



CHALMERS

Preliminär dimensionering och produktionsplanering av en platsgjuten plattrambro

En studie av byggbarhet, armeringsutformning och klimatpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

AXEL ENGSTRÖM
VICTOR ISAKSSON

EXAMENSARBETE ACEX20

Preliminär dimensionering och produktionsplanering av en platsgjuten plattrambro

En studie av byggbarhet, armeringsutformning och klimatpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

AXEL ENGSTRÖM

VICTOR ISAKSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Examinator Rasmus Rempling

Handledare Rasmus Rempling

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2026

Preliminär dimensionering och produktionsplanering av en platsgjuten plattrambro

En studie av byggbarhet, armeringsutformning och klimatpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

AXEL ENGSTRÖM

VICTOR ISAKSSON

© AXEL ENGSTRÖM, VICTOR ISAKSSON, 2026

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2026

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2026

Preliminär dimensionering och produktionsplanering av en platsgjuten plattrambro

En studie av byggbarhet, armeringsutformning och klimatpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

AXEL ENGSTRÖM

VICTOR ISAKSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Mellan Götene och Mariestad planeras en ny vägsträckning och utbyggnad av E20 där totalt 13 broar planeras uppföras. En av dessa broar ligger till grund för arbetet där en preliminär dimensionering ska göras utifrån en preliminär förslagsskiss och platsens förutsättningar. Syftet med arbetet är att undersöka tre olika tvärsnitt av en överbyggnad och studera hur byggbarheten varierar mellan dessa och vilka målkonflikter som uppstår kopplade till byggbarhet. Dimensioneringen har utförts utifrån Eurokods krav på bärförmåga och beständighet där en längsgående 1-meterstrimla av brobanan studerats. Byggbarheten har beaktats utifrån armeringsinläggningens komplexitet och armeringsmängden.

Resultatet visar att slankare tvärsnitt resulterar i en lägre materialdriven klimatpåverkan men ökar även risken för en försämrad byggbarhet då en högre armeringsmängd krävs. På motsvarande sätt skapar ett större tvärsnitt ökade förutsättningar till en bättre armeringsinläggning men även risken för en försämrad klimatpåverkan.

Slutsatsen av arbetet är att dimensionering av konstruktioner inte exklusivt bör baseras på krav för bärförmåga och beständighet utan även att klimatpåverkan och byggbarhet bör tas hänsyn till i ett tidigt skede. Studien visar en tydlig målkonflikt mellan klimatpåverkan och byggbarhet. En avvägning måste därför göras kring vilken aspekt som prioriteras i projektet, då val av tvärsnittshöjd påverkar utfallet.

Nyckelord: Plattrambro, Preliminär dimensionering, MATLAB, Brodimensionering, Produktionsplanering, Rationell armeringsinläggning, Byggbarhet, Eurokod, Klimatpåverkan

Preliminary Structural Design and Construction Planning of a Cast-in-Place Slab
Frame Bridge

A Study of Constructability, Reinforcement Detailing and Climate Impact

Degree Project in the Civil Engineering Programme

Civil and Environmental Engineering

AXEL ENGSTRÖM

VICTOR ISAKSSON

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Structural Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Between Götene and Mariestad, a new road alignment and expansion of E20 highway is planned, including the construction of 13 bridges. One of these bridges forms the basis of this study, in which a preliminary structural design was carried out based on a conceptual sketch and the site-specific conditions. The aim of the study was to investigate three different cross-sections of a slab frame bridge deck and examine how constructability varies between them, as well as identify conflicts related to constructability. The structural design was performed according to Eurocode requirements for load-bearing capacity and durability, where a longitudinal 1-meter strip of the bridge deck was studied. Constructability was evaluated based on the complexity of the reinforcement detailing and the amount of reinforcement required.

The results show that more slender cross-sections reduce the material-driven climate impact but increase the risk of reduced constructability due to the higher reinforcement demand. Conversely, larger cross-sections create better conditions for rational reinforcement detailing, but at the expense of increased climate impact.

The conclusion of the study is that the design of bridge structures should not solely be based on requirements regarding load-bearing capacity and durability but should also consider climate impact and constructability already in the early design stages. The study shows that a clear trade-off exists between climate impact and constructability. An assessment must therefore be made regarding which aspect should be prioritized in the project, as the choice of cross-sectional height affects the outcome.

Key words: Slab frame bridge, Preliminary structural design, MATLAB, Bridge design, Production planning, Rational reinforcement detailing, Constructability, Eurocode, Climate impact

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	III
INNEHÅLL	IV
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	3
2 TEORETISK OCH PRAKTISK REFERENSRAM	4
2.1 Fallstudie	4
2.2 Regelverk och standarder	4
2.3 Principer vid dimensionering	5
2.4 Workshops	6
2.5 Digitala verktyg	6
3 KONSTRUKTION	8
3.1 Överbyggnad	8
3.2 Kantbalk	8
3.3 Ramben	8
3.4 Vingmur	9
3.5 Beräkningsmodell	9
4 METOD	11
4.1 Identifiering av exponeringsklasser och val av betongmaterial	11
4.2 Laster	13
4.2.1 Trafiklast	13
4.2.2 Egentyngd	15
4.2.3 Jordtryckslast	15
4.2.4 Broms- och accelerationskrafter	15
4.2.5 Lastkombination	16
4.3 Framtagning av snittkrafter	17
4.4 Dimensionering av längsgående armering och utformning av tvärsnitt	19
4.5 Dimensionering och utformning av tvärkraftsarmering	20

4.6	Kontroll av sprickbildning	21
4.7	Produktionsplanering	22
4.7.1	Gantt-schema	23
4.7.2	Arbetsplatsdisposition	24
4.8	BIM-modell	24
4.9	Klimatanalys och optimering	25
5	RESULTAT	27
5.1	Snittkrafter	27
5.1.1	Tvärkraft	27
5.1.2	Moment	29
5.2	Dimensionering av längsgående armering	30
5.3	Dimensionering av tvärkraftsarmering	31
5.4	Armeringsutformning	31
5.5	Sprickbildning	35
5.6	Produktionsplanering	36
5.7	Klimatpåverkan	38
6	DISKUSSION	39
6.1	Byggbarhet och armeringsutformning	39
6.2	Klimatpåverkan och val av exponeringsklass	41
6.3	Metoddiskussion	42
7	SLUTSATS	44
8	REFERENSER	45
	BILAGA A – BERÄKNING TVÄRSNITT STÖD	47
	BILAGA B – BERÄKNING TVÄRSNITT FÄLT	61
	BILAGA C – BERÄKNING TVÄRKRAFTSDIMENSIONERING	77
	BILAGA D – GANTT-SCHEMA FÖR PRODUKTIONSPLANERING	84

Förord

Detta examensarbete har genomförts under våren 2026 inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola.

Vi vill börja med att rikta ett stort tack till vår handledare Rasmus Rempling för hans engagemang, stöd och vägledning under arbetets gång. Vi vill även tacka honom för att ha möjliggjort de workshops och platsbesök som bidragit till värdefulla insikter och förståelser kring relevanta delar av arbetet.

Vidare vill vi tacka Niklas Käck från NCC för workshopen inom rationell armeringsinläggning för de kunskaper han delgett oss inom armeringsutformning och byggbarhet. Vi vill även tacka Josef Bäck och Jakob Persson på Skanska för deras medverkan vid workshop och platsbesök som gav oss mycket användbara kunskaper kring produktionsplanering.

Vi vill även rikta ett stort tack till ”brobyggargruppen” – Daniel Daoud, Matheus Eriksson-Troje, Adriano Grueso Córdoba och Valdet Magjaraj – för väldigt givande diskussioner och samtal som bidragit med nyttiga kunskaper och nya perspektiv.

Göteborg juni 2026

Axel Engström

Victor Isaksson

Beteckningar

Versala latinska bokstäver

Q_{ik}	Storlek på karakteristisk axellast
Q_{ak}	Karakteristiskt värde på enstaka axellast för lastmodell 2
Q_{lk}	Karakteristiska broms- och accelerationskrafter på en vägbro
E_d	Dimensionerande värde för lasteffekt
E	Lasteffekt
G_k	Karakteristiskt värde för permanent last
Q_k	Karakteristiskt värde för enstaka variabel last
M_{Ed}	Dimensionerande böjmoment
M_{Rd}	Dimensionerande momentkapacitet
V_{Ed}	Dimensionerande tvärkraft
V_{Rdc}	Dimensionerande tvärkraftskapacitet utan tvärkraftsarmering
V_{Rds}	Dimensionerande kapacitet hos tvärkraftsarmering
$V_{Rd,max}$	Dimensionerande tvärkraftskapacitet med avseende på livtryckbrott
H	Höjd på tvärsnitt
M_l	Moment från permanent last

Gemena latinska bokstäver

$c_{min,dur}$	Minsta täckande betongskikt med hänsyn till beständighet
c/c	Centrumavstånd mellan armeringsstänger
$s_{r,max}$	Maximalt sprickavstånd
w_{max}	Maximal sprickvidd
k_{min}	Minsta tillåtna andel klinkermängd i cement
k_{cem}	Klinkerhalt i cement

Gemena grekiska bokstäver

α_{qi}	Anpassningsfaktor för jämnt utbredd last i lastmodell 1
α_{Qi}	Anpassningsfaktor för koncentrerad last i lastmodell 1
q_{ik}	Storlek på karakteristisk jämnt utbredd last i lastmodell 1

α_{ef}	Effektivt förhållande mellan armeringens och betongens E-modul
β_Q	Anpassningsfaktor för lastmodell 2
γ	Tunghet
γ_G	Partialkoefficient för permanenta laster
γ_k	Partialkoefficient för variabla laster
σ_s	Spänning i armering
ψ_2	Faktor för kvasipermanent värde för variabel last

Övriga tecken

\emptyset	Diameter på armeringsjärn
-------------	---------------------------

Förkortningar

ULS	Brottgränstillstånd (Ultimate Limit State)
SLS	Bruksgränstillstånd (Serviceability Limit State)
APD	Arbetsplatsdisposition
ILF	Inläggningsfärdig armering
BIM	Building Information Modeling
EPD	Miljövarudeklaration (Environmental Product Declaration)
vct	Vattencementtal, förhållandet mellan mängden vatten och cement i betongen
vct _{ekv}	Ekvivalent vattencementtal
GWP	Global Warming Potential
EKS	Europeiska konstruktionsstandarder

1 Inledning

Betongbroar är en av de vanligast förekommande brotyperna i Sverige där plattrambroar utgör över hälften av det totala antalet av Trafikverkets vägbroar (Trafikverket, 2020). I takt med en ökad klimatomställning ställs det högre krav på en minskad klimatpåverkan och en ökad hållbar utveckling av anläggningskonstruktioner i allt större utsträckning än tidigare. Detta eftersträvas i hög grad genom att optimera och minimera materialanvändningen i konstruktionen. För plattrambroar innebär detta en reducerad användning av betong vilket resulterar i slanka tvärsnitt. Slanka tvärsnitt medför däremot ett ökat behov av armering vilket kan leda till komplexa lösningar på armeringsinläggningen som riskerar att försämra och försvåra utförandet vid produktion. För att hantera den ökade komplexiteten av armeringsinläggningen krävs en optimering där hänsyn tas till konstruktionens byggbarhet. Samtidigt kan åtgärder som förbättrar byggbarheten, till exempel grövre eller färre armeringsstänger, medföra en försämrade sprickkontroll vilket påverkar konstruktionens beständighet negativt.

1.1 Bakgrund

Vid projektering av rambroar är byggbarhet en central aspekt som bör beaktas redan vid dimensioneringsskedet, samtidigt som man uppfyller Eurokods krav på beständighet och bärförmåga. I denna rapport avses byggbarhet utgöra konstruktionens förutsättningar att kunna armeras, gjutas och produceras på ett rationellt sätt utan att det sker på bekostnad av beständighet, kvalitet eller goda förutsättningar för ett säkert och effektivt arbetsutförande. I studien kopplas byggbarhet främst till armeringsinläggningens komplexitet, möjligheten till gjutluckor och förutsättningar till en god kompaktering.

Vid broprojektering eftersträvas ofta slanka och materialeffektiva tvärsnitt för att reducera materialmängden och därmed dess materialdrivna klimatpåverkan. Slanka tvärsnitt resulterar i en mindre mängd betong, men ökar samtidigt behovet av armering, vilket resulterar i en högre armeringsgrad. En högre armeringsgrad innebär att det behövs en ökad mängd armering på en begränsad yta, vilket i praktiken innebär utmaningar vid produktion och utförande. Genom att försvåra armeringsinläggningen

påverkas hela konstruktionens byggbarhet negativt, vilket leder till ökade produktionstider och att risken för utförandefel ökar. En för tätliggande armering försämrar även gjutbarheten då betongen får svårare att fylla ut alla utrymmen av konstruktionen. En bristfällig gjutning riskerar i sin tur att konstruktionens beständighet inte kan garanteras, vilket i värsta fall kan förkorta dess livslängd drastiskt.

Konstruktionen måste dessutom uppfylla krav på begränsade sprickvidder för att brukbarheten av konstruktionen ska garanteras. En bristfällig gjuten konstruktion i kombination med en hög armeringsgrad och felaktig inläggning kan leda till en ökad sprickbildning. Sprickor i en konstruktion möjliggör att fukt och klorider kan tränga in till armeringen och öka risken för korrosion, vilket också påverkar konstruktionens beständighet negativt.

För att hantera dessa målkonflikter krävs att man använder sig av en rationell armeringsutformning som förenklar armeringsinläggningen och tar hänsyn till byggbarhetsaspekten vid dimensionering av rambroar.

I denna rapport kommer en planerad plattrambro att studeras. Denna plattrambro är en av de 13 broar som planeras att uppföras längs med en ny vägsträckning av E20 mellan Götene och Mariestad (Trafikverket, 2021). Den nya vägsträckningen utgör en del av ett större infrastrukturprojekt av E20 genom hela Västra Götaland. Syftet med utbyggnaden är att förbättra trafiksäkerheten och framkomligheten genom att vägsträckan görs om till en mötesfri väg med 2+2 körfält. Den aktuella etappen förväntas vara klar under 2028.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att projektera och dimensionera en plattrambro enligt Eurokods krav på bärförmåga och beständighet, samt att jämföra olika tvärsnitt med avseende på byggbarhet, armeringsutformning och materialdriven klimatpåverkan. I arbetet undersöks hur rationell armeringsinläggning påverkar byggbarheten, samt vilket tvärsnitt som ger den mest optimerade helhetslösningen.

1.3 Avgränsningar

För att skapa en hanterbar strukturell analys av rambron har vissa avgränsningar gjorts i detta arbete.

Konstruktionen studeras som en tvådimensionell beräkningsmodell, på en meter bredd. Endast överbyggnaden dimensioneras utan hänsyn till grundläggning. Kraftöverföringen mellan överbyggnaden och rambenen antas vara fullständig, dvs full överföring av moment från överbyggnaden liknande en kontinuerlig balk. Inverkan från vingmurar, kantbalkar och ett varierande tvärsnitt i form av voter beaktas ej för att få en mer simpel design och förenklad modell. Jordlaster från omkringliggande fyllnadsmassor beaktas inte.

Vidare analyseras endast konstruktionen med avseende på egentvingd och vertikala trafiklaster enligt lastmodell 1 (Svenska institutet för standarder [SIS], 2007). Horisontella laster såsom broms- och accelerationskrafter, samt vindlaster beaktas ej då dessa antas ha en begränsad inverkan på konstruktionens dimensionering. Endast två lastfall analyseras för att undersöka ogynnsamma placeringar av laster. Utmattning beaktas inte i detta arbete då fokus ligger på statisk dimensionering och jämförelse mellan tre olika tvärsnitt.

2 Teoretisk och praktisk referensram

I detta kapitel redogörs den teoretiska och praktiska referensram som utgör grunden för rapporten och som arbetet har baserats på. Kapitlet avser att redogöra den studerade fallstudiens kontext samt vilka regelverk och teoretiska modeller som styr och ligger till grund för hur dimensionering och produktion av brokonstruktioner görs. Kapitlet redogör dessutom för vilka beräkningsverktyg som använts samt vilka principer som tillämpats vid dimensionering och produktionsplanering.

2.1 Fallstudie

Det som ligger till grund för arbetet baseras på en fallstudie där en planerad plattrambro studeras. Denna plattrambro ingår i ett större infrastrukturprojekt där Trafikverket tagit fram en vägplan för den nya vägsträckan (Trafikverket, 2021). I vägplanen fastställs vägens utformning och lokalisering samt placering och övergripande utformning av de broar som planeras byggas längs vägsträckan. Dimensioneringen i detta arbete har utgått ifrån en preliminär förslagsskiss som tagits fram i vägplanen.

Arbetet utgörs av preliminära dimensioneringar och planering av produktionen i ett tidigt projekteringskedje efter att vägplanen fastställts. Dessa utgör vanligtvis underlag för fortsatt projektering och upphandling av entreprenad. I denna aktuella fallstudie planeras projektet genomföras som totalentreprenad, vilket återges i vägplanen. Detta innebär att efter upphandling ansvarar den entreprenör som vunnit anbudet för att ta fram en fortsatt detaljprojektering och framtagning av bygghandlingar som de sedan använder vid produktion.

2.2 Regelverk och standarder

Till grund för detta arbete och dess dimensioneringsberäkningar används Eurokod med tillhörande standarder, se Tabell 2.1. Eurokod är ett regelverk som ligger till grund för dimensionering av diverse konstruktioner inom Europa (Boverket, 2025). Syftet med standarden är att upprätthålla funktionskraven för säkerhet, bärförmåga och beständighet för byggnads- och anläggningskonstruktioner. I Sverige

kompletteras Eurokod med nationella val och parametrar enligt EKS av Boverket, vilket sedan publiceras av Svenska institutet för standarder (SIS). De standarder som publiceras genom SIS används i detta arbete för att beräkna och fastställa dimensioneringsförutsättningar och metoder.

Tabell 2.1 Huvudsakliga tillämpade standarder/ regelverk och dess användningsområde i arbetet.

Standard/ Regelverk	Användningsområde i arbetet
SS-EN 1990:2002	Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk
SS-EN 1991-2:2003	Trafiklast på broar
SS-EN 1992-1-1:2005	Dimensionering av betongkonstruktioner
SS-EN 1991-1-1:2002	Tungheter
SS-EN 197-1:2011	Sammansättning av cement
SS137003	Cementval utifrån exponeringsklass
BFS 2022:4 (EKS 12)	Svensk tillämpning av Eurokod

2.3 Principer vid dimensionering

Dimensionering bygger på jämvikt mellan inre reaktionskrafter och yttre laster på konstruktionen. De yttre lasterna ger upphov till inre reaktionskrafter och snittkrafter på bron i form av moment och tvärkrafter. För att åstadkomma en stabil bro, krävs en jämvikt mellan de yttre krafterna och de inre krafterna som uppstår i betongen och armeringen. Med hjälp av denna princip kan då en jämvikt mellan drag- och tryckkrafter, samt moment upprätthållas för att bestämma konstruktionens kapacitet och därmed en erforderlig armeringsmängd.

