ', num2str(s*10^3), ' mm'])
disp(' ')

```

Kontroll av tvärarmeringsmängder samt s-avstånd

```

% Minsta mängd tvärkraftsarmering kontrolleras enligt B6-24 [1]
rho_w_min = 0.08 * sqrt(fck / 10^6) / (fywk / 10^6);

% Tvärarmerings innehåll enligt B6-25 [1]
rho_w = Asw / (s * bw * sin(alpha));

disp('Kontroll av tvärkraftsarmeringsmängd:')
if rho_w > rho_w_min
    disp(['rho_w_min = ', num2str(rho_w_min), ' < ', num2str(rho_w), ' = rho_w'])
    disp('Tvärkraftsarmeringsmängden är ok!')
else
    disp(['rho_w_min = ', num2str(rho_w_min), ' > ', num2str(rho_w), ' = rho_w'])
    disp('Tvärkraftsarmeringsmängden är ej ok!')
end
disp(' ')

% Maximalt s-avstånd beräknas enligt B6-26 [1]
s_l_max = 0.75 * d * (1 + cot(alpha));

disp('Kontroll av s-avstånd:')
if s > s_l_max

```

```

disp(['s = ',num2str(s*10^3),' mm > ',num2str(s_l_max*10^3), ' mm = s_l_max'])
disp('s-avståndet är för stort! -> Ej ok!')
s = floor(s_l_max*100)/100;
disp(['Välj s = ',num2str(s*1000),' mm'])
else
disp(['s = ',num2str(s*10^3),' mm < ',num2str(s_l_max*10^3), ' mm = s_l_max'])
disp('s-avståndet är litet nog! -> ok!')
end
disp(' ')

% Tvärkraftskapacitet
V_Rd_s = Asw * z * fywd * cot(theta) / s;
disp(['Tvärkraftskapacitet = ',num2str(V_Rd_s/10^3),' kN'])
disp(['Nyttjandegrad = ',num2str(round(V_Ed/V_Rd_s*100)),'%'])

```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Bilaga X – Tvärled sprickbredd

Kontroll av tvärsnitt i bruksgränstillstånd

```
clc
close all
clear all

% [1] Bärande konstruktioner del 1
% [2] Bärande konstruktioner del 2
```

Tvärsnittsdata

```
L = 1; % [m] Beräkningar görs per längdmeter
h_platta = 0.3; % [m] Plattans höjd
A_c = L * h_platta; % [m^2] Betongtvärsnittsarea
I_I = L * h_platta^3 / 12; % [m^4] Betongens yttröghetsmoment
d = 0.225; % [m] Dragarmeringens tyngdpunkt
d_prim = h_platta - d; % [m] Tryckarmeringens tyngdpunkt

% Armering
phi = 16e-3; % [m] Armeringsdiameter
Asi = pi * phi^2 / 4; % [m^2] Areal av ett armeringsjärn
n_falt = 6; % Antal stänger dragarmering i fältsnitt
n_stod = 4; % Antal stänger dragarmering i stödsnitt
n_falt_prim = 4; % Antal stänger tryckarmering i fältsnitt
n_stod_prim = 4; % Antal stänger tryckarmering i stödsnitt
As_falt = n_falt * Asi;
As_stod = n_stod * Asi;
As_falt_prim = n_falt_prim * Asi;
As_stod_prim = n_stod_prim * Asi;
```

Materialdata

Betong C60/75

```
fck = 60e6; % [Pa] Karaktäristisk tryckhållfasthet, Tabell B2.1 [1]
gamma_c = 1.5; % [-] Partialkoefficient för betong
fcd = fck / gamma_c; % [Pa] Dimensionerande tryckhållfasthet, Ekvation B2-3 [1]
fcm = fck + 8e6; % [Pa] Medelvärde tryckhållfasthet, Ekvation B2-2 [1]
fctm = 4.4e6; % [Pa] Medelvärde draghållfasthet, Tabell B2.2 [1]
fctk_frakt5 = 3.1e6; % [Pa] Undre karaktäristisk draghållfasthet, Tabell B2.2 [1]
Ecm = 39e9; % [Pa] Medelvärde E-modul, Tabell B2.3 [1]