De principer som använts vid dimensionering syftar till att säkerställa att konstruktionen uppfyller de krav som ställs på bärförmåga och beständighet enligt Eurokod. Genom analys av hur laster förs ned genom bärverket kan dimensionerande snittkrafter bestämmas och användas för dimensionering av konstruktionens armering.

Enligt Eurokod (SIS, 2010a) finns det två olika gränstillstånd som tas hänsyn till vid dimensionering av konstruktioner. Brottgränstillstånd syftar till att säkerställa

konstruktionens bärförmåga och beständighet vid extrema belastningar där risk för brott ej får uppstå. Dimensionering utförs därför med tillämpade partialkoefficienter och dimensionerande laster då en viss säkerhetsmarginal vill uppnås.

Bruksgränstillstånd behandlar i stället konstruktionens funktion under normal användning och syftar i stället till att säkerställa konstruktionens bärförmåga och beständighet under dess livslängd.

2.4 Workshops

För att komplettera den teoretiska referensramen har kunskap även inhämtats från workshops och platsbesök gällande produktionsplanering och byggproduktion. Dessa har kompletterat det teoretiska materialet med insikter inom praktisk förståelse för produktionsplanering, byggbarhet och utförande av betongkonstruktioner.

Ett platsbesök genomfördes tillsammans med Skanska, där Josef Bäck, produktionschef, och Jakob Persson, projektingenjör, gav oss insikter kring produktionsplanering, byggbarhet och utförande av betongkonstruktioner.

Dessutom har information hämtats från en workshop om rationell armeringsinläggning hållen av Niclas Käck, specialist inom teknik och anläggningskonstruktion på NCC. Under workshopen behandlades praktiska frågor om produktion och materialhantering där byggbarhet och rationella metoder för armeringsinläggning presenterades.

2.5 Digitala verktyg

I detta arbete har olika verktyg använts som ligger till grund för de beräkningar som gjorts för dimensionering och produktionsplanering. I arbetet har MATLAB använts som beräkningsverktyg vid analys av de snittkrafter som verkar i konstruktionen vilket har använts för dimensionering av överbyggnadernas tvärsnitt och tvärkraftsarmering. Dessutom har MATLAB använts för beräkning av sprickbredder och sprickavstånd för att verifiera att konstruktionen uppfyller de krav som ställs i bruksgränstillstånd. Genom ett egenutvecklat programmeringsscript har olika tvärsnitt

kunnat jämföras mellan varandra där ingående parametrar såsom tvärsnittshöjd, och armeringsdiameter kunnat justeras för att studera hur dessa påverkar armeringsinläggningen och vad det får för effekter på byggbarhet, materialåtgång och sprickkontroll.

Autodesk Revit har använts för att skapa en BIM-modell där en tredimensionell modell av de tre överbyggnaderna gjorts. Dessa har använts för att visualisera tvärsnitt och tvärkraftsarmering och som underlag vid mängduttagning för senare analys av produktionsskedet. Revit har därmed fungerat som ett stöd vid analys av tvärsnittens byggbarhet och deras produktionstid.

Microsoft Excel har använts till att bland annat genomföra klimatberäkningar samt vid upprättande av ett Gantt-schema som bland annat baserats på kapacitetstider som är hämtade från ett kalkylark i Excel framtaget av Byggföretagen och Svenska Byggnadsarbetareförbundet (2023). Detta har använts för att analysera och uppskatta resursbehov och estimerad produktionstid för olika moment.

3 Konstruktion

I detta kapitel beskrivs den generella uppbyggnaden av konstruktionen som dimensionerats i detta arbete. Denna konstruktion är i form av en plattrambro vilket utgörs av en överbyggnad, ramben, kantbalkar och vingmurar, där samtliga delar består av armerad betong.

3.1 Överbyggnad

Överbyggnaden har ett spann på 17 meter från ramben till ramben med en bredd på 16,5 meter och en fri höjd på 4,7 meter under brobaneplattan. Tvärsnittet är rektangulärt och ses som en balk där en jämförelse görs mellan tre olika tvärsnitt med olika höjd för att se skillnaden i armeringsbehov.

Överbyggnaden är en massiv armerad betongplatta med beläggning på körbanan i form av ett asfaltslager. Överbyggnaden har två räckan per sida med ett mitträcke för att separera färdriktningarna. Vardera färdriktning har beräknats till att ha två lastfält med en resterande yta på 2,25 meter enligt SIS (2007, Tabell 4.1).

Konstruktionen ska kunna bära en variabel trafiklast och permanenta lasterna från egentynghden och asfaltsbeläggningen.

3.2 Kantbalk

Kantbalkarna är de längsgående betongelementen på sidorna av brobanan. Deras syfte är bland annat att stabilisera konstruktionen och att utgöra en grund för infästning av säkerhetsanordningar.

3.3 Ramben

Rambenen är de vertikala bärande elementen som binder överbyggnaden och grundläggningen samman. Dessa överför de vertikala lasterna som överbyggnaden utsätts av och den horisontella lasten från jordtrycket. Rambenen lyfter

överbyggnaden 4,7 meter upp i luften och har antagits en tjocklek på 400 millimeter. De räknas teoretiskt som fast inspända i överkant och fast ledade i nederkant.

3.4 Vingmur

Vingmurarna är placerade på vardera sida av bron och har en funktion att hålla tillbaka fyllnadsmassorna som verkar på bron för att skapa en stabil övergång från bro till väg. Vingmurarna är anslutna till rambenen och belastas främst av jordtryck och egentyngd. De har även en funktion att förhindra moment i färdriktningen för att stabilisera konstruktionen.

3.5 Beräkningsmodell

För att möjliggöra dimensioneringsberäkningar har konstruktionen behövts förenklas i viss mån. Beräkningsmodellen ses som en tvådimensionell modell med en total bredd på en meter. Överbyggnaden ses som en balk vars ändar är fast inspända i anslutning till rambenen. Vingmurarna och kantbalkarna tas ej hänsyn till i beräkningsmodellen.

I beräkningarna tas det hänsyn till två olika lastfall där båda lastfallen har två utbredda laster, en för egentyngd/beläggninglast och en för den varierande trafiklasten. För lastfall 1 placeras en punktlast från ett boggisystem i mitten av spannet på bron, gentemot 0,9d ifrån brons högra ände för lastfall 2. Jordtrycket som verkar horisontellt på rambenen försummas i detta fall vid beräkning av moment.

Snittkrafter och moment- och tvärkraftsdiagram har beräknats och visualiserats med hjälp av MATLAB. Ekvationer för snitt- och reaktionskrafter har fastställts med elementarfall vilket kan tillämpas med hänsyn till våra ansatta randvillkor.

För denna beräkning appliceras antaganden för beräkningsmodellen. Dessa antaganden görs för att få en tillräckligt noggrann modell av verkligheten som fortfarande är hanterbar beräkningsmässigt. Ett av antagandena handlar om linjär elastisk respons i materialen, att enligt Hookes lag så varierar spänningen och töjningen proportionellt med varandra vid en konstant elasticitetsmodul. Geometriskt antas att plana tvärsnitt förblir plana, vilket innebär att töjningen varierar linjärt över

höjden av tvärsnitten och att ett tvärsnitt som var plant innan belastning, även är plant efter deformation.

Vidare antas full samverkan mellan armeringen och betongen, vilket innebär att ingen glidning sker mellan materialen. Detta medför att armeringen och betongen verkar tillsammans till fullo, att deformationen för betongen och armeringen är ekvivalent med varandra.

4 Metod

I detta kapitel beskrivs tillvägagångssättet för dimensionering av tre brobanepplattor. Kapitlet beskriver metodiken för val av exponeringsklass för betongen, hur man tar fram de dimensionerande lasterna samt beräkning av snittkrafter. Vidare beskrivs hur dimensionering av armering görs med avseende på böjande moment och tvärkraft med hänsyn till de krav som ställs på beständighet och bärförmåga. Metod för kontroll i bruksgränstillstånd med hänsyn till sprickbildning och sprickbredd redovisas dessutom i detta kapitel.

4.1 Identifiering av exponeringsklasser och val av betongmaterial

Val av exponeringsklass är avgörande för att säkerställa god beständighet för den konstruktion man dimensionerar (Svenska betongföreningen, 2023).

Exponeringsklassen ställer krav på bland annat minsta täckande betongskikt ($C_{min,dur}$) och högsta vattencementtal (vct) som betongen får ha för att fördröja angrepp att tränga in till armeringen (Boverket, 2022).

Exponeringsklasser har identifierats för respektive komponent i rambron med hjälp av Betongrapport nr 11 (Svenska betongföreningen, 2023). I detta arbete antogs att samma betong används för hela konstruktionen. Detta innebar att den högsta exponeringsklassen för en komponent användes för samtliga delar av konstruktionen.

De angreppsmekanismer som beaktades vid identifiering av exponeringsklass var korrosion av armering på grund av karbonatisering (XC), kloridinträngning från tölsalter (XD), kloridinträngning från havsvatten (XS), cykliska frostangrepp (F) och kemiska angrepp (XA). Dessa egenskaper påverkar hur motståndskraftig betongen blir från angrepp. Ju mer angreppsbenägna miljöer en betongkonstruktion befinner sig i ju högre exponeringsklass ansätter man och desto lägre vct krävs för att göra betongen tillräckligt tät och motståndskraftig. Den exponeringsklass som ställer högst krav på betongsammansättning är den som i slutändan blir dimensionerande. De dimensionerande exponeringsklasser som antagits redovisas i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Dimensionerande exponeringsklasser med tillhörande högsta vct_{ekv} samt minsta täckande betongskikt med avseende på beständighet.

Komponent	Exponeringsklass	Högsta vct_{ekv}	$c_{min,dur}$ (mm)
Brobanepatta	XD1+XF2	0,45	40
Kantbalk	XD3+XF4	0,4	45
Ramben	XD1+XF2	0,45	40
Vingmur	XD3+XF4	0,4	45

Kantbalk och vingmur bedömdes ha XD3+XF4 som exponeringsklass då dessa befinner sig inom den våta skvättzonen till överbyggandens vägbana som har en hög trafikintensitet samt exponerade mot direkt nederbörd. Dessa fick därmed den högsta exponeringsklassen gällande risken för korrosion orsakad av klorider från tösalter samt risken för frostangrepp.

Ramben och Brobanepatta antogs i stället ha exponeringsklassen XD1+XF2. Brobanepattan antogs endast exponeras för tösalter på brobanans undersida från vägen som går under bron. I betongrapport nr 11 (Svenska betongföreningen, 2023) förklaras att brobanepattor som är försedda med ett tätskikt under beläggningen inte anses befinna sig i vägmiljö. Därav exponeras inte översidan av klorider från trafiken över bron och kan därför få en lägre exponeringsklass beroende på hur förhållandena under bron är. Den fria höjden under bron mellan vägbana och överbyggnad uppgår till 4,7 meter vilket är inom definitionen för en vägmiljö. Med hänsyn till avståndet till vägbanan samt hastigheten på vägen antas undersidan befinna sig i atmosfärzonen där den angrips av luftburna klorider genom spray. Detsamma har antagits för rambenen. Rambenen är placerade på ett nära avstånd till vägen och är delvis skyddade samt exponerade mot direkt nederbörd.

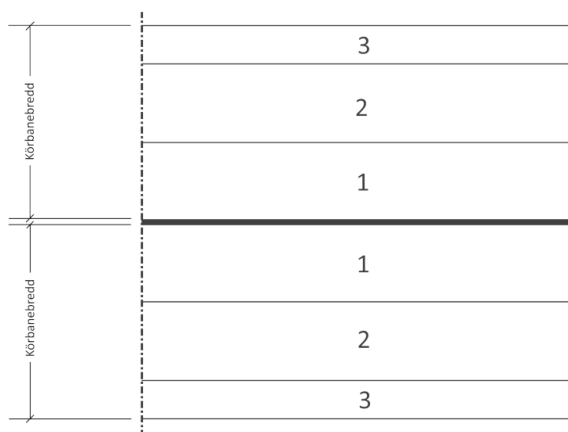
4.2 Laster

I detta avsnitt redovisas de laster som ska beaktas vid dimensionering. De laster som förekommer delas in i permanenta laster (G) och variabla laster (Q) (SIS, 2011). I detta arbete beaktas egentyngheden som den enda permanenta lasten och trafiklast enligt lastmodell 1 som den enda variabla lasten. Övriga laster och lastmodeller förklaras översiktligt i avsnittet.

4.2.1 Trafiklast

För att identifiera alla typer av tänkbara laster orsakade av trafik på brobanepattan ska fyra typer av lastmodeller användas som alla resulterar olika belastningar på brobanan (SIS, 2007).

För att tillämpa dessa lastmodeller delades körbanorna in i fiktiva lastfält utifrån körbanans totala bredd enligt SIS (2007). Indelningen av brobanans bredd har gjorts, se Figur 4.1. Dimensionering av överbyggnaden har beräknats med avseende på det mest belastade lastfält.



Figur 4.1 Indelning av körbanans bredd i fiktiva lastfält.

Lastmodell 1 (LM1) består av en jämnt utbredd last $\alpha_{qi} \cdot q_{ik}$ samt ett boggisystem som utgörs av två axellaster $\alpha_{Qi} \cdot Q_{ik}$. varje axellast består av ett hjulpar som placeras i respektive lastfält. För spännvidder större än tio meter kan boggisystemet

koncentreras till en axellast som motsvarar tyngden från de två axlarna i det ursprungliga systemet (SIS, 2007).

Då den aktuella brobanan har en spännvidd på 17 meter tillämpades denna förenkling. Eftersom endast ett hjul i axeln kunde verka inom den studerade 1-metersstimlan, beaktades en hjullast motsvarande halva axellasten vid dimensionering. Placering av boggin har gjorts så att de mest ogynnsamma lastfall erhållits. α -faktorerna motsvarar olika trafikklasser och har valts beroende på trafikintensitet och trafikens sammansättning. För den aktuella bron och vägen sattes α -faktorerna till 1,0 vilket motsvarar en hög förväntad trafik där en betydande andel utgörs av tung internationell trafik.

Q_{ik} och q_{ik} är karakteristiska värden för boggisystemet och den utbredda lasten som beror på vilket lastfält man studerar. Dessa värden hämtades från SIS (2007, Tabell 4.2) och redovisas i Tabell 4.2 nedan.

Tabell 4.2 Karakteristiska värden för Q_{ik} och q_{ik} enligt LM 1 för respektive lastfält.

Lastfält	Enaxligt boggisystem Q_{ik} (kN)	Utbredd last q_{ik} (kN/m ²)
1	600	9
2	400	2,5
3	0	2,5

Vid tillämpning av lastmodell 2 (LM2) använder man sig av endast en koncentrerad axellast $\beta_Q \cdot Q_{ak}$, där man tar hänsyn till det dynamiska tillskottet. Lastmodellen tillämpas för att åstadkomma kritiska lokala effekter och placeras fritt på brobanan där de ger mest ogynnsam effekt.

Lastmodell 3 (LM3) innefattar olika modeller för specialfordon och tillämpas också för att uppnå kritiska lokala effekter men även globala effekter (SIS, 2007, Bilaga A). LM3 används i begränsad utsträckning till särskilda fall. Modellerna beaktar olika totalvikt på specialfordon som kan tillåtas med undantag på vissa europeiska vägar.

När LM1 tillämpas med tillhörande α -faktorer satta till 1,0, innefattas redan den vanligast förekommande modellen i LM3.

Lastmodell 4 (LM4) beaktar last från folksamlingar i form av en jämnt utbredd last på 5 kN/m². Denna last placeras där gångtrafik kan förekomma på brobanan.

4.2.2 Egentyngd

Egentyngden hos byggnadsverket definierades som tyngden av de bärande samt icke bärande delar som utgör konstruktionens olika komponenter enligt SIS (2011).

Egentyngden beräknades utifrån nominella dimensioner enligt ritning samt schablonvärden för materialens tungheter (SIS, 2011, Bilaga A). Överbyggnaden har preliminärt antagits utgöras av 1 procent armering. Tungheter för aktuella material redovisas i Tabell 4.3.

Tabell 4.3 Tungheter för byggmaterial.

Material	Tunghet γ [kN/m ³]
Betong	24
Stål	77–78,5
Gjutasfalt och asfaltbetong	24–25

4.2.3 Jordtryckslast

Jordtrycket intill rambenen bestäms i enlighet med SIS (2010b). Jordtrycket utgörs av en horisontell last som verkar på rambenen och som varierar med djupet. När ingen rörelse mellan återfyllnadsmaterialet och rambenen äger rum beräknas jordtrycket i vilotillstånd med hjälp av en vilojordtryckskoefficient. Det bakomliggande återfyllnadsmaterialet är ett krossmaterial, vanligtvis sprängsten vilket har en tunghet på 18 kN/m³ och som är väl dränerande (Trafikverket, 2016, Tabell 5.2.1).

4.2.4 Broms- och accelerationskrafter

De broms- och accelerationskrafter som uppstår på vägbanan beaktas som horisontalkrafter i vägbanans längsriktning och betecknas båda som Q_{lk} (SIS,

2007). Broms- och accelerationskrafterna beräknas för det mest belastade lastfält enligt LM1. Dessa krafter är uppåt begränsade till 900 kN.

4.2.5 Lastkombination

De lastkombinationer som används har definierats med hjälp av partialkoefficientmetoden enligt SIS (2010a). Metoden tillämpas genom att kombinera de permanenta lasterna och variabla lasterna som tidigare beskrivits med tillhörande partialkoefficienter och eventuella kombinationsfaktorer som tillämpas vid flera variabla laster. Kombination av dessa laster görs så att den mest ogynnsamma effekt från de laster som kan verka samtidigt erhålls.

Lastkombinationer har upprättats för både brottgränstillstånd (ULS) och bruksgränstillstånd (SLS), där olika partialkoefficienter påverkade respektive lasteffekt. Den lasteffekt som erhållits från lastkombination i ULS användes för dimensionering med avseende på konstruktionens bärförmåga. För SLS användes effekterna för att kontrollera konstruktionens funktion vid vardaglig användning med avseende på sprickbildning.

I detta arbete beaktades egentyngden som den enda permanenta lasten som verkar samt trafiklasten som erhållits från LM1 som den enda variabla lasten. Detta innebär att ingen kombinationsfaktor behövdes beaktas för den variabla lasten. För ULS beräknas dimensioneringsvärdet E_d enligt SIS (2010a, ekv. 6.9b) med hänsyn till den lastkombination som har dimensionerats för. Ekvationen förenklades därmed till följande, se ekvation 1.

$$E_d = E\{\gamma_G G_k; \gamma_k Q_k\} \quad (1)$$

Partialkoefficienterna γ_G och γ_k som användes för beräkning av E_d för SLS hämtades från SIS (2010a, Tabell A1.2 (B)), då analysen gjorts på en strukturell nivå.

Partialkoefficienterna blev då; $\gamma_G = 1,35$ och $\gamma_k = 1,5$.

I SLS tillämpades en kvasipermanent lastkombination då långtidseffekter beaktades vid sprickbildning. En kvasipermanent lastkombination utgörs av inverkan från

permanenta laster samt långvariga effekter från variabla laster. SIS (2010a, ekv. 6.16a) användes för denna lastkombination och förenklades till följande, se ekvation 2.

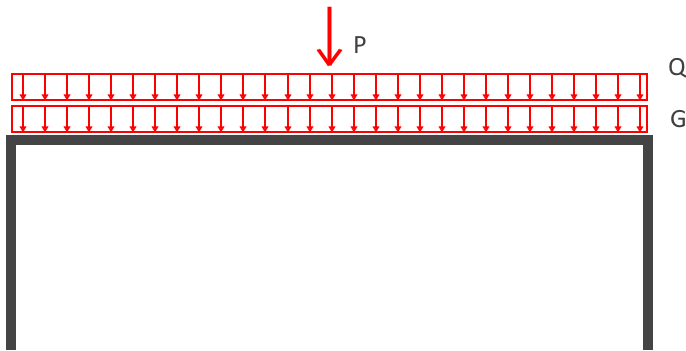
$$E_d = E\{G_k; \psi_2 Q_k\} \quad (2)$$

I lastkombinationen sattes alla partialkoefficienter till 1,0. För den variabla lasten användes en reduktionsfaktor $\psi_2 = 0$, (SIS, 2010a, Tabell A2.1). Detta innebar att lasten från LM1 inte påverkade lasteffekten vid en kvasipermanent kombination.

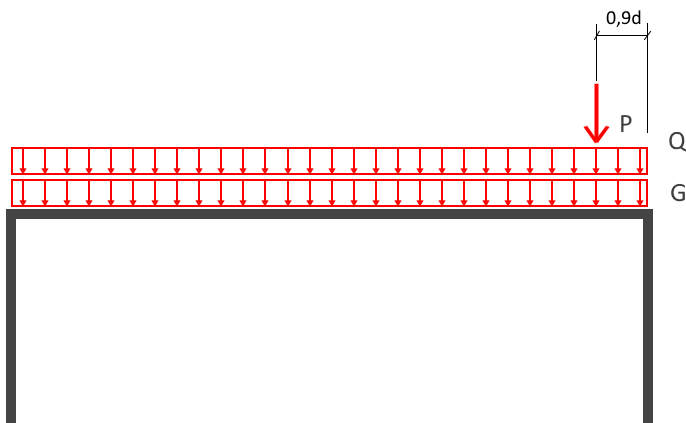
4.3 Framtagning av snittkrafter

Framtagning av snittkrafter för moment och tvärkraft har gjorts för att bestämma hur dessa varierar längs bronns längd, samt för att identifiera storleken på de dimensionerande moment- och tvärkrafterna i fält och stöd. Detta gjordes genom att applicera de lastkombinationer som tidigare fastställts för konstruktionen i ULS och SLS. Beräkningar och framtagning av moment- och tvärkraftsdiagram återfinns i Bilaga A och Bilaga B.

Dimensionerande snittkrafter i brobanan har erhållits genom att tillämpa två lastfall. För dimensionerande böjmoment placerades den verkande punktlasten i mitten av spannet och för dimensionerande tvärkraft placerades denna med ett avstånd på 0,9d från upplag. I Figur 4.2 och i Figur 4.3 tydliggörs dessa två lastfall.



Figur 4.2 Lastfall 1 med punktlast mitt på brobanan.



Figur 4.3 Lastfall 2 med punktlast $0,9d$ från upplag.

Det första steget i beräkningarna var att utgå ifrån elementarfall utifrån ansatta randvillkor varpå stödreaktioner för överbyggnaden beräknades.

Med stödreaktionerna kända frilades balken i ett snitt på ett avstånd x från stöd varpå jämvikt ställdes upp för den snittade delen där moment och tvärkraft i snittet varierar med x . Snitt gjordes där lastfördelningen förändrades, eftersom jämviktsekvationen förändras vid ändrad lastfördelning. Detta innebar att totalt två snitt behövde göras för respektive lastfall; ett innan punktlasten och ett efter punktlasten. När ekvationer för moment och tvärkraft beräknats längs hela överbyggnaden plottades dessa grafiskt varpå dimensionerande värden utlästes.

4.4 Dimensionering av längsgående armering och utformning av tvärsnitt

Tvärsnitten dimensionerades i ULS med hänsyn till att krav på bärförmåga och beständighet uppnåddes. Redovisning av beräkningarna återfinns i Bilaga A för stödsnitten, samt i Bilaga B för fältsnitten. Dimensionering gjordes för tvärsnitt i fält och stöd med hänsyn till det dimensionerande momentet i snittet. För varje tvärsnitt beräknades en erforderlig armeringsmängd beroende på det dimensionerande momentet, stålets dimensionerande draghållfasthet och balkens effektiva tvärsnittshöjd (Al-Emrani m.fl., 2020). Antalet armeringsstänger bestämdes med hjälp av den erforderliga armeringsmängden och önskad diametertjocklek på armeringsjärnen. Armeringsstängerna placerades in i tvärsnittet enligt Eurokods krav på minsta avstånd mellan armeringsstänger och minsta täckande betongskikt (SIS, 2008). Det minsta fria avståndet mellan armeringsstänger beror på stängernas diameter samt den största ballaststorleken i betongen. Det minsta täckande betongskiktet bestäms med hänsyn till vidhäftning mellan armering och betong samt krav på korrosionsskydd enligt vald exponeringsklass och bärverksklass. Därefter verifierades antaganden om drag och tryckarmering flyter eller ej, samt att tvärsnittet uppnår den kapacitet den dimensioneras för. Kapaciteten som respektive tvärsnitt har bestämdes genom momentjämvikt mellan dragarmeringen och den tryckta betongen tillsammans med tryckarmeringen. Om kapacitet ej var tillräcklig ökades armeringsgraden och beräkningarna upprepades iterativt.

Utformningen av den längsgående armeringen har gjorts med hänsyn till tvärsnittets byggbarhet. Samma diametrar för stängerna har valts i både fält och stöd. En diameter på 20 millimeter valdes då denna diameter är att föredra bland yrkesarbetare ur ett produktionsperspektiv (N. Käck, personlig kommunikation, 25 mars 2026). Det fria avståndet mellan stängerna har valts med god marginal för att möjliggöra en god gjutbarhet. Vidare har behovet av gjutluckor vid överkantsarmering beaktats vid tvärsnittets utformning.

4.5 Dimensionering och utformning av tvärkraftsarmering

Tvärkraftsdimensioneringen utfördes också i brottgränstillstånd där dimensionering gjordes med hänsyn till risken för livtryckbrott och skjuvglidbrott (SIS, 2008).

Beräkning av tvärkraftsarmering återfinns i Bilaga C. Dimensionering gjordes med hänsyn till den dimensionerande lasten för de studerade lastfallen.

Först beräknades en reducerad tvärkraft nära upplag. Detta är möjligt på grund utav att last nära upplag leds genom balkverkan och delvis genom bågverkan. Ju närmare upplag lasten är desto större del överförs från balken till upplaget genom bågverkan. Den del som tas upp genom bågverkan leds direkt till upplaget genom sneda trycksträvor i betongen och kan därför reduceras från tvärkraften.

Därefter kontrollerades den maximalt tillåtna tvärkraftskapaciteten för att säkerställa att krossning av betongen i den sneda trycksträvan inte uppstod. Vidare kontrollerades om betongen klarar att ta den dimensionerande lasten utan armering. Om den reducerade tvärkraften översteg betongens tvärkraftskapacitet behövdes tvärkraftsarmering.

Vid dimensionering av tvärkraftsarmeringen antogs en fackverksmodell där tvärkraften överfördes genom sneda trycksträvor i betongen samt dragkrafter i vertikala byglar (Al-Emrani m.fl., 2020). Trycksträvan antogs ha en lutning på 45 grader och en inre hävarm motsvarande $0,9d$. Den erforderliga armeringsmängden beräknades per längdenhet, varefter ett lämpligt centrumavstånd mellan byglarna valdes med hänsyn till att tillräcklig kapacitet fortfarande tillgodosågs.

Längs med balken varierar den dimensionerande tvärkraften, och därmed behovet av tvärkraftsarmering. Balken delades in i en stödzon där dimensionerande tvärkraftsarmering erfordrades samt en mittzon där minimiarmering användes som ska finnas enligt gällande krav (SIS, 2008). Områdesgränserna bestämdes genom att jämföra kapaciteten minimiarmeringen har med hur tvärkraften varierar längs balken. Där kapaciteten för minimiarmering var större än den dimensionerande tvärkraften användes minimiarmering.

Vid dimensionering av byglarna har byggbarheten beaktats. Byglarnas centrumavstånd mellan varandra har eftersträvats till praktiska jämna avstånd, men som fortfarande upprätthåller den kapacitet som erfordras. Enligt N. Käck (personlig kommunikation, 25 mars 2026) eftersträvar man att skapa öppna tvärsnitt vid dimensionering för att möjliggöra en god framkomlighet på brobanan vid armeringsinläggningen men också vid gjutning. Detta har åstadkommits genom att dimensionera byglarna så att de upptar hela 1-metersstrimlan, alltså en bygel per meter bredd av brobanan. Dimensioneringen gjordes med bygelarmering på 12 millimeter i diameter. Detta gjordes då det är en praktisk hanterbar diameter i produktion och är att föredra bland yrkesarbetare enligt N. Käck (personlig kommunikation, 25 mars 2026).

4.6 Kontroll av sprickbildning

Syftet med kontroll av sprickbildning var att verifiera att konstruktionen uppfyllde krav på beständighet i SLS med kvasipermanent lastkombination enligt SIS (2008). Sprickkontrollen användes för att utvärdera sprickornas bredd för att säkerställa att betongen inte exponeras till den grad att beständigheten riskeras. Eurokod anger maximala tillåtna sprickbredder för respektive exponeringsklasser enligt SIS (2008, Tabell 7.1N).

För aktuell exponeringsklass XD3+XF4 redogörs inget tydligt gränsvärde för maximal sprickbredd i nämnd tabell. För mindre aggressiva miljöer anges dock ett gränsvärde på 0,3 millimeter. För brokonstruktioner kan dock ett strängare krav antas för att säkerställa långsiktig beständighet. Därav har ett strängare krav antagits till 0,2 millimeter som maximalt tillåten sprickbredd i detta arbete.

Vid beräkning av sprickbildning togs det hänsyn till långtidseffekter i form av krypning och krympning (Al-Emrani m.fl., 2011). Krypning hanterades med en effektiv elasticitetsmodul α_{ef} , som beskriver förhållandet mellan armeringens och betongens olika styvhet. Krympningen beaktades då betongens volymminskning hindras av armeringen, vilket ger upphov till tvångskrafter i tvärsnittet. Tvångskrafterna förskjuter tryckzonshöjden i tvärsnittet. Tryckzonshöjden bestämdes därför med hjälp av iterativa jämviktsekvationer.

Tryckzonshöjden är en kritisk del i en sprickbreddsanalys, då den bestämmer neutrallagrets läge och därmed töjningsfördelningen. Utifrån detta bestämdes armeringens töjningsfördelning. Med antagandet om linjär elasticitet leder detta till linjär spänningsfördelning enligt Naviers formel, vilket möjliggjorde fastställande av spänningen i armeringen.

Långtidseffekterna påverkar spänningen i armeringen, vilket användes för att beräkna töjningsskillnaden mellan armering och betong. Töjningsskillnaden multiplicerades med det maximala avståndet mellan sprickor $S_{r,max}$, vilket gav maximala sprickbredden W_{max} enligt SIS (2008). De erhållna sprickbredderna jämfördes därefter med de maximalt tillåtna sprickbredderna som anges i Eurokod.

4.7 Produktionsplanering

Vid produktionsplanering har det upprättats en Arbetsplatsdisposition (APD) samt en tidsplanering i form av ett Gantt-schema. En väl bearbetad och planerad produktion bidrar till att minska risken för att fel uppstår, att väntetider förhindras och att flödet i produktionen förblir så jämn som möjlig (J. Bäck & J. Persson, personlig kommunikation, 8 maj 2026).

Inläggningsfärdig armering (ILF) är en metod som är vanligt förekommande vid brokonstruktioner. Vid detta utförande beställer man färdigklippta armeringslängder mot en klippkostnad som dessutom är färdigbockade. Dessa levereras sedan till byggarbetsplatsen färdiga för inläggning. Denna metod används främst för att reducera mängden arbete på arbetsplatsen men också för att minska spill som annars riskerar att tillkomma.

Genom att tidigt i projekteringen tillämpa och ta hänsyn till genomförandet och arbetsmiljön i produktionen skapas förutsättningar till att konstruktionen kan utföras på ett praktiskt och genomförbart sätt.

I detta arbete har dessa aspekter beaktats vid projektering och dimensionering av respektive tvärsnitt. Armeringen har eftersträvat att utformas med jämna

standardiserade längder. Dessutom har antalet olika längder på stänger använts i så liten utsträckning som möjligt.

4.7.1 Gantt-schema

Tidsplaneringen upprättades i form av ett Gantt-schema då detta tydligt visualiserar alla aktiviteter, när leveranser måste komma och vilka resurser man behöver och när. Gantt-schemat används för att tydliggöra vilka aktiviteter som kan ske parallellt, hur många dagar dessa kommer ta samt vilka leveranser och resurser som behövs för respektive aktivitet. När man i ett tidigt skede upprättar ett sådant schema använder man kapacitetstider (J. Bäck & J. Persson, personlig kommunikation, 8 maj 2026). Detta används för att tidigt uppskatta behovet av resurser i form av arbetskraft som kommer behövas för en viss aktivitet, givet en begränsad tid. Kapacitetstider är inte konstanta och varierar beroende på ett projekts komplexitet och produktionsförhållanden och bygger i stor utsträckning på erfarenheter från tidigare liknande projekt. Tidsfördelningen i Gantt-schemat baserades på åtta timmars arbetsdagar för samtliga moment med ett undantag för gjutning av betongen. Gjutningsmomentet ses som ett kritiskt moment där arbetet sker kontinuerligt utan avbrott, då härdningen av betongen påbörjas omedelbart efter iläggning. Av denna anledning måste gjutningen utföras vid ett enskilt skede och kan ej delas upp på separata arbetsdagar.

Tillvägagångssättet för att upprätta Gantt-schemat har gjorts i Excel. Arbetsmoment, resurser samt leveranser har identifierats översiktligt. Tidsåtgången för olika arbetsmoment har tagits fram för en av de studerade överbyggnaderna via mängduttagnings från Revit-modellen och kompletterande överslagsberäkningar samt med hjälp av kapacitetstider framtagna av Byggföretagen och Svenska Byggnadsarbetareförbundet (2023).

I Tabell 4.4 redovisas kapacitetstider som använts för de mest tidskrävande och arbetsintensiva aktiviteterna under byggprocessen. Dessa användes som underlag för uppskattning av tidsåtgång och behov av arbetskraft.

Tabell 4.4 Kapacitetstider (h/enhet) för formsättning, armering och betonggjutning.

Aktivitet		Enhet	Timmar/enhet
Formsättning	Balkform av bräder för synlig yta	m ²	1,08
Armering	Armering med lösjärn över 16 mm	ton	21
Betonggjutning	Gjutning av bjälklag	m ³	0,26

4.7.2 Arbetsplatsdisposition

En arbetsplatsdispositionsplan (APD-plan) har upprättats för att tydligt visa hur organisering på byggarbetsplatsen är tänkt att se ut. Hänsyn har tagits till att upprätthålla en säker arbetsplats och ett bra logistiskt flöde genom att bland annat placera materialytor, arbetsytor och etablering där de behövs och inte kommer i konflikt med pågående arbetsmoment eller transportvägar. Materialytor har med fördel placerats i nära anslutning till kran för att den enkelt på egen hand ska kunna förflytta material upp på brobanan. Transport till och från arbetsplatsen har organiserats genom separerade in- och utfarter för ett smidigt trafikflöde, speciellt vid gjutning. En arbetsplatsdisposition är en plan som uppdateras kontinuerligt under projektets gång för att vara aktuell under hela byggskedet (J. Bäck & J. Persson, personlig kommunikation, 8 maj 2026).

4.8 BIM-modell

En BIM-modell för respektive överbyggnad av bron har modellerats med hjälp av Autodesk Revit. Modellen används för mängduttagnings av armeringsstänger samt betongvolym. Modellen har dessutom använts för att visualisera inläggningen av armering i fält- och stötdvärsnitt samt hur tvärkraftsarmeringen placeras och varierar längs brobanans spännvidd. Denna inläggning baseras på den tidigare beräknade dimensionering som gjorts i MATLAB.

4.9 Klimatanalys och optimering

Klimatanalysen har gjorts med hjälp av beräkningar av materialdrivna koldioxidutsläpp mellan de olika tvärsnitten. Analysen baserades på en jämförelse mellan en referensbetong och en klimatförbättrad betong. Klimatpåverkan från både betongen och armeringen har beaktats.

För att uppnå en klimatförbättrad betong optimeras betongens sammansättning utan att äventyra de krav som ställs utifrån vald exponeringsklass och hållfasthetsklass. Upp emot 90 % av betongens klimatpåverkan kommer från klinkern som utgör bindemedlet i cementen (Svensk betong, 2019). Genom att byta ut delar av klinkern mot alternativa bindemedel kan man reducera klimatpåverkan från betongen.

Utifrån vald exponeringsklass och högsta tillåtna vct_{ekv} har möjliga cement kunnat identifierats, där CEM II/B-M valdes enligt SIS (2025, Tabell V.1). Vidare fastställdes tillåten andel bindemedel i cementen, se Tabell 4.3. Från SIS (2013, Tabell 1) noterades hur stor del av sammansättningen som utgjordes av klinker. Hur stor del av cementet som kunde ersättas bestämdes utifrån förhållandet mellan cementets klinkerhalt och den minsta tillåtna klinkerhalt cementen kunde ha, se ekvation 3.

$$\text{Andel utbytbar cement} = 1 - \frac{k_{min}}{k_{cem}} \quad (3)$$

Tabell 4.3 Tillåten andel av bindemedel i cementet CEM II/B-M.

Bindemedel	Tillåten andel i CEM II/B-M
Silikatstoff	≤ 5
Flygaska	≤ 35
Ggbs	≤ 35
PC-klinker	≥ 65

Klimatpåverkan från referensbetongen, den klimatförbättrade betongen och armeringen baserades på framtagna materialmängder från BIM-modellen. Beräkningarna av klimatpåverkan genomfördes med hjälp av ett beräkningsverktyg i Excel framtaget av miljökonsult på ELU där produktskedet (A1-A3) beaktades i form av olika EPD:er.