% Armering phi 16 B500B
fyk = 500e6; % [Pa] Flytspänning för stålet, Tabell B2.11 [1]
gamma_s = 1.15; % [-] Partialkoefficient för armering
fyd = fyk/gamma_s; % [Pa] Dimensionerande flytspänning, Ekvation B2-25 [1]
Es = 200e9;

% Faktor för ekvivalent betongarea (utan krypning)
alfa = Es / Ecm;
```

Dimensionerande moment

```
% Karaktäristisk lastkombination
M_fält_karak = 71.46e3;      % [Nm]
M_stod_karak = 50.62e3;     % [Nm]

% Kvasi-permanent lastkombination
M_fält_kvasi = 1.48e3;      % [Nm]
M_stod_kvasi = 7.21e3;     % [Nm]
```

Spricker plattan?

Sprickbildning anses negativt ur beständighetsperspektiv -> fct_frakt5 används!
Sprickkriterium: $\sigma_{ct} \leq f_{ct} = k * f_{ctk_frakt5}$

```
k = 1.6 - h_platta * 10^3 / 1000;
fct_fl = k * fctk_frakt5;
sigma_cr = fct_fl;

% Naviers formel ger kritiskt moment enligt:
M_cr = sigma_cr * I_I / ( h_platta / 2);

if M_cr > M_fält_karak
    disp(['M_cr = ', num2str(M_cr / 10^3), ' kNm > ', num2str(M_fält_karak / 10^3), ' kNm = M_fält_karak'])
    disp('Plattan spricker inte i fält!')
else
    disp(['M_cr = ', num2str(M_cr / 10^3), ' kNm < ', num2str(M_fält_karak / 10^3), ' kNm = M_fält_karak'])
    disp('Plattan spricker i fält!')
end
disp(' ')

if M_cr > M_stod_karak
    disp(['M_cr = ', num2str(M_cr / 10^3), ' kNm > ', num2str(M_stod_karak / 10^3), ' kNm = M_stod_karak'])
    disp('Plattan spricker inte i stöd! -> Stadium I och inga vidare kontroller utförs i stöd')
else
    disp(['M_cr = ', num2str(M_cr / 10^3), ' kNm < ', num2str(M_stod_karak / 10^3), ' kNm = M_stod_karak'])
    disp('Plattan spricker i stöd!')
end
disp(' ')
```

Långtidseffekter - Krypning

```
% Antag luftfuktighet på 80% i utomhusmiljö
RH = 80;

% Omkrets av tvärsnitt som utsätts för uttorkning:
% Enbart undersidan torkar då ovasidan är skyddad av beläggning
u = L;
```



```

% Ekvivalent tjocklek
h0 = 2 * A_c / u * 10^3; % [mm]

% ekv B2-24 (fcm > 35 MPa):
phi_RH = (1 + (1 - RH / 100)/(0.1 * h0^(1/3))) * ((35 / (fcm/10^6))^0.7) * (((35 / (fcm/10^6))^0.2));
beta_fcm = 2.04; % tab B2.9
beta_t0 = 0.48; % fig B2.20

phi_kryp = phi_RH * beta_fcm * beta_t0; % ekv B2-23
alfa_eff = (Es/Ecm)*(1 + phi_kryp); % ekv B7-67
Ec_eff = Ecm / (1 + phi_kryp);

```

Långtidseffekter - Krympning

```

kh = 0.7; % tab B2.7 [1] h0 = 600 mm
beta_RH = 0.756; % tab B2.6 [1] RH = 80%
eps_cdi = 0.248*1e-3; % tab B2.5 [1] fck = 60 MPa, klass N

eps_cd = kh * beta_RH * eps_cdi; % ekv B2-18 [1]
eps_ca = 0.125e-3; % tab 2.8 [1] fck = 60 MPa
eps_cs_inf = eps_cd + eps_ca; % ekv B2-17 [1]

```

Tvärsnittskonstanter - Stadium II