5 Resultat

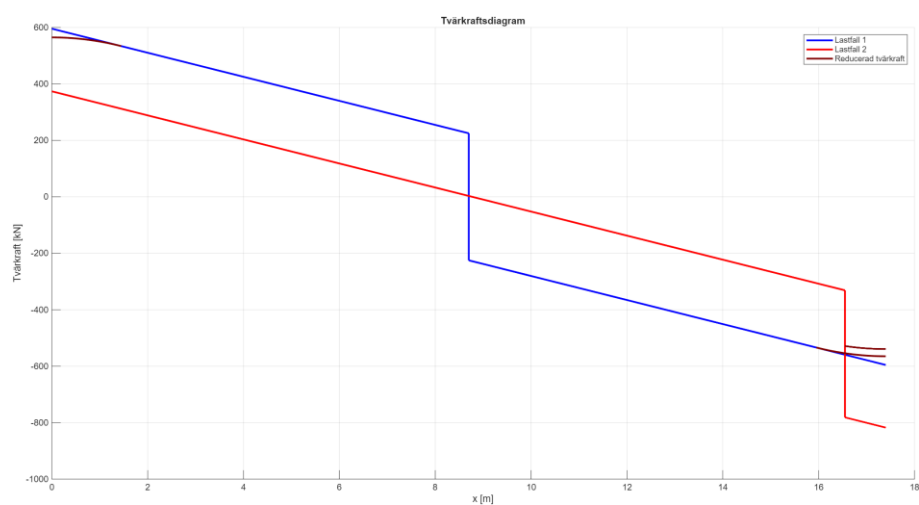
I detta kapitel redovisas de resultat från den preliminära dimensioneringen och produktionsplaneringen som gjorts utifrån de metoder som använts. Resultatet ges i form av olika tabeller och diagram samt visuella tvärsnitt- och sektionssvyer av de dimensionerade överbyggnaderna.

5.1 Snittkrafter

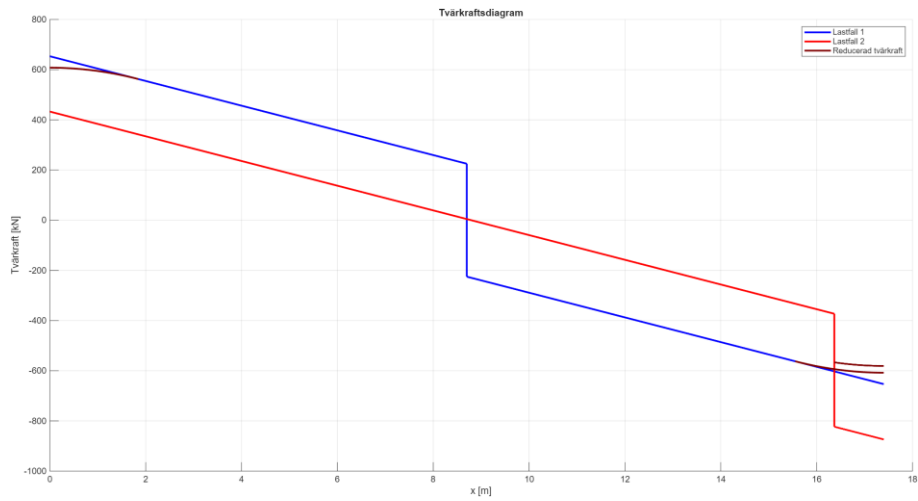
I detta avsnitt redovisas snittkrafter för de två studerade lastfallen i form av moment- och tvärkraftsdiagram med hänsyn till reducering. Diagrammen används för att identifiera vilket lastfall som blir dimensionerande. Lastfall 1 (blå), lastfall 2 (röd) och reducerad tvärkraft (brun) redovisas i följande diagram. Diagrammen används som underlag för fortsatt dimensionering.

5.1.1 Tvärkraft

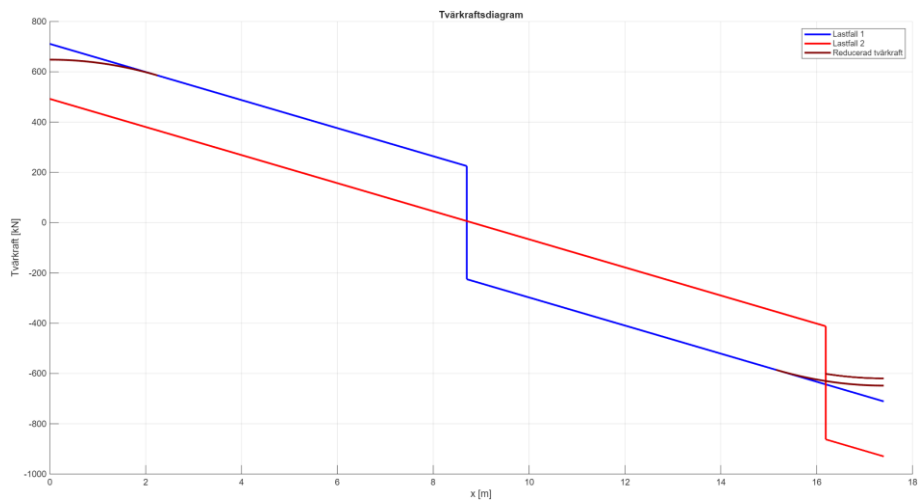
Tvärkraftsdiagrammen uppvisar samma form då samma lastförutsättningar gäller för alla tre tvärsnitt, se Figur 5.1–5.3. Reducering av tvärkraften har beaktats nära stöd för båda lastfallen. Med hänsyn till reduceringen kan man se att lastfall 1 blir dimensionerande för samtliga tvärsnitt.



Figur 5.1 Tvärkraftsdiagram för tvärsnitt 1.



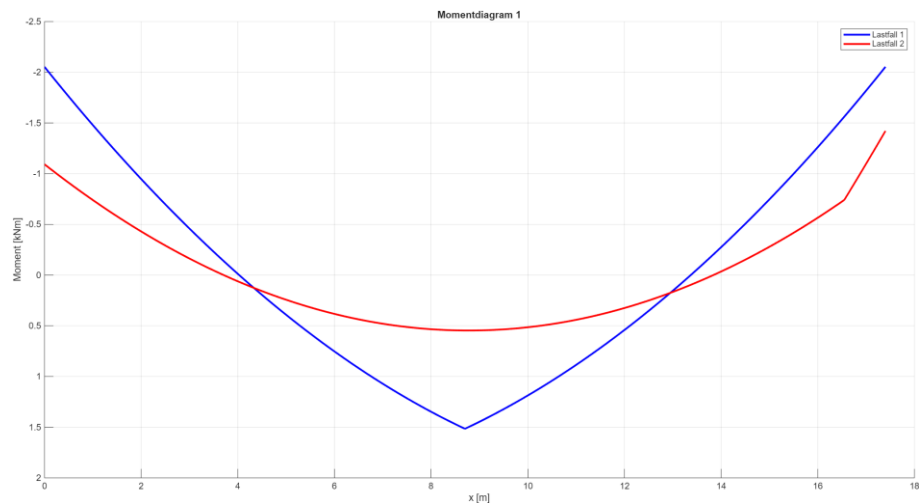
Figur 5.2 Tvärkraftsdiagram för tvärsnitt 2.



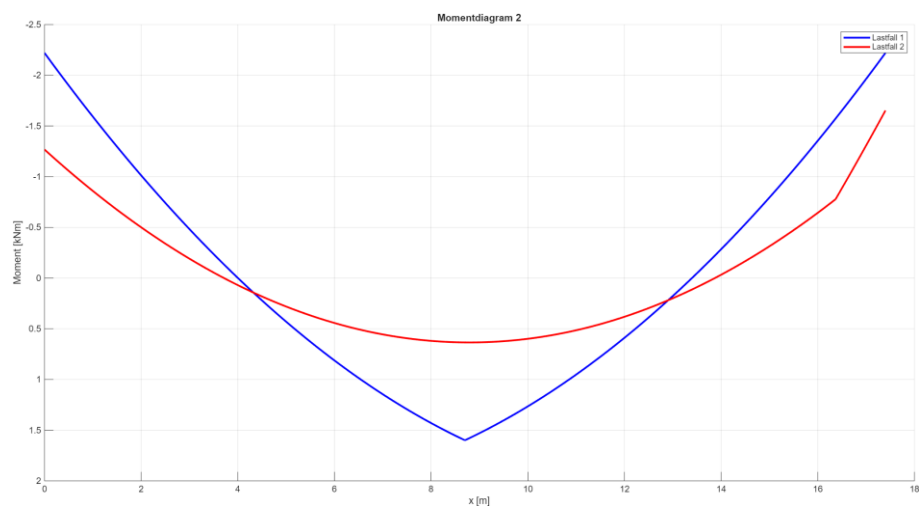
Figur 5.3 Tvärkraftsdiagram för tvärsnitt 3.

5.1.2 Moment

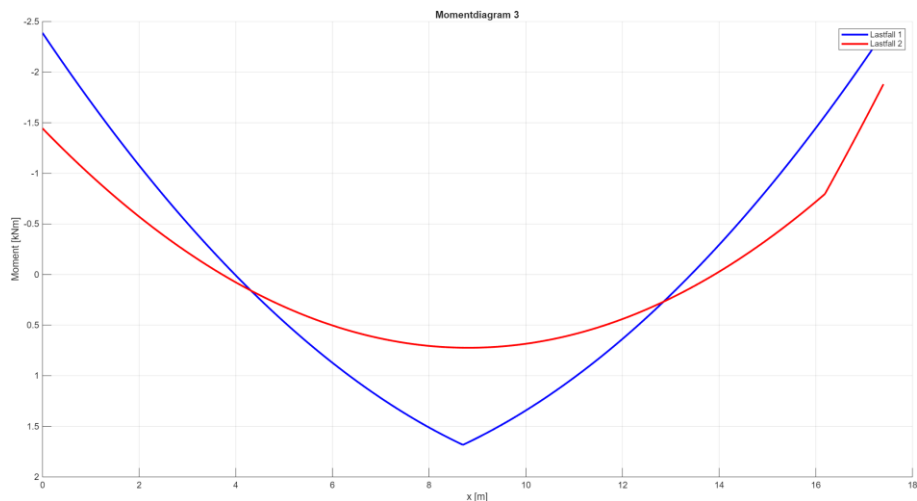
På samma sätt som tvärkraften antar även momentdiagrammen samma form, se Figur 5.4–5.6. Ur diagrammen kan man utläsa att det största positiva momentet uppstår i mittspannet och att det största negativa momentet återfinns vid stöd. Lastfall 1 blir således dimensionerande för vidare dimensionering av längsgående fält- och stödarmering.



Figur 5.4 Momentdiagram för tvärsnitt 1.



Figur 5.5 Momentdiagram för tvärsnitt 2.



Figur 5.6 Momentdiagram för tvärsnitt 3.

5.2 Dimensionering av längsgående armering

Resultatet av dimensionering av den längsgående armeringen redovisas i Tabell 5.1. Utifrån tabellen kan man avläsa att det dimensionerande momentet inte överstiger tvärsnittens kapacitet i samtliga tvärsnitt. Detta innebär att kravet på bärförmåga i ULS uppfylls. Vidare kan man utläsa att antalet erforderliga armeringsstänger i stöd och fält gradvis minskar vid ökad tvärsnittshöjd, vilket även medför en lägre armeringsgrad.

Tabell 5.1 Dimensioneringstabell för de studerade tvärsnitten vid dimensionering av längsgående armering.

	Enhet	Tvärsnitt 1		Tvärsnitt 2		Tvärsnitt 3	
		Fält	Stöd	Fält	Stöd	Fält	Stöd
H	mm	800		1000		1200	
M_{Ed}	kNm	1516	2053	1600	2221	1683	2388
M_{Rd}	kNm	1547	2063	1801	2308	1927	2591
Utnyttjandegrad	%	98	100	89	96	87	92
Antal dragstänger ($\phi 20$)	-	17	24	15	20	13	18
Armeringsgrad	%	0,67	1,0	0,47	0,68	0,34	0,50

5.3 Dimensionering av tvärkraftsarmering

Resultatet av dimensionering av tvärkraftsarmering redovisas i Tabell 5.2. Resultatet visar att den dimensionerande tvärkraften är större än betongens tvärkraftskapacitet vilket innebär att tvärkraftsarmering erfordras. Tvärkraftsarmeringens kapacitet överstiger den dimensionerande tvärkraftskapaciteten vilket innebär att kraven på dimensionering uppfylls. Den maximala tvärkraftskapaciteten är mycket större än den dimensionerande, vilket innebär att ingen risk för krossning i den sneda trycksträvan riskeras.

Tabell 5.2 Dimensioneringstabell för de studerade tvärsnitten vid dimensionering av tvärkraftsarmering.

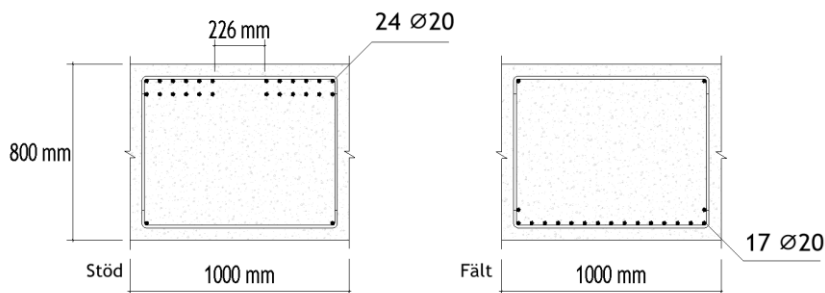
	Enhet	Tvärsnitt 1	Tvärsnitt 2	Tvärsnitt 3
H	mm	800	1000	1200
V_{Ed} (reducerad LF1)	kN	554	594	630
V_{Rdc}	kN	440	467	500
V_{Rds}	kN	582	628	662
$V_{Rds,max}$	kN	3917	5000	6084
c/c (stödzon)	mm	110	130	170
c/c (mittzon)	mm	230	230	230

5.4 Armeringsutformning

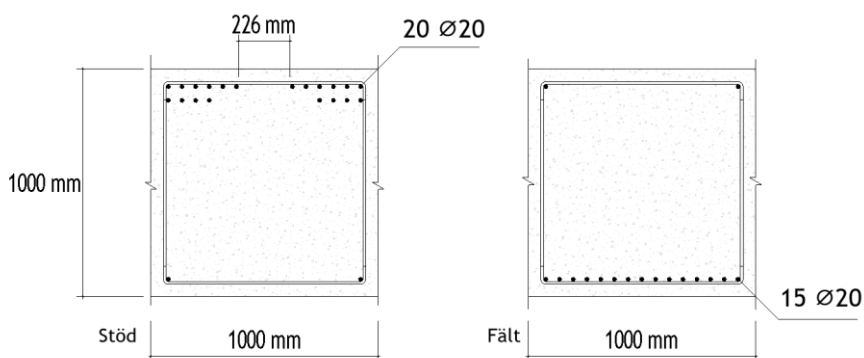
I detta avsnitt redovisas armeringsutformningen av respektive överbyggnad i form av tvärsnitt i stöd och fält samt sektionssyner för att visualisera hur tvärkraftsarmeringen är inlagd. En armeringsförteckning för respektive överbyggnad presenteras även i detta avsnitt där bland annat antalet längsgående armeringsstänger samt antalet byglar redovisas. Dessa har tagits fram utifrån tidigare genomförd dimensionering.

I Figur 5.7–5.9 redovisas tvärsnitten i fält och stöd för de tre överbyggnaderna. För samtliga tvärsnitt kan man se att överkantsarmering vid stöd och underkantsarmering vid fält är dominerande. Detta beror på att armeringens huvudsakliga syfte är att ta upp dragspänningar, vilket tyder på att dragspänningar uppstår i överkant vid stöd och i underkant vid fält, vilket stämmer överens med tidigare beräknad momentfördelning.

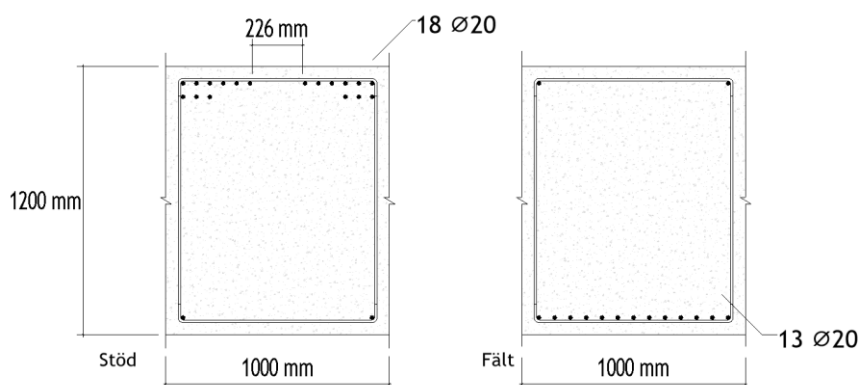
Armeringsstängerna har placerats med jämna avstånd mellan varandra för att förenkla armeringsinläggningen. I Figur 5.7–5.9 nedan har ett fritt avstånd på 226 millimeter i överkant mellan dragarmeringen erhållits. Dessa fungerar som gjutluckor och möjliggör att betong via ett pumpmunstycke kan tillföras mellan stängerna för att säkerställa en säker gjutning och en god gjutbarhet.



Figur 5.7 Tvärsnitt i stöd och fält för överbyggnad 1 ($h=800$ mm).

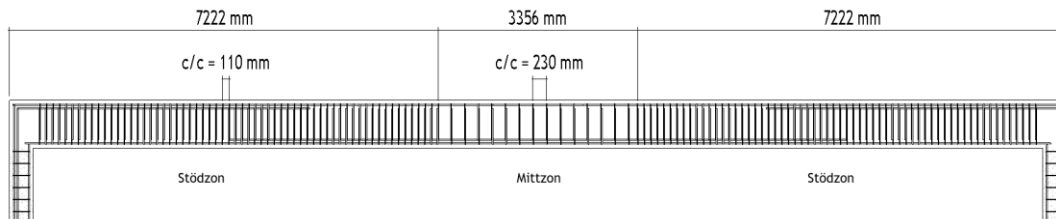


Figur 5.8 Tvärsnitt i stöd och fält för överbyggnad 2 ($h=1000$ mm).

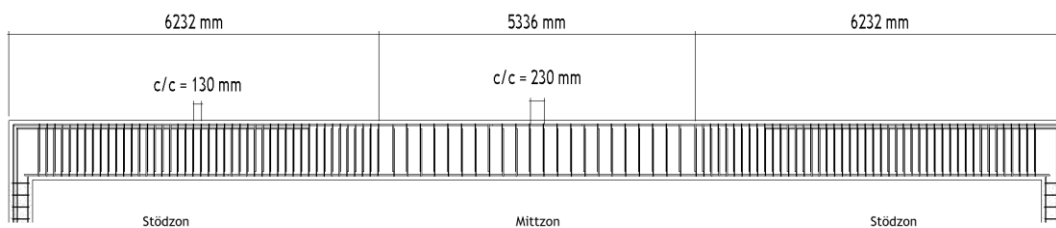


Figur 5.9 Tvärsnitt i stöd och fält för överbyggnad 3 ($h=1200$ mm).

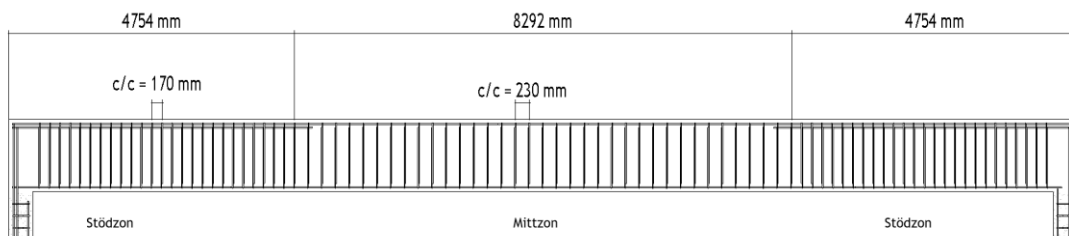
I Figur 5.10–5.12 visas sektionssvyer av respektive överbyggnad. I dessa kan man avläsa att utbredningen av stödزون minskar när höjden på tvärsnittet ökar. Dessutom framgår att centrumavståndet mellan byglarna i stödزون ökar vid ökad tvärsnittshöjd. Detta beror på att betongens tvärkraftskapacitet ökar med ökad tvärsnittshöjd, vilket leder till ett mindre behov av tvärkraftsarmering. I fält är tvärkraften låg och därmed erfordras endast minimiarmering.



Figur 5.10 Sektionsvy av överbyggnad 1 ($h=800$ mm).



Figur 5.11 Sektionsvy av överbyggnad 2 ($h=1000$ mm).



Figur 5.12 Sektionsvy av överbyggnad 3 ($h=1200$ mm).

I Tabell 5.3–5.5 redovisas armeringsförteckningar för respektive tvärsnitt. I dessa kan man utläsa vilka längder samt hur många av respektive längd som erfordras respektive tvärsnitt. I tabellerna kan man utläsa att det totalt behövs fem olika stångtyper för samtliga tvärsnitt där mängden av de olika typerna skiljer sig mellan tvärsnitten. Jämna längder har eftersträvat för att minska klippkostnader samt enhetliga diametrar för den långsgående armeringen samt för byglarna.

För att göra denna konstruktion mer byggbar och rationell har det i detta arbete bland annat använts c-byglar som tvärkraftsarmering, vilka är formade som ett c. I detta utförande ligger två c-byglar intill varandra och bildar en sluten bygel. Med denna lösning blir montering och armeringsinläggningen mer rationell och utförbar.

Tabell 5.3 Armeringsförteckning för tvärsnitt 1 ($h=800$ mm).

Armeringstyp	Antal	Längd	Total längd	Diameter	Vikt
C-bygel Ø12	276	2100 mm	572 m	12 mm	507 kg
	276		572 m		507 kg
Längsgående Ø20	52	2000 mm	104 m	20 mm	256 kg
Längsgående Ø20	48	5000 mm	240 m	20 mm	592 kg
Längsgående Ø20	4	10000 mm	40 m	20 mm	99 kg
Längsgående Ø20	17	12000 mm	204 m	20 mm	503kg
	121		588 m		1449 kg
Totalt	397		1160 m		1957 kg

Tabell 5.4 Armeringsförteckning för tvärsnitt 2 ($h=1000$ mm).

Armeringstyp	Antal	Längd	Total längd	Diameter	Vikt
C-bygel Ø12	224	2500 mm	554 m	12 mm	491 kg
	224		554 m		491 kg
Längsgående Ø20	44	2000 mm	104 m	20 mm	256 kg
Längsgående Ø20	40	5000 mm	240 m	20 mm	592 kg
Längsgående Ø20	4	10000 mm	40 m	20 mm	99 kg
Längsgående Ø20	15	12000 mm	204 m	20 mm	503kg
	103		508 m		1252 kg
Totalt	327		1062 m		1744 kg

Tabell 5.5 Armeringsförteckning för tvärsnitt 3 ($h=1200$ mm).

Armeringstyp	Antal	Längd	Total längd	Diameter	Vikt
C-bygel Ø12	174	2900 mm	500 m	12 mm	443 kg
	174		500 m		443 kg
Längsgående Ø20	40	2000 mm	80 m	20 mm	197 kg
Längsgående Ø20	36	5000 mm	180 m	20 mm	444 kg
Längsgående Ø20	4	10000 mm	40 m	20 mm	99 kg
Längsgående Ø20	13	12000 mm	156 m	20 mm	385 kg
	93		456 m		1124 kg
Totalt	267		956 m		1567 kg

5.5 Sprickbildning

Tabell 5.6 redovisar resultatet från sprickbilda-beräkningarna för de olika tvärsnitten i både fält och stöd. För varje tvärsnitt framförs dess höjd, dimensionerade moment M_1 , spänning i yttersta lagret dragarmering σ_s , maximala sprickavstånd $S_{r,max}$, samt beräknad maximala sprickbredd W_{max} .

Resultaten visar att för den ökade tvärsnittshöjden fås ett större moment på grund av den ökade egenvikten. Det ökade momentet ger en högre spänning i det yttersta lagret dragarmering. Vilket resulterar i större sprickbredder som kan avläsas i tabellen. Vidare framgår det att momentet vid stöd är större än för det i fält, för samtliga tvärsnitt. Samtliga beräknade sprickbredder har ett resultat som är lägre än det högsta acceptabla värdet i detta arbete som ansattes till 0,2 millimeter, vilket medför acceptabla sprickbredder.

Det maximala sprickavståndet $S_{r,max}$ ökar med tvärsnittets höjd och är typiskt större i stödsnitten än vid fält. Detta innebär att för stöd så uppkommer sprickor med glesare avstånd, medan fältsnitten redovisar en tätare sprickbildning.

Tabell 5.6 Resultat av sprickbildningsberäkningar.

		Tvärsnitt 1		Tvärsnitt 2		Tvärsnitt 3	
		Fält	Stöd	Fält	Stöd	Fält	Stöd
	Enhet						
H	mm	800		1000		1200	
M_l	kNm	272	544	334	668	396	791
σ_s	MPa	81	128	84	138	94	144
$s_{r,max}$	mm	325	348	326	361	347	361
W_{max}	mm	0,08	0,13	0,08	0,15	0,10	0,16

5.6 Produktionsplanering

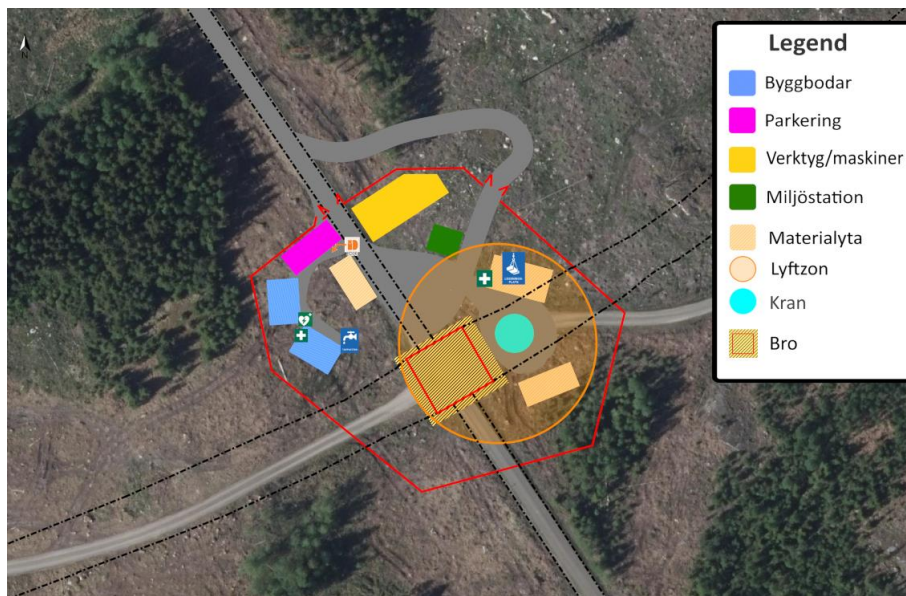
Resultatet från produktionsplaneringen redovisas i Tabell 5.7 samt i Bilaga D och Figur 5.13 i form av ett Gantt-schema respektive en APD-plan. I Tabell 5.7 redovisas den tidsåtgång samt behov av arbetskraft som behövs till aktiviteterna: formsättning, armering och gjutning, med hänsyn till deras kapacitetstider. Detta ligger till grund för framtagning av Gantt-schemat.

Tabell 5.7 Överslagsberäkning av erforderlig produktionstid och arbetskraft för centrala produktionsaktiviteter för brokonstruktion med tvärsnitt 2.

Aktivitet	Kapacitetstid	Mängd	Mantimmar (h)	Antal personer	Produktionstid
Formsättning	1,08 h/m ²	673 m ²	726	5	18,2 arbetsdagar
Armering	21 h/ton	29 ton	609	5	15,2 arbetsdagar
Gjutning	0,26 h/m ³	349 m ³	91	5	18,2 timmar

I Gantt-schemat kan man utläsa att produktionen kommer ta upp emot 14 veckor från att arbetsplatsen börjar etableras till att återställning av arbetsplats och härdning av betongen är klar, se Bilaga D.

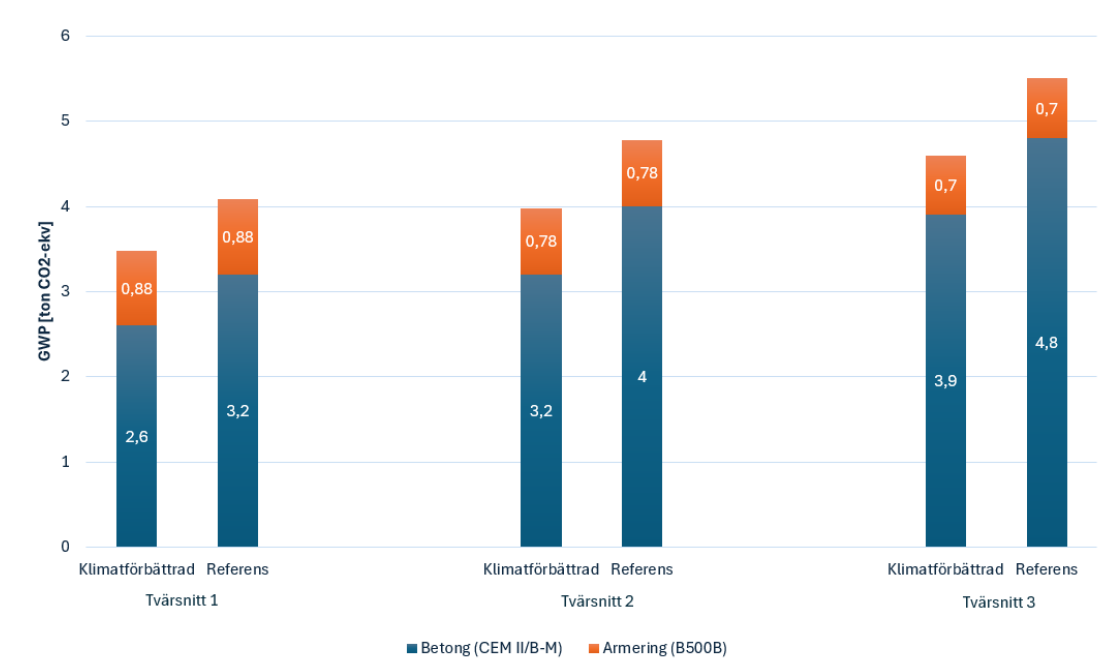
I Figur 5.13 redovisas en generell APD-plan i ett produktionsskede när arbetsplatsen är etablerad, där formsättning, armeringsinläggning och gjutning är aktuellt.



Figur 5.13 Dispositionsplan över området. Datakälla Min karta. ©Lantmäteriet. Innehållet har bearbetats. CC BY 4.0 gäller.

5.7 Klimatpåverkan

Resultatet av klimatberäkningarna redovisas i Figur 5.15 och visar att klimatpåverkan (GWP) minskar med tvärsnittens höjd då betongvolymen även minskar. Man kan också se att majoriteten av klimatpåverkan kommer från betongen på grund av att överbyggnaden till störst del utgörs av betong. Förhållandet mellan utsläppen från armeringen och betongen minskar med ökad tvärsnittshöjd. Andelen utbytt cement för den klimatförbättrade betongen motsvarade 18 procent, vilket ersattes med flygaska som alternativt bindemedel. Detta resulterade i en reduktion av tvärsnittens klimatpåverkan med 15–17 procent.



Figur 5.15 Klimatpåverkan (GWP) mellan klimatförbättrad och referensbetong samt armeringens bidrag för respektive tvärsnitt.

6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras studiens resultat och vilka målkonflikter som identifierats mellan byggbarhet, klimatpåverkan, sprickkontroll och produktionsplanering mellan de tre studerade tvärsnitten. Vidare diskuteras hur de antaganden vi gjort och val av metod påverkat resultatet och vilka begränsningar dessa har inneburit.

6.1 Byggbarhet och armeringsutformning

Detta arbete har syftat till att jämföra olika tvärsnittshöjder för en överbyggnad av en plattrambro med avseende att analysera hur tvärsnittens byggbarhet varierar. Studien har resulterat i tre olika tvärsnitt som alla klarar de krav som ställts på bärförmåga och beständighet men där möjligheterna till en bra byggbarhet varierar. I detta arbete har byggbarhetsaspekten fokuserats kring armeringsinläggningen. De mindre tvärsnitten redovisar en högre armeringsgrad med fler långsgående stänger i fler lager, samt ett tätare bygelavstånd. Detta ökar därmed risken för att fel uppstår då en mer komplex armeringsinläggning måste tillämpas. Dessutom riskeras en försämrad gjutbarhet vid ett ökat antal stänger och en försvårad kompaktering av betongen.

Till följd av våra metoder för dimensioneringen identifierades ett praktiskt problem för tvärsnitten med höjd på 800 millimeter samt 1 meter kopplat till utformningen av tvärkraftsarmeringen. För de mindre tvärsnitten resulterade centrumavståndet för byglarna i stödzon ett värde på mindre än 150 millimeter vilket försvårar möjligheten att upprätthålla tillräckliga gjutluckor längs med bron. Detta riskerar att försämma betongens gjutbarhet och möjlighet till en korrekt kompaktering. Problemet hade dock kunnat åtgärdats med tjockare tvärkraftsarmering vilket medför en större bygelarea och därmed en ökad tvärkraftskapacitet per bygel. Det resulterar då i att man kan öka centrumavståndet mellan byglarna och förbättra möjligheten till tillräckliga gjutluckor.

Vidare insågs det att problem kan uppstå med de ansatta byglarnas dorndiameter. Det togs ej hänsyn till dessa enligt Eurokods krav som visar att vid val av byglar med 12 millimeter i diameter, att dess lägsta acceptabla dorndiameter beräknas till $4\emptyset$,

motsvarande 48 millimeter vilket ej uppfylls (SIS, 2008, Tabell 8.1N). På grund av den snäva bockningsradien riskerar då armeringen att skadas. Om en större dorndiameter hade tillämpats skulle detta resultera i ett krav på större utrymme i tvärsnittet, vilket hade påverkat rymligheten för den längsgående armeringen. Detta hade fått en följd av tätare armeringsinläggning och försämrade gjutluckor, vilket vidare påverkar byggbarheten och gjutbarheten på ett negativt sätt.

Dessutom visar resultaten att ett slankt tvärsnitt medför en lägre klimatpåverkan genom en minskad mängd materialdrivna koldioxidutsläpp. Att eftersträva ett tvärsnitt med låg klimatpåverkan genom att minska mängden betong är därmed något som kommer i konflikt med, och utmanar byggbarheten för tvärsnittet. I resultatet kan man se att användningen av en klimatförbättrad betong tillåter att ett större tvärsnitt kan erhållas med samma klimatpåverkan som ett mindre, vilket möjliggör en ökad byggbarhet.

En annan målkonflikt som kunnat utläsas i resultatet är konstruktionens byggbarhet mot en acceptabel sprickbildning. Resultatet visar att vid en större tvärsnittshöjd erhålls en större sprickbredd, vilket kan kopplas till ett högre moment och därmed en högre spänning i det yttersta lagret av dragarmering. Detta tyder på att större tvärsnitt som oftast kan räknas som mer fördelaktiga ur en byggbarhetssynpunkt, kan resultera i en försämrad sprickkontroll.

Samtidigt påverkas sprickbildning i stora drag även av armeringsutformningen. I detta arbete har samma armeringsdiameter använts för samtliga tvärsnitt, vilket har begränsat resultaten av sprickberäkningarna. Om det däremot hade använts en lägre diameter på armeringen, med bibehållen armeringsarea i respektive lager, hade sprickavståndet minskat och därmed sprickbredden. Detta hade dock krävt fler armeringsstänger, vilket hade försämrat byggbarheten.

I resultatet redovisas produktionsplaneringen för ett av de studerade tvärsnitten. Vid framtagandet av denna planering har inte byggbarhetsaspekten beaktats i de beräkningar som ligger till grund för uppskattning av arbetstider för olika moment. Till exempel har kapacitetstiden för armeringsinläggning ansatts till 21 timmar per ton armering. Detta antagande förutsätter sannolikt en relativt god byggbarhet. Om

utformningen av armeringsinläggningen i tvärsnittet är för komplex och tvärsnittet har en hög armeringsgrad kan detta försvåra arbetet och därmed förlänga kapacitetstiden. I praktiken innebär detta att en sämre byggbarhet leder till en ökad osäkerhet vid produktionsplaneringen då arbetsmoment kan ta längre tid än planerat, vilket kan leda till ökade kostnader och förseningar i produktionen.

6.2 Klimatpåverkan och val av exponeringsklass

I detta arbete identifierades tidigt olika exponeringsklasser för de ingående komponenterna i brokonstruktionen. Överbyggnaden som studerats i denna studie fick med hänsyn till dess exponering exponeringsklassen XD1+XF2. Trots detta ansattes en högre exponeringsklass än vad överbyggnaden behövde för att klara de krav som ställdes på dess beständighet. Detta gjordes då samma betong antogs användas för hela konstruktionen. Eftersom konstruktionen i detta fall är platsgjuten är detta ett val som är fördelaktigt väl ute i produktionen då risken för att fel betong används elimineras. Att använda sig av fel exponeringsklass för en komponent resulterar att beständigheten inte kan garanteras vilket i många fall innebär att omfattande åtgärder eller rivning måste göras vilket är både kostsamt och tidskrävande för projektet. Ju senare man dessutom upptäcker ett sådant fel desto mer kostsamt blir det.

Däremot skulle en tillämpning av rätt betong på rätt plats innebära att ingen komponent dimensioneras för högre beständighetskrav än vad dess exponeringsförhållanden säger. Detta hade inneburit att betongsammansättningen i konstruktionen hade blivit mer optimerad. De komponenter som hade erhållit en lägre exponeringsklass hade i sådana fall fått ett högre vct och därmed tillåtit en större andel alternativa bindemedel att användas vilket hade reducerat dess klimatpåverkan. Detta hade i så fall inneburit en minskad klimatpåverkan från de tre dimensionerande överbyggnaderna utan att minska mängden betong vilket tillåtit en lägre armeringsgrad och därmed skapat förutsättningar till bättre byggbarhet.