```

% Krympningens inverkan beaktas approximativt, dvs x ~ x_tp
% Tyngdpunktsekvation:
% L * x^2 / 2 + (alfa_eff - 1) * As_prim * (d_prim - x) =
% = alfa_eff * As * (d - x)

% Fält
syms x_falt
x_falt = solve(L * x_falt^2 / 2 + (alfa_eff - 1) * As_falt_prim * (d_prim - x_falt) ==
alfa_eff * As_falt * (d - x_falt), x_falt);
x_falt = max(double(x_falt));
A_II_falt = L * x_falt + (alfa_eff - 1) * As_falt_prim + alfa_eff * As_falt;
I_II_falt = L * x_falt^3 / 3 + (alfa_eff - 1) * As_falt_prim * (x_falt - d_prim)^2 +
alfa_eff * As_falt * (d - x_falt)^2;

```

Krympkrafter

```

% Krympkrafter beräknas enligt ekvation B7-61 [2]
Fcs_falt = eps_cs_inf * Es * As_falt;
Fcs_falt_prim = eps_cs_inf * Es * As_falt_prim;
ecs_falt = x_falt - d;
ecs_falt_prim = x_falt - d_prim;

```

Påkänningar

Spänningar vid olika nivåer beräknas med Naviers formel: $\sigma_c(z) = (Fcs+Fcs_prim)/A_II + (Fcs*ecs+Fcs_prim*ecs_prim+M)/I_II * z$

```

% Betongpåkänning i överkant för fältsnitt och underkant för stödsnitt
disp('Betongtryckspänning begränsas i bruksstadiet till: sigma_cc < 0.60 * fck')
sigma_cc_falt = (Fcs_falt+Fcs_falt_prim)/A_II_falt +
(Fcs_falt*ecs_falt+Fcs_falt_prim*ecs_falt_prim+M_falt_kvasi)/I_II_falt * (-x_falt);
disp(['sigma_cc_falt = (-)',num2str(abs(sigma_cc_falt)/10^6),' MPa <
',num2str(0.60*fck/10^6),' MPa = 0.60 * fck -> Ok!'])
disp(' ')

% Stålspänning i drag och tryckarmering
sigma_s_falt_d = (-Fcs_falt-Fcs_falt_prim)/A_II_falt + alfa_eff *
((Fcs_falt+Fcs_falt_prim)/A_II_falt +
(Fcs_falt*ecs_falt+Fcs_falt_prim*ecs_falt_prim+M_falt_kvasi)/I_II_falt * (x_falt-d));
sigma_s_falt_d_prim = (-Fcs_falt-Fcs_falt_prim)/A_II_falt + alfa_eff *
((Fcs_falt+Fcs_falt_prim)/A_II_falt +
(Fcs_falt*ecs_falt+Fcs_falt_prim*ecs_falt_prim+M_falt_kvasi)/I_II_falt * (x_falt-
d_prim));

disp('Stålspänningen begränsas i bruksstadiet till: sigma_s < 0.80 * fyk')
disp(['sigma_s_falt_d = ',num2str(sigma_s_falt_d/10^6),' MPa <
',num2str(0.80*fyk/10^6),' MPa = 0.80 * fyk -> Ok!'])
disp(['sigma_s_falt_d_prim = ',num2str(sigma_s_falt_d_prim/10^6),' MPa <
',num2str(0.80*fyk/10^6),' MPa = 0.80 * fyk -> Ok!'])
disp(' ')

```

Sprickbredd

```

% Tillåtet sprickavstånd
w_k_till = 0.3e-3; % Tabell 5. Kap 6.1 Exponerings- och säkerhetsklasser