6.3 Metoddiskussion

I detta avsnitt diskuteras hur vår metod och de antaganden som gjorts i arbetet påverkat det resultat vi fick. Till att börja med tillämpades en förenklad beräkningsmodell i form av en tvådimensionell balkmodell med fasta inspända upplag för de studerade överbyggnaderna. Detta möjliggjorde att beräkning av stödreaktioner och moment- och tvärkrafter var möjlig, vilket sedan användes för vidare dimensionering.

I verkliga fall skulle effekter från en tredimensionell lastfördelning påverkat konstruktionens verkliga snittkrafter och därmed skulle dimensionering av den erforderliga armeringen skiljt sig. I detta arbete beaktades trafiklastens inverkan genom tillämpning av lastmodell 1 där det mest belastade lastfält endast studerades. På grund av detta togs ingen hänsyn till hur lasten hade kunnat fördela sig mellan lastfälten och vilka effekter det hade haft på snittkrafterna.

Denna beräkningsmodell anses däremot vara representativ för den preliminära dimensionering som utförts där konstruktionens verkningsätt anses återspeglas på ett korrekt sätt.

En annan sak som bör diskuteras är att vi inte tagit hänsyn till alla möjliga lastfall. I lastmodell 1 kunde punktlasten placeras var som helst på brobanan för att uppnå det mest kritiska fallet. I detta arbete antogs att de mest kritiska lastfallen återfanns 0,9d från stöd samt i mitten av spannet. Om flera lastfall studerats skulle ett annat lastfall kunnat bli dimensionerande vilket man i så fall skulle använt vid fortsatt dimensionering. Det som är värt att anmärka är att lastfall 1 i resultatet blev dimensionerande vid stöd även om lastfall 2 innehöll en punktlast 0,9d från stöd. Detta beror på att punktlasten i lastfall 2 reducerades till en nivå lägre än lastfall 1. Om punktlasten hade placerats på ett avstånd där den ej hade blivit reducerad skulle den dimensionerande tvärkraften sannolikt blivit större. Detta bedöms däremot inte ha någon avgörande påverkan på denna preliminära dimensionering.

Vidare har val av metod gällande klimatberäkningar diskuterats. I detta arbete har endast produktskedet (A1-A3) beaktats. Detta har resulterat i att majoriteten av

klimatpåverkan återfinns i de materialdrivna klimatutsläppen vilket resulterat i att ett mindre tvärsnitt inneburit ett lägre klimatutsläpp. Det som är intressant gällande klimatberäkningarna är att ett mer verkligt resultat hade kunnat resultera i att de mindre tvärsnitten får en högre klimatpåverkan om produktionsskedet och byggskedet hade beaktats. Detta på grund av att ett slankare tvärsnitt hade ökat risken för en mer komplex armeringsinläggning, vilket hade inneburit ett ökat behov av resurser och riskerat en ökad tidsåtgång. Detta hade i sin tur lett till en ökad klimatpåverkan.

7 Slutsats

Sammanfattningsvis visar vårt arbete att överbyggnaden till den studerade plattramben kan dimensioneras på flera olika sätt utan att riskera kraven på bärförmåga och beständighet. Valen man gör tidigt i projekteringen påverkar vilka förutsättningar som konstruktionen senare kommer få gällande dess klimatpåverkan och byggbarhet. Alla dessa aspekter är viktiga att beakta redan i ett tidigt skede av projekteringen och att en god kommunikation upprätthålls mellan beställare, konstruktör och entreprenör under hela projekteringskedet och byggprocessen. Genom att tillämpa en rationell armeringsinläggning kan produktionen underlättas genom en förbättrad byggbarhet och minskad risk för utförandefel. Detta blir särskilt viktigt för slankare tvärsnitt då en högre armeringsgrad leder till mer komplexa lösningar.

Slankare tvärsnitt ställer därför högre krav på att en väl utförd projektering görs där hänsyn tidigt tas till konstruktionens byggbarhet på grund av dess mer komplexa armeringsinläggning än de högre tvärsnitten. Studien visar att slankare tvärsnitt kan minska klimatpåverkan men samtidigt riskeras byggbarheten att prioriteras i andrahand till följd av en mer komplex armeringsinläggning.

Studien har visat att det inte finns en enskild lösning som är den mest optimala ur samtliga beaktade aspekter. En avvägning mellan klimatpåverkan och byggbarhet måste göras och kan prioriteras olika beroende på projektets mål och förutsättningar.

Arbetet visar att dimensionering inte enbart bör baseras på att upprätthålla tillräcklig bärförmåga. Hänsyn bör även tas till att skapa en konstruktion med god byggbarhet och rimliga produktionsförutsättningar för att skapa praktiskt hållbara brokonstruktioner med ett rationellt utförande.

8 Referenser

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2011). *Bärande konstruktioner – Del 2* (Rapport 2011:1). Chalmers tekniska högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik.

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., & Johansson, P. (2020). *Bärande konstruktioner – Del 1* (Rapport 2020:1). Chalmers tekniska högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik.

Boverket. (2022). *Boverkets föreskrifter om ändring i Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)* (BFS 2022:4, EKS 12). <https://rinfo.boverket.se/BFS2011-10/pdf/BFS2022-4.pdf>

Boverket. (2025). *Eurokoder i Boverkets byggregler*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/barformagastadga-bestandighet/allmanna-krav/eurokoder/>

Byggföretagen, & Svenska Byggnadsarbetareförbundet. (2023). *Ny- och ombyggnadslistan 2023* [Excel-fil]. <https://www.byggnads.se/stod-pa-jobbet/byggnads-kollektivavtal/ditt-kollektivavtal/>

Svensk betong. (2019). *Vägledning Klimatförbättrad betong* (Utgåva 2).

Svenska betongföreningen. (2023). *Vägledning för val av exponeringsklass enligt SS-EN 206* (Betongrapport nr 11, Utgåva 4).

Svenska institutet för standarder. (2007). *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar* (SS-EN 1991-2:2003).

Svenska institutet för standarder. (2008). *Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader* (SS-EN 1992-1-1:2005).

Svenska institutet för standarder. (2010a). *Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk* (SS-EN 1990:2002).

Svenska institutet för standarder. (2010b). *Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner – Del 1: Allmänna regler* (SS-EN 1997-1:2005).

Svenska institutet för standarder. (2011). *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1–1: Allmänna laster- Tunghet, egentynngd, nyttig last för byggnader* (SS-EN 1991-1-1:2002).

Svenska institutet för standarder. (2013). *Cement – Del 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement* (SS-EN 197-1:2011).

Svenska institutet för standarder. (2025). *Betong – Användning av SS-EN 206:2014+A2:2021 i Sverige* (SS137003:2021+T2:2025).

Trafikverket. (2016). *Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner – TK Geo 13* (TDOK 2013:0667).

<https://trvdokument.trafikverket.se/fileHandler.ashx?typ=showdokument&id=46592c07-199a-4d8b-b417-d82362c9f806>

Trafikverket. (2020). *Tillgångsstrategi Bro*.
<https://viapm.se/assets/docs/tillgangsstrategi-bro-1.0.pdf>

Trafikverket. (2021). *Vägplan fastställelsehandling E20 Götene-Mariestad*.
<https://bransch.trafikverket.se/contentassets/09cfa209cc4541db8d20acf0b10abf34/faststallelse/1c070001.pdf>

Bilaga A – Beräkning tvärsnitt stöd

```
%{  
=====
```

Kurs: Examensarbete ACEX20
Bro 14NK2001
Beräkning Tvärsnitt stöd (C35/45)
Författare: Victor Isaksson - 20040621 - victoris@chalmers.se
Axe Engström - 20040905 - axeeng@chalmers.se

```
=====
```

%}
c1c
clear

Materialparameterar

```
%Betong C35/45  
fck=35e6; % [Pa]  
fcm=43e6; % [Pa]  
fcd=fck/1.5; % [Pa]  
fctm=3.8e6; % [Pa]  
ecu=3.5e-3; % [-]
```

```
%Armering B500B  
fyk=500e6; % [Pa]  
fyd=fyk/1.15; % [Pa]  
Es=200e9; % [Pa]  
esyd=fyd/Es; % [-]
```

Geometri för tvärsnitt 1, 2 och 3.

```
diamb=0.012; % Diameter på byglar [m]  
b=1; % Bredd av tvärsnitt [m]  
h_v=[0.8,1,1.2]; % Höjder på tvärsnitt [m]  
diam_v=[0.020,0.020,0.020]; % Diametrar på längsgående armering [m]
```

Laster

```
y_betong=24; % Tunghet betong [kN/m^3]  
y_armering=78; % Tunghet armering [kN/m^3]  
  
L1=17.4; % Spännvidden av överbyggnaden [m]  
G_k1 = 1.92; % Beläggninglast [kN/m]  
Q_k1 = 9; % Utbredd trafiklast [kN/m]  
p = 300; % Boggilast [kN]  
  
y_G = 1.35; % Partialkoefficient för permanent last  
y_Q = 1.5; % Partialkoefficient för variabel last  
  
%Skapar en cell array för antalet och arean av dragarmeringsstänger för
```

```
%respektiver rad i respektive tvärsnitt
n_rad_all=cell(length(h_v),1);
As_rad_all=cell(length(h_v),1);
n_nom=[];
for j=1:length(h_v)      %for-loop som dimensionerar de tre tvärsnitten
```

Ingångsvärden för aktuellt tvärsnitt

```
h=h_v(j);
diam=diam_v(j);
Asi=diam^2*pi/4;          % Area per armeringsjärn [m^2]
```

Minsta täckande betongskikt

```
cmindur=0.045; % Minsta täckande betongskikt med hänsyn till beständighet
cminb=diam;    % Minsta täckande skikt med hänsyn till vidhäftning
cmin=max([cminb,cmindur,0.01]);
dcdev=0.010;  %Toleransnivå
cnom=dcdev+cmin; %minsta täckande betongskikt

d1=cnom+diamb+diam/2;
d_prim=d1;
def(j)=h-d1;  %Effektiv höjd
z=0.9*def(j); %Inre hävarm
```

Minimiarmering

```
As_min(j)=0.26*fctm/fyk*b*def(j);
rho_min(j)=As_min(j)/(b*def(j));
```

Beräkning av dimensionerande laster

Egentyngd beräknas utifrån betongvolym och antagen armeringsandel

```
G_k2 =(y_betong*0.99+y_armering*0.01)*b*h; % Egentyngd [kN/m]

% Lastkombinationer
G = y_G * (G_k1 + G_k2)*b; % Egentyngd [kN/m]
Q = y_Q * Q_k1*b;         % Trafiklast [kN/m]
P = y_Q * p;              % Boggilast [kN]

r=diam/2;
```

Lastfall 1 med punktlast i mitten

```
% Reaktionskrafter
MA1 = (G*L1^2)/12 + (Q*L1^2)/12 + (P*L1)/8; % Moment
RA1 = (G*L1)/2 + (Q*L1)/2 + P/2;          % Vertikal
```

```

i = 500;
% Snitt 1: 0 <= x <= L1/2
x1 = linspace(0,L1/2,i);
M1=@(x) -MA1 + RA1.*x - ((Q + G) .* x.^2)./2;
T1=@(x) RA1 - (Q + G) * x;

% Snitt 2: L1/2 <= x <= L1
x2 = linspace(L1/2,L1,i);
M2=@(x) -MA1 + RA1.*x - ((Q + G) .* x.^2)/2 - P .* (x-L1/2);
T2=@(x) RA1 - (Q + G) .* x - P;

```

Lastfall 2 med last nära upplag

```

%punktlasten placeras 0.9d från högra stödet
b_e1 = 0.2 + 0.9*def(j);
a_e1 = L1 - b_e1;

% Reaktionskrafter
MA2 = (G*L1^2)/12 + (Q*L1^2)/12 + P*(b_e1.^2 * a_e1)/L1.^2; % Moment
RA2 = (G*L1)/2 + (Q*L1)/2 + (P*b_e1.^2/L1.^2)*(1 + 2*a_e1/L1); % Vertikal

% Snitt 1: 0 <= x <= a
x3 = linspace(0,a_e1,i);
M3=@(x) -MA2 + RA2*x - ((Q + G) * x.^2)/2;
T3=@(x) RA2 - (Q + G) * x;

% Snitt 2: a <= x <= L1
x4 = linspace(a_e1,L1,i);
M4=@(x) -MA2 + RA2*x - ((Q + G) * x.^2)/2 - P * (x-a_e1);
T4=@(x) RA2 - (Q + G) * x - P;

```

Dimensionerande moment

```

m1max=max(abs(M1(x1)));
m2max=max(abs(M2(x2)));
m3max=max(abs(M3(x3)));
m4max=max(abs(M4(x4)));

MEd(j)=max([m1max,m2max,m3max,m4max])*1000;

```

Erforderlig dragarmeringsmängd

```

As(j)=MEd(j)/(fyd*z);
n_kvar=ceil(As(j)/Asi);
n_nom(j)=n_kvar;

```

Inplacering av armeringsstänger

```

k1=1.0; %nationell parameter. rek. värde
k2=0.005; %nationell parameter. rek. värde
dg=0.030; %minsta stenstorlek på ballasten

```

```

p_min=max([k1*diam,dg+k2,0.020]);
s_min=p_min+diam; %minsta centrummått mellan stänger

%Max antal stänger per rad
n_rad_max=floor((b-2*(diam+s_min))/s_min)-2;
s=0.060; %Valt centrumavstånd mellan stänger

n_rad=[]; %Antal stänger per rad
As=[]; %Area av stänger per rad

n_rad(1)=n_rad_max-1;
n_kvar=n_kvar-n_rad(1);

As(1)=n_rad(1)*Asi;

%Tilldelar resterande armeringsstänger till en ny rad tills alla är
%inplacerade
i=2;
while n_kvar>n_rad(1)
    n_rad(i)=min(n_kvar,n_rad(1));
    n_kvar=n_kvar-n_rad(i);
    As(i)=n_rad(i)*(pi*diam^2/4);
    As(i);
    i=i+1;
end
% Avrundrar sista raden med stänger till ett jämn tal för symmetri
if n_kvar>0
    n_kvar=2*ceil(n_kvar/2);
    n_rad(i)=n_kvar;
    As(i)=n_rad(i)*pi*diam^2/4;
end
end

```

Beräkning av tryckzonshöjd och momentkapacitet med förenklat tryckblock

```

n_tot(j)=sum(n_rad); %Sparar ner antalet armeringsstänger totalt per tvärsnitt
As_tot(j)=sum(As); %Sparar ner den totala armeringsarean per tvärsnitt
n_rad_all{j}=n_rad; %Sparar ner antalet armeringsstänger
As_rad_all{j}=As; %Sparar alla armeringsarean för respektive rad
As_tryck(j)=2*Asi; %Antar att det finns två tryckarmeringsstänger i
underkant

% Faktorer för att beskriva det förenklatde tryckblocket
lambda=0.8;
eta=1.0;

% Beräkna tryckzonshöjd genom jämvikt
x(j)=fyd*(As_tot(j)-As_tryck(j))/(eta*fcd*b*lambda);

% Deformationsvillkor
es=[];
d=[];
% Effektiv höjd för varje armeringslager
for i=1:numel(n_rad)

```

```

    d(i)=h-cnomb-diamb-diam/2-s*(i-1);
end
es_prim=(x(j)-d_prim)/x(j)*ecu;

% Kontroll om tryckarmering flyter
if es_prim<esyd % Omtryckarmering inte flyter
    syms xny
    % Nytt antagande
    andragrad=eta*fcd*b*lambda*xny^2+Es*ecu*(xny-
d_prim)*As_tryck(j)==fyd*As_tot(j)*xny;
    xny=double(solve(andragrad,xny));
    xny=xny(xny>d_prim & xny<d(1));
    x(j)=xny(1);
    sigma_s_prim=Es*ecu*(x(j)-d_prim)/x(j);
else
    sigma_s_prim=fyd;
end
% Beräkning av momentkapacitet
MRd(j)=eta*fcd*b*lambda*x(j)*(d(1)-lambda*x(j)/2)+As_tryck(j)*sigma_s_prim*(d(1)-
d_prim);
for i=1: numel(n_rad)
    MRd(j)=MRd(j)-As(i)*fyd*(d(1)-d(i));
end

% Om momentkapaciteten är otillräcklig läggs mer armeringsstänger in
while MRd(j)<MEd(j)
    if n_rad(end)<n_rad(1)-1
        n_rad(end)=n_rad(end)+2;
    else
        n_rad(end+1)=2;
    end
    As=zeros(1,numel(n_rad));
    d=zeros(1,numel(n_rad));

    for i=1: numel(n_rad)
        As(i)=n_rad(i)*pi*diam^2/4;
        d(i)=h-cnomb-diamb-diam/2-s_min*(i-1);
    end
    As_tot(j)=sum(As);

    % Ny tryckzonshöjd
    x(j)=fyd*(As_tot(j)-As_tryck(j))/(eta*fcd*b*lambda);
    es_prim=ecu*(x(j)-d_prim)/x(j);

    if es_prim<esyd
        % Om tryckarmering inte flyter
        syms xny
        % Nytt antagande
        andragrad=eta*fcd*b*lambda*xny^2+Es*ecu*(xny-
d_prim)*As_tryck(j)==fyd*As_tot(j)*xny;
        xny=double(solve(andragrad,xny));
        xny=xny(xny>d_prim & xny<d(1));
        x(j)=xny(1);

        sigma_s_prim=Es*ecu*(x(j)-d_prim)/x(j);
    else
        % Om tryckarmering flyter
        sigma_s_prim=fyd;
    end
end

```

```

end
% Beräkna ny kapacitet med korrekt antagande
MRd(j)=eta*fcd*b*lambda*x(j)*(d(1)-
lambda*x(j)/2)+As_tryck(j)*sigma_s_prim*(d(1)-d_prim);

for i=1: numel(n_rad)
    MRd(j)=MRd(j)-As(i)*fyd*(d(1)-d(i));
end

end
% Kontrollera om man kan minska mängden armering för att nå en högre
% utnyttjandegrad

while true
    %Sparar aktuella värden
    n_rad_dummy=n_rad;
    As_dummy=As;
    d_dummy=d;
    As_tot_dummy=As_tot(j);
    x_dummy=x(j);
    MRd_dummy=MRd(j);

    if n_rad(end)>=2
        if n_rad(end)>2
            n_rad(end)=n_rad(end)-2;
        else
            n_rad(end)=[];
        end
        As=zeros(1,numel(n_rad));
        d=zeros(1,numel(n_rad));
        for i=1: numel(n_rad)
            As(i)=n_rad(i)*Asi;
            d(i)=h-cnomb-diam-diam/2-s*(i-1);
        end
        As_tot(j)=sum(As);

        x(j)=fyd*(As_tot(j)-As_tryck(j))/(eta*fcd*b*lambda);
        es_prim=ecu*(x(j)-d_prim)/x(j);

        if es_prim<esyd
            syms xny
            andragrad=eta*fcd*b*lambda*xny^2+Es*ecu*(xny-
d_prim)*As_tryck(j)==fyd*As_tot(j)*xny;
            xny=double(solve(andragrad,xny));
            xny=xny(xny>d_prim & xny<def(j));
            x(j)=xny(1);
            sigma_s_prim=Es*ecu*(x(j)-d_prim)/x(j);
        else
            sigma_s_prim=fyd;
        end

        MRd(j)=eta*fcd*b*lambda*x(j)*(d(1)-
lambda*x(j)/2)+As_tryck(j)*sigma_s_prim*(d(1)-d_prim);
        for i=1: numel(n_rad)
            MRd(j)=MRd(j)-As(i)*fyd*(d(1)-d(i));
        end
end

```

```

        if MRd(j)<MEd(j)
            n_rad=n_rad_dummy;
            As=As_dummy;
            d=d_dummy;
            As_tot(j)=As_tot_dummy;
            x(j)=x_dummy;
            MRd(j)=MRd_dummy;
            break
        end
    end
end
end

```

Sparar ner slutgiltiga värden för tvärsnittets armeringsläggnig

```

n_tot(j)=sum(n_rad);      %Sparar ner antalet armeringsstänger totalt per tvärsnitt
As_tot(j)=sum(As);       %Sparar ner den totala armeringsarean per tvärsnitt
n_rad_all{j}=n_rad;      %Sparar ner antalet armeringsstänger
As_rad_all{j}=As;        %Sparar alla armeringsarean för respektive rad

```

Skriver ut resultat för aktuellt tvärsnitt

```

disp("Tvärsnitt "+j);
fprintf("Gk_2= %.3f kN/m\n",G_k2);          % Skriver ut
egentyngd
fprintf("MEd= %.3f kNm\n",MEd(j)/1000);     % Skriver ut MEd
fprintf("tryckzonshöjd= %.3f m\n",x(j));    % Skriver ut
tryckzonshöjd
fprintf("armeringsgrad= %.3f %%\n",As_tot(j)/(def(j)*b)*100);% Skriver ut
armeringsgrad
fprintf("minsta armeringsgrad= %.3f %%\n",rho_min(j)*100); % Skriver ut minsta
armeringsgrad
fprintf("utnyttjandegrad= %.3f %%\n",MEd(j)/MRd(j)*100); % Skriver ut minsta
utnyttjandegraden

```

```

Tvärsnitt 1
Gk_2= 19.632 kN/m
MEd= 2053.427 kNm
tryckzonshöjd= 0.163 m
armeringsgrad= 1.043 %
minsta armeringsgrad= 0.198 %
utnyttjandegrad= 99.919 %

```

```

Tvärsnitt 2
Gk_2= 24.540 kN/m
MEd= 2220.596 kNm
tryckzonshöjd= 0.136 m
armeringsgrad= 0.681 %
minsta armeringsgrad= 0.198 %
utnyttjandegrad= 96.428 %

```

```

Tvärsnitt 3
Gk_2= 29.448 kN/m
MEd= 2387.765 kNm
tryckzonshöjd= 0.123 m
armeringsgrad= 0.504 %

```

minsta armeringsgrad= 0.198 %
utnyttjandegrad= 92.319 %

Kontroll av segt verkningsätt

```
if x(j)/def(j)<=0.25
    disp("segt beteende")
    disp(x(j)/def(j)+" <= 0.25")
else
    disp("sprött beteende")
    disp(x(j)/def(j)+" > 0.25")
end
```

segt beteende
0.22569 <= 0.25

segt beteende
0.14747 <= 0.25

segt beteende
0.10945 <= 0.25

Kontroll om dragarmering flyter

```
for i=1: numel(n_rad)
    es=(d(i)-x(j))/x(j)*ecu;
    if es>esyd
        disp(" Dragarmering flyter på rad "+i+" i tvärsnitt "+ j);
        disp(es+" > "+esyd);
    else
        disp("Dragarmering flyter ej på rad "+i+" i tvärsnitt "+ j)
        disp(es+" > "+esyd);
    end
end
```

Dragarmering flyter på rad 1 i tvärsnitt 1
0.012008 > 0.0021739
Dragarmering flyter på rad 2 i tvärsnitt 1
0.010721 > 0.0021739

Dragarmering flyter på rad 1 i tvärsnitt 2
0.020234 > 0.0021739
Dragarmering flyter på rad 2 i tvärsnitt 2
0.018691 > 0.0021739

Dragarmering flyter på rad 1 i tvärsnitt 3
0.028478 > 0.0021739
Dragarmering flyter på rad 2 i tvärsnitt 3
0.02677 > 0.0021739

Kontroll om tryckarmering flyter

```
es_prim=(x(j)-d_prim)/x(j)*ecu;
if es_prim>esyd
    disp("Tryckarmering flyter")
    disp(es_prim+" > "+esyd);
end
```

```

else
    disp("Tryckarmering flyter ej")
    disp(es_prim+ " > "+esyd);
end

```

```

Tryckarmering flyter ej
0.0018484 > 0.0021739

```

```

Tryckarmering flyter ej
0.00152 > 0.0021739

```

```

Tryckarmering flyter ej
0.0013074 > 0.0021739

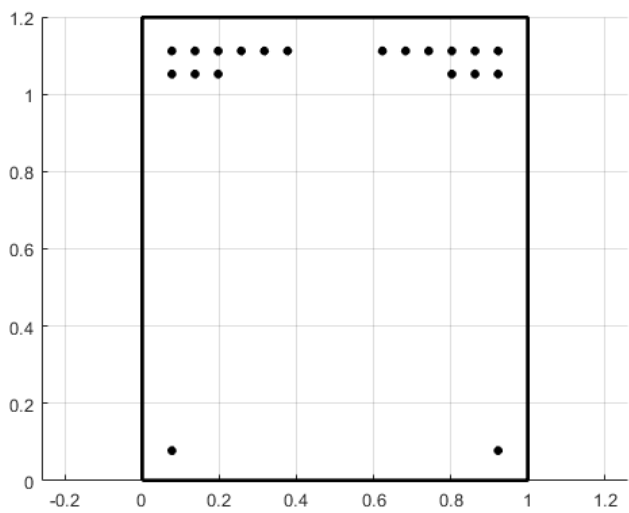
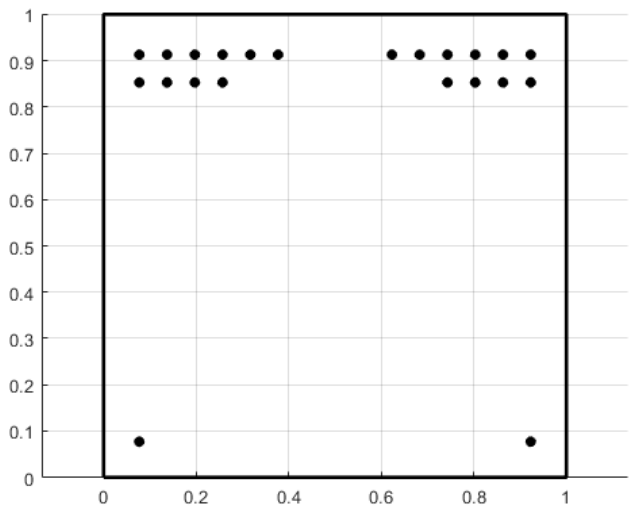
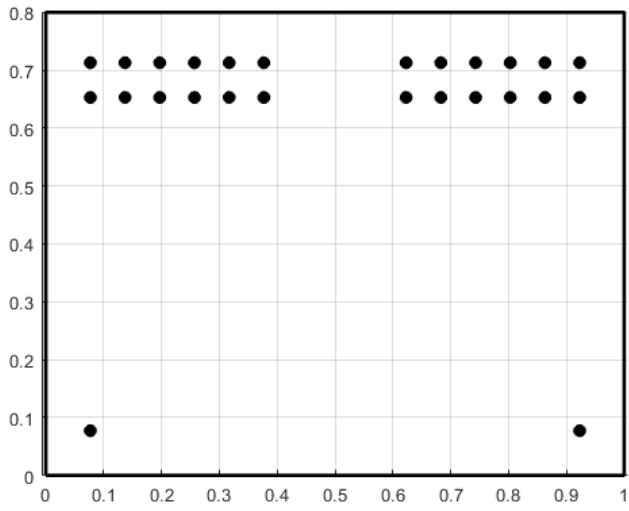
```

Ritar upp aktuellt tvärsnitt

```

r=diam/2;
Figure
axis equal
grid on
hold on
axis equal
xplot = [0 b b 0 0];
yplot = [0 0 h h 0];
plot(xplot,yplot,'k','Linewidth',2)
theta=linspace(0,2*pi,100);
% Plottar alla rader
yc=cnom+r+diamb;
% Plottar dragarmering
for k=1:length(n_rad)
    yc=cnom+r+diamb+r*s*(k-1);
    for i=1:n_rad(k)/2
        xc=cnom+r+diamb+(i-1)*s;
        x_circ=xc+r*cos(theta);
        y_circ=h-yc+r*sin(theta);
        fill(x_circ,y_circ,'k','EdgeColor','k')
        fill(b-x_circ,y_circ,'k','EdgeColor','k')
    end
end
% Plottar tryckarmering
for k=1:1
    yc=h-(cnom+r+diamb);
    xc=cnom+r+diamb+b*(k-1);
    x_circ=xc+r*cos(theta);
    y_circ=h-yc+r*sin(theta);
    fill(x_circ,y_circ,'k','EdgeColor','k')
    fill(b-x_circ,y_circ,'k','EdgeColor','k')
end

```



Sprickbildning

```
% BERÄKNING AV M1 (Bruksgränstillstånd)

% Definiera SLS-laster (kvasi-permanent)
psi2 = 0; % Reduktionsfaktor för trafik (bro)
G_sls = 1.0 * (G_k1 + G_k2) * b;
Q_sls = 1.0 * Q_k1 * b * psi2;
P_sls = 1.0 * p * psi2;

% Reaktionskrafter (Lastfall 1 & 2)
MA1_sls = (G_sls*L1^2)/12; + (Q_sls*L1^2)/12 + (P_sls*L1)/8;
RA1_sls = (G_sls*L1)/2; + (Q_sls*L1)/2 + P_sls/2;

b_e1 = 0.2 + 0.9*def(j);
a_e1 = L1 - b_e1;
MA2_sls = (G_sls*L1^2)/12 + (Q_sls*L1^2)/12 + P_sls*(b_e1^2 * a_e1)/L1^2;
RA2_sls = (G_sls*L1)/2 + (Q_sls*L1)/2 + (P_sls*b_e1^2/L1^2)*(1 + 2*a_e1/L1);

% Beräkna maximala momentet för SLS
% Snitt 1 & 2 (Lastfall 1)
M1_sls = @(x) -MA1_sls + RA1_sls.*x - ((Q_sls + G_sls) .* x.^2)./2;
M2_sls = @(x) -MA1_sls + RA1_sls.*x - ((Q_sls + G_sls) .* x.^2)./2 - P_sls .* (x-
L1/2);

% Snitt 3 & 4 (Lastfall 2)
M3_sls = @(x) -MA2_sls + RA2_sls*x - ((Q_sls + G_sls) * x.^2)./2;
M4_sls = @(x) -MA2_sls + RA2_sls*x - ((Q_sls + G_sls) * x.^2)./2 - P_sls * (x-
a_e1);

% Hitta det dimensionerande M1
m11 = max(abs(M1_sls(x1)));
m12 = max(abs(M2_sls(x2)));
m13 = max(abs(M3_sls(x3)));
m14 = max(abs(M4_sls(x4)));

M1(j) = max([m11, m12, m13, m14]) * 1000; % Omvandla till Nm

fprintf('M1 för tvärsnitt %d: %.2f kNm\n', j, M1(j)/1000);

% Krympning
u = 2 * (1 + h_v(j));
h0 = 2*h_v(j)/u * 1000; % [mm]
if h0 > 100 && h0 <=200
    h1 = 100;
    k1 = 1;
    h2 = 200;
    k2 = 0.85;
    kh = k1 + ((h0 - h1)/(h2 - h1))*(k2 - k1);
elseif h0 > 200 && h0 <=300
    h1 = 200;
    k1 = 0.85;
    h2 = 300;
    k2 = 0.75;
    kh = k1 + ((h0 - h1)/(h2 - h1))*(k2 - k1);
elseif h0 > 300 && h0 <=500
    h1 = 300;
```

```

k1 = 0.75;
h2 = 500;
k2 = 0.70;
kh = k1 + ((h0 - h1)/(h2 - h1))*(k2 - k1);
else
kh = 0.7;
end
b_rh = 0.756;
ecdi = 0.335e-3;
ecd = kh * b_rh * ecdi;
eca = 0.0625e-3;
ecs = ecd + eca;

% Tvångskrafter på grund av krympning
Fcs=[];
for i=1:length(n_rad)
Fcs(i) = Es*ecs*As(i);
end
Fcs_prim = Es*ecs*As_tryck(j);
% Krypning
RH = 80;
phi_rh = 1 + (1-RH/100)/(0.1*h0^(1/3));
b_fcm = 2.31; % Tabell B2.9 [2]
b_t0 = 0.48; % Figur B2.20 [28 dagar]
phi_creep = phi_rh * b_fcm * b_t0; % B2-23
Ecm = 36e9; % MPa
Ecd = Ecm/1.2;
a_ef = Es/Ecd * (1 + phi_creep);

if length(n_rad) == 0
xtp_calc = @(xx) (b*xx^2/2 + (a_ef-1)*As_tryck(j)*d_prim) / (b*xx + (a_ef-
1)*As_tryck(j));

A_II_calc = @(xx) b*xx + (a_ef-1)*As_tryck(j);
I_II_calc = @(xx) b*xx^3/12 + b*xx*(xx/2 - xtp_calc(xx)).^2 + (a_ef-
1)*As_tryck(j)*(xtp_calc(xx)-d_prim).^2;

f_solve = @(xx) Fcs_prim/A_II_calc(xx) + (Fcs_prim*(xtp_calc(xx)-d_prim) +
M1(j)) / I_II_calc(xx) * (xx - xtp_calc(xx));
xs = fzero(f_solve, 0.2);

x_sprick(j) = xs;
xtp(j) = xtp_calc(xs);
A_IIef(j) = A_II_calc(xs);
I_IIef(j) = I_II_calc(xs);

es = d - xtp(j);
es_prim = xtp(j) - d_prim;

final_sigma_c = @(z) (Fcs_prim)/A_IIef(j) + (Fcs_prim*(-es_prim) +
M1(j))/I_IIef(j) * z;

sigma_s_prim2(j) = a_ef * final_sigma_c(-es_prim) - Fcs_prim/As_tryck(j);
else
% BERÄKNING AV x OCH xtp

% Definiera anonyma funktioner för att MATLAB ska kunna iterera fram x

```

```

% xtp_calc räknar ut tyngdpunkten baserat på ett gissat x
xtp_calc = @(xx) (b*xx^2/2 + (a_ef-1)*As_tryck(j)*d_prim + a_ef*sum(As.*d)) /
(b*xx + (a_ef-1)*As_tryck(j) + a_ef*sum(As));

% A_II_calc räknar ut arean baserat på x
A_II_calc = @(xx) b*xx + (a_ef-1)*As_tryck(j) + a_ef*sum(As);

% I_II_calc räknar ut tröghetsmomentet kring xtp
I_II_calc = @(xx) b*xx^3/12 + b*xx*(xx/2 - xtp_calc(xx)).^2 + (a_ef-
1)*As_tryck(j)*(xtp_calc(xx)-d_prim).^2 + sum(a_ef*As.*(d - xtp_calc(xx)).^2);

% f_solve är funktionen som ska bli noll: sigma_c vid x (där z = x - xtp)
% Vi använder Naviers formel
f_solve = @(xx) (Fcs_prim + sum(Fcs))/A_II_calc(xx) + (Fcs_prim*(xtp_calc(xx)-
d_prim) + sum(Fcs.*(d-xtp_calc(xx))) + Ml(j)) / I_II_calc(xx) * (xx - xtp_calc(xx));

% Nu hittar vi det korrekta x (xs) där spänningen i sprickgränsen är 0
xs = fzero(f_solve, 0.2);

x_sprick(j) = xs;
xtp(j) = xtp_calc(xs);
A_IIef(j) = A_II_calc(xs);
I_IIef(j) = I_II_calc(xs);

% Beräkna de slutgiltiga hävarmarna från tyngdpunkten xtp(j)
es = d - xtp(j); % Avstånd från xtp till dragarmering
es_prim = xtp(j) - d_prim; % Avstånd från xtp till tryckarmering

% Definiera sigma_c för att räkna ut stålspänningar (z mäts från xtp)
% Notera att z är positivt nedåt
final_sigma_c = @(z) (Fcs_prim + sum(Fcs))/A_IIef(j) + (Fcs_prim*(-es_prim) +
sum(Fcs.*es) + Ml(j))/I_IIef(j) * z;

% Beräkna stålspänningar
sigma_s_prim2(j) = a_ef * final_sigma_c(-es_prim) - Fcs_prim/As_tryck(j);
for i=1:length(n_rad)
    sigma_s(i,j) = a_ef * final_sigma_c(es(i)) - Fcs(i)/As(i);
end
end

if sigma_s(i,j) < 0.8*fyk
    fprintf('Armering klarar kontroll! \n')
else
    fprintf('Armering klarar INTE kontroll!! \n')
end

% Sprickbredd enligt SS-EN 1992-1-1 (7.8)
kt = 0.4; % Långtidslast
f_cteff = fctm;
A_ceff = min([2.5*(h_v(j)-d(1)) (h_v(j)-x_sprick(j))/3 h_v(j)/2]);
rho_peff = n_tot(j)*As_tot(j)/A_ceff;
ae = Es/Ecm;
de = (sigma_s(1,j) - kt*(f_cteff/rho_peff)*(1 + ae*rho_peff))/Es; % de = (esm -
ecm)
if de < 0.6*sigma_s(1,j)/Es
    de = 0.6*sigma_s(1,j)/Es
end
end

```

```
k1 = 0.8;
k2 = 0.5;
k3 = 3.4;
k4 = 0.425;
S_rmax(j) = k3*cnom + k1*k2*k4*diam_v(j)/rho_peff;

w(j) = S_rmax(j)*de;

fprintf('Maximala sprickavstånd: %.1f mm \n', S_rmax(j)*1000)
fprintf('Sprickbredd: %.2f mm \n\n', w(j)*1000)
```

M_l för tvärsnitt 1: 543.76 kNm
Armering klarar kontroll!
Maximala sprickavstånd: 190.4 mm
Sprickbredd: 0.11 mm

M_l för tvärsnitt 2: 667.59 kNm
Armering klarar kontroll!
Maximala sprickavstånd: 192.2 mm
Sprickbredd: 0.12 mm