% Sprickavstånd beräknas i fält och stöd enligt B9-11 [2]
% s_rmax = k3 * c + k1 * k2 * k4 * phi / rho_pef

c = 45e-3; % Täckande betongskikt
k1 = 0.8; % Kamstänger
k2 = 0.5; % B9-12 Ren böjning
k3 = 3.4; % Nationell parameter
k4 = 0.425; % Nationell parameter
phi = 16e-3; % Armeringsdiameter

% Effektiv betonghöjd beräknas i fält och stöd enligt B9-13 [2]
h_cef_falt = min([2.5*(h_platta - d),(h_platta - x_falt)/3,h_platta/2]);
A_cef_falt = h_cef_falt * L;
rho_pef_falt = (As_falt + As_falt_prim) / A_cef_falt;

s_rmax_falt = k3 * c + k1 * k2 * k4 * phi / rho_pef_falt;

% Skillnad i betongens och stålets medeltöjning uppskattas enligt B9-19 [2]
% eps_sm - eps_cm = delta_eps_m = (sigma_s - kt * fctm / rho_pef * (1 +
% alfa * rho_pef)) / Es, dock minst 0.6 * sigma_s / Es
kt = 0.4; % Långtidslast
delta_eps_m_falt = (sigma_s_falt_d - kt * fctm / rho_pef_falt * (1 + alfa *
rho_pef_falt)) / Es;
if delta_eps_m_falt < 0.6 * sigma_s_falt_d / Es
    delta_eps_m_falt = 0.6 * sigma_s_falt_d / Es;

```

```

end

% Karaktäristisk sprickbredd beräknas enligt B9-18 [2]
% w_k = s_rmax * delta_eps_m
w_k_falt = s_rmax_falt * delta_eps_m_falt;

if w_k_falt > w_k_till
    disp(['w_k_falt = ',num2str(w_k_falt*10^3),' mm > ',num2str(w_k_till*10^3), ' mm
= w_k_till'])
    disp('Sprickbredden tillfredsställer ej kravet!')
    disp('Åtgärd för reduktion av sprickbredd krävs!')
else
    disp(['w_k_falt = ',num2str(w_k_falt*10^3),' mm < ',num2str(w_k_till*10^3), ' mm
= w_k_till'])
    disp('Sprickbredden tillfredsställer kravet!')
end

```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Bilaga Y – Längdutvidgning

```
% Längdutvidgning. Beräknat enligt SS-EN 1991-1-5, avsnitt 6.1.3.
%
% Jämmt fördelad temperaturkomponent

T_min=-27; % [C] Mintemperatur Karlshamn, se kapitel 2.1.
T_max=33; % [C] Maxtemperatur Karlshamn, se kapitel 2.1.
To = 10; % [C] Initiell brotemperatur.
a = 10e-6; % [1/K] Längdutvidgningskoefficient. SS-EN 1991-1-5, tab C.1.
L = 25; % [m] Brons spännvidd

% Karakteristiska temperaturvärden
T_emin = T_min + 8; % [C] Enligt figur 6.1, Type 3 (concrete). SS-EN 1991-1-5.
T_emax = T_max + 2; % [C] Enligt figur 6.1, Type 3 (concrete). SS-EN 1991-1-5.
T_Ncon = To - T_emin; % [C] Enligt 6.1.3, SS-EN 1991-1-5.
T_Nexp = T_emax - To; % [C] Enligt 6.1.3, SS-EN 1991-1-5.

% Rekommenderade dimensionerande värden (för ej angiven monterings-temperatur).
dT_Ncon = T_Ncon + 20; % [C] Dimensionerande temperaturskillnad kontraktion.
dT_Nexp = T_Nexp + 20; % [C] Dimensionerande temperaturskillnad expansion.
dT_tot = T_emax - T_emin; % [C] Största temperaturskillnader.

% Längdutvidgningen blir,

dL_con = a*L*dT_Ncon % [m] Maximal kontraktion för bron.
dL_exp = a*L*dT_Nexp % [m] Maximal expansion för bron.
dL = a*L*dT_tot % [m] Total längdändring för bron.
```

[Published with MATLAB® R2018b](#)