M_l för tvärsnitt 3: 791.41 kNm
Armering klarar kontroll!
Maximala sprickavstånd: 193.4 mm
Sprickbredd: 0.13 mm

end

Published with MATLAB® R2023b

Bilaga B – Beräkning tvärsnitt fält

```
%{  
=====
```

Kurs: Examensarbete ACEX20
Bro 14NK2001
Beräkning Tvärsnitt fält (C35/45)
Författare: Victor Isaksson - 20040621 - victoris@chalmers.se
Axeļ Engström - 20040905 - axeeng@chalmers.se

```
=====
```

%}
c1c
clear

Materialparameterar

```
%Betong C35/45  
fck=35e6; % [Pa]  
fcm=43e6; % [Pa]  
fcd=fck/1.5; % [Pa]  
fctm=3.8e6; % [Pa]  
ecu=3.5e-3; % [-]
```

```
%Armering B500B  
fyk=500e6; % [Pa]  
fyd=fyk/1.15; % [Pa]  
Es=200e9; % [Pa]  
esyd=fyd/Es; % [-]
```

Geometri för tvärsnitt 1, 2 och 3.

```
diamb=0.012; % Diameter på byglar [m]  
b=1; % Bredd av tvärsnitt [m]  
h_v=[0.8,1,1.2]; % Höjder på tvärsnitt [m]  
diam_v=[0.020,0.020,0.020]; % Diametrar på längsgående armering [m]
```

Laster

```
y_betong=24; % Tunghet betong [kN/m^3]  
y_armering=78; % Tunghet armering [kN/m^3]
```

```
L1=17.4; % Spännvidden av överbyggnaden [m]
```

```
G_k1 = 1.92; % Belägningslast [kN/m]  
Q_k1 = 9; % Utbredd trafiklast [kN/m]  
p = 300; % Boggilast [kN]
```

```
y_G = 1.35; % Partialkoefficient för permanent last  
y_Q = 1.5; % Partialkoefficient för variabel last
```

```
%Skapar en cell array för antalet och arean av dragarmeringsstänger för
%respektiver rad i respektive tvärsnitt
n_rad_all=cell(length(h_v),1);
As_rad_all=cell(length(h_v),1);
n_nom=[];

for j=1:length(h_v)      %for-loop som dimensionerar de tre tvärsnitten
```

Ingångsvärden för aktuellt tvärsnitt

```
h=h_v(j);
diam=diam_v(j);
Asi=diam^2*pi/4;          % Area per armeringsjärn [m^2]
```

Minsta täckande betongskikt

```
cmindur=0.045; % Minsta täckande betongskikt med hänsyn till beständighet
cminb=diam;    % Minsta täckande skikt med hänsyn till vidhäftning
cmin=max([cminb,cmindur,0.01]);
dcdev=0.010;  %Toleransnivå
cnom=dcdev+cmin; %minsta täckande betongskikt

d1=cnom+diamb+diam/2;
d_prim=d1;
def(j)=h-d1;  %Effektiv höjd
z=0.9*def(j); %Inre hävarm
```

Minimiarmering

```
As_min(j)=0.26*fctm/fyk*b*def(j);
rho_min(j)=As_min(j)/(b*def(j));
```

Beräkning av dimensionerande laster

Egentyngd beräknas utifrån betongvolym och antagen armeringsandel

```
G_k2 =(y_betong*0.99+y_armering*0.01)*b*h; % Egentyngd [kN/m]

% Lastkombinationer
G = y_G * (G_k1 + G_k2)*b; % Egentyngd [kN/m]
Q = y_Q * Q_k1*b;         % Trafiklast [kN/m]
P = y_Q * p;              % Boggilast [kN]
```

Lastfall 1 med punktlast i mitten

```
% Reaktionskrafter
MA1 = (G*L1^2)/12 + (Q*L1^2)/12 + (P*L1)/8; % Moment
RA1 = (G*L1)/2 + (Q*L1)/2 + P/2;          % Vertikal

i = 500;
```

```

% Snitt 1: 0 <= x <= L1/2
x1 = linspace(0,L1/2,i);
M1 =@(x) -MA1 + RA1.*x - ((Q + G) .* x.^2)./2;
T1 =@(x) RA1 - (Q + G) * x;

% Snitt 2: L1/2 <= x <= L1
x2 = linspace(L1/2,L1,i);
M2 =@(x) -MA1 + RA1.*x - ((Q + G) .* x.^2)/2 - P .* (x-L1/2);
T2 =@(x) RA1 - (Q + G) .* x - P;

```

Lastfall 2 med last nära upplag

```

%punktlasten placeras 0.9d från högra stödet
b_e1 = 0.2 + 0.9*def(j);
a_e1 = L1 - b_e1;

% Reaktionskrafter
MA2 = (G*L1^2)/12 + (Q*L1^2)/12 + P*(b_e1.^2 * a_e1)/L1.^2; % Moment
RA2 = (G*L1)/2 + (Q*L1)/2 + (P*b_e1.^2/L1.^2)*(1 + 2*a_e1/L1); % Vertikal

% Snitt 1: 0 <= x <= a
x3 = linspace(0,a_e1,i);
M3 =@(x) -MA2 + RA2*x - ((Q + G) * x.^2)/2;
T3 =@(x) RA2 - (Q + G) * x;

% Snitt 2: a <= x <= L1
x4 = linspace(a_e1,L1,i);
M4 =@(x) -MA2 + RA2*x - ((Q + G) * x.^2)/2 - P * (x-a_e1);
T4 =@(x) RA2 - (Q + G) * x - P;

```

Dimensionerande moment

```

MEd(j) = max([max(M1(x1)),max(M2(x2)),max(M3(x3)),max(M4(x4))])*1000;

```

Erforderlig dragarmeringsmängd (kapaciteten antas fullt utnyttjad)

```

As_erf=MEd(j)/(fyd*z);
n_kvar=ceil(As_erf/Asi);
n_nom(j)=n_kvar;

% Inplacering av dragarmeringsstänger

k1=1.0; % Nationell parameter. rek. värde
k2=0.005; % Nationell parameter. rek. värde
dg=0.03; % Minsta stenstorlek på ballasten
p_min=max([k1*diam,dg+k2,0.020]);
s_min=p_min+diam; % Centrummått mellan stänger

% Max antal stänger per rad
n_rad_max=floor((b-2*(d1))/s_min);

```

```

% Centrumavstånd mellan stänger. Anpassas efter antal stänger på första
% raden
if n_kvar>=n_rad_max
    s=((b-2*d1)/(n_rad_max-1)*100)/100;
else
    s=((b-2*d1)/(n_kvar-1)*100)/100;
end

n_rad(1)=n_rad_max;
n_kvar=n_kvar-n_rad(1);
As=[];
As(1)=n_rad(1)*(pi*diam^2/4);

%Tilldelar resterande armeringsstänger till en ny rad tills alla är
%inplacerade
i=2;
while n_kvar>n_rad(1)-1 %Lägger in antalet stänger per rad
    n_rad(i)=min(n_kvar,n_rad(1)-1);
    n_kvar=n_kvar-n_rad(i);
    As(i)=n_rad(i)*(pi*diam^2/4);
    As(i);
    i=i+1;
end
%Sista raden avrundas till ett jämnt antal
if n_kvar>0
    n_kvar=2*ceil(n_kvar/2);
    n_rad(i)=n_kvar;
    As(i)=n_rad(i)*pi*diam^2/4;
end

```

Beräkning av tryckzonshöjd och momentkapacitet med förenklat tryckblock

```

As=zeros(1,numel(n_rad));
d=zeros(1,numel(n_rad));
for i=1:numel(n_rad)
    As(i)=n_rad(i)*Asi;
    d(i)=h-cnomb-diamb-diam/2-s*(i-1);
end

n_tot(j)=sum(n_rad); %Sparar ner antalet armeringsstänger totalt per tvärsnitt
As_tot(j)=sum(As); %Sparar ner den totala armeringsarean per tvärsnitt
n_rad_all{j}=n_rad; %Sparar ner antalet armeringsstänger
As_rad_all{j}=As; %Sparar alla armeringsarean för respektive rad
As_tryck(j)=2*(pi*diam^2)/4;
%Ingen tryckarmering beaktas då tryckzonen är låg
As_tryck(j)=0;

% Faktorer för att beskriva det förenklatde tryckblocket
lambda=0.8;
eta=1.0;

```

```

% Beräkna tryckzonshöjd genom jämvikt
x(j)=fyd*(As_tot(j)-As_tryck(j))/(eta*fcd*b*lambda);

% Deformationsvillkor
es=[];
d=[];
% Effektiv höjd för varje armeringslager
for i=1: numel(n_rad)
    d(i)=h-cnomb-diamb-diam/2-s*(i-1);
end

% Beräkning av momentkapacitet
MRd(j)=eta*fcd*b*lambda*x(j)*(d(1)-lambda*x(j)/2);

for i=1: numel(n_rad)
    MRd(j)=MRd(j)-As(i)*fyd*(d(1)-d(i));
end

% Ökar antalet armeringsstänger om momentkapacitet är otillräcklig
while MRd(j)<MEd(j)
    if n_rad(end)<n_rad(1)-1
        n_rad(end)=n_rad(end)+2;
    else
        n_rad(end+1)=2;
    end
    As=zeros(1,numel(n_rad));
    d=zeros(1,numel(n_rad));

    for i=1: numel(n_rad)
        As(i)=n_rad(i)*pi*diam^2/4;
        d(i)=h-cnomb-diamb-diam/2-s*(i-1);
    end
    As_tot(j)=sum(As);
    % Ny tryckzonshöjd och momentkapacitet
    x(j)=fyd*(As_tot(j)-As_tryck(j))/(eta*fcd*b*lambda);
    es_prim=ecu*(x(j)-d_prim)/x(j);

    MRd(j)=eta*fcd*b*lambda*x(j)*(d(1)-lambda*x(j)/2);

    for i=1: numel(n_rad)
        MRd(j)=MRd(j)-As(i)*fyd*(d(1)-d(i));
    end

end

% kontrollera om man kan minska mängden armering för att nå en högre
% utnyttjandegrad

while true
    n_rad_dummy=n_rad;
    As_dummy=As;
    d_dummy=d;
    As_tot_dummy=As_tot(j);
    x_dummy=x(j);
    MRd_dummy=MRd(j);

    if n_rad(end)>=2

```

```

if n_rad(end)>2
    n_rad(end)=n_rad(end)-2;
else
    n_rad(end)=[];
end
As=zeros(1,numel(n_rad));
d=zeros(1,numel(n_rad));
for i=1:numel(n_rad)
    As(i)=n_rad(i)*Asi;
    d(i)=h-cnomb-diamb-diam/2-s*(i-1);
end
As_tot(j)=sum(As);

% Antar att tryckarmering flyter
x(j)=fyd*(As_tot(j)-As_tryck(j))/(eta*fcd*b*lambda);
es_prim=ecu*(x(j)-d_prim)/x(j);

MRd(j)=eta*fcd*b*lambda*x(j)*(d(1)-lambda*x(j)/2);
for i=1:numel(n_rad)
    MRd(j)=MRd(j)-As(i)*fyd*(d(1)-d(i));
end
if MRd(j)<MEd(j)
    n_rad=n_rad_dummy;
    As=As_dummy;
    d=d_dummy;
    As_tot(j)=As_tot_dummy;
    x(j)=x_dummy;
    MRd(j)=MRd_dummy;
    break
end
end
end

```

Sparar ner slutgiltiga värden för tvärsnittets armeringsläggning

```

n_tot(j)=sum(n_rad);      %Sparar ner antalet armeringsstänger totalt per tvärsnitt
As_tot(j)=sum(As);      %Sparar ner den totala armeringsarean per tvärsnitt
n_rad_all{j}=n_rad;     %Sparar ner antalet armeringsstänger
As_rad_all{j}=As;      %Sparar alla armeringsarean för respektive rad

```

Skriver ut resultat för aktuellt tvärsnitt

```

disp("Tvärsnitt "+j);
fprintf("Gk_2= %.3f kN/m\n",G_k2);          %skriver ut
egentyngd
fprintf("MEd= %.3f kNm\n",MEd(j)/1000);    %skriver ut MEd
fprintf("tryckzonshöjd= %.3f m\n",x(j));    %skriver ut
tryckzonshöjd
fprintf("armeringsgrad= %.3f %%\n",As_tot(j)/(h_v(j)*b)*100); %skriver ut
armeringsgrad
fprintf("minsta armeringsgrad= %.3f %%\n",rho_min(j)*100)   %skriver ut
minsta armeringsgrad
fprintf("utnyttjandegrad= %.3f %%\n",MEd(j)/MRd(j)*100);   %skriver ut
utnyttjandegrad

```

Tvårsnitt 1
Gk_2= 19.632 kN/m
MEd= 1516.088 kNm
tryckzonshöjd= 0.124 m
armeringsgrad= 0.668 %
minsta armeringsgrad= 0.198 %
utnyttjandegrad= 98.015 %

Tvårsnitt 2
Gk_2= 24.540 kN/m
MEd= 1599.673 kNm
tryckzonshöjd= 0.110 m
armeringsgrad= 0.471 %
minsta armeringsgrad= 0.198 %
utnyttjandegrad= 88.814 %

Tvårsnitt 3
Gk_2= 29.448 kN/m
MEd= 1683.257 kNm
tryckzonshöjd= 0.095 m
armeringsgrad= 0.340 %
minsta armeringsgrad= 0.198 %
utnyttjandegrad= 87.373 %

Kontroll av segt verkningsätt

```
if x(j)/def(j)<=0.25
    disp("segt beteende")
    disp(x(j)/def(j)+" <= 0.25")
else
    disp("sprött beteende")
    disp(x(j)/def(j)+" > 0.25")
end
```

segt beteende
0.17205 <= 0.25

segt beteende
0.11892 <= 0.25

segt beteende
0.084707 <= 0.25

Kontroll om dragarmering flyter

```
for i=1: numel(n_rad)
    es=(d(i)-x(j))/x(j)*ecu;
    if es>esyd
        disp(" Dragarmering flyter på rad "+i+" i tvårsnitt "+ j);
        disp(es+" > "+esyd);
    else
        disp("Dragarmering flyter ej på rad "+i+" i tvårsnitt "+ j)
        disp(es+" > "+esyd);
    end
end
```

Dragarmering flyter på rad 1 i tvärsnitt 1
0.016842 > 0.0021739
Dragarmering flyter på rad 2 i tvärsnitt 1
0.015142 > 0.0021739

Dragarmering flyter på rad 1 i tvärsnitt 2
0.025932 > 0.0021739

Dragarmering flyter på rad 1 i tvärsnitt 3
0.037819 > 0.0021739

Ritar upp aktuellt tvärsnitt

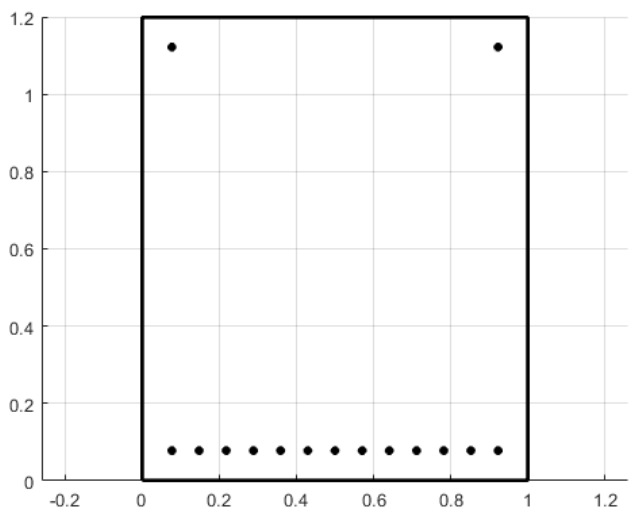
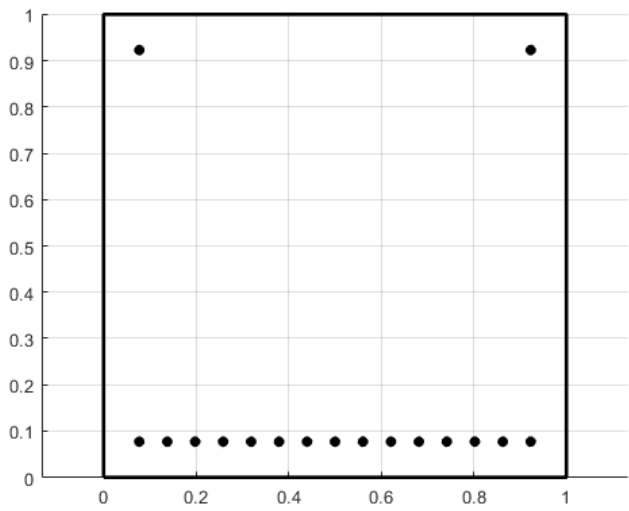
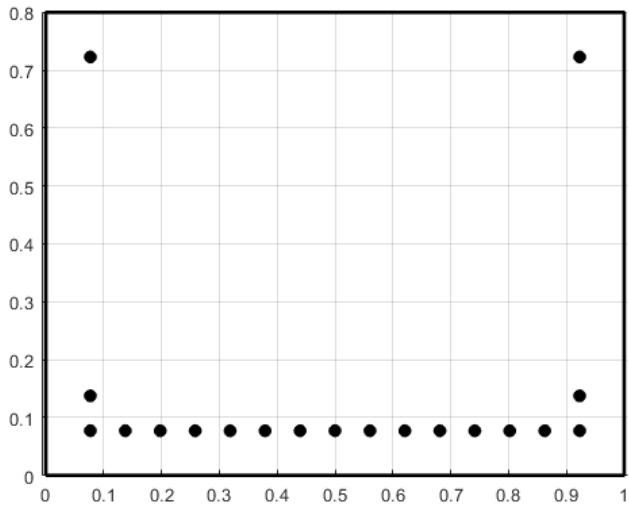
```
r=diam/2;
Figure
axis equal
grid on
hold on
axis equal
xplot = [0 b b 0 0];
yplot = [0 0 h h 0];
plot(xplot,yplot,'k','Linewidth',2)
theta=linspace(0,2*pi,100);
%plottar alla rader
yc=cnom+diamb+r;
for i=1:n_rad(1)
    xc=d1+(i-1)*s;
    x_circ=xc+r*cos(theta);
    y_circ=yc+r*sin(theta);
    fill(x_circ,y_circ,'k','EdgeColor','k')

end
%Plottar dragarmering

for k=2:length(n_rad)
    yc=(cnom+r+diamb+s*(k-1));
    for i=1:n_rad(k)/2
        xc=d1+(i-1)*s;
        x_circ=xc+r*cos(theta);
        y_circ=yc+r*sin(theta);
        fill(x_circ,y_circ,'k','EdgeColor','k')
        fill(b-x_circ,y_circ,'k','EdgeColor','k')
    end
end

%plottar tryckarmering
for k=1:1
    yc=cnom+r+diamb;
    xc=d1+b*(k-1);
    x_circ=xc+r*cos(theta);
    y_circ=h-yc+r*sin(theta);
    fill(x_circ,y_circ,'k','EdgeColor','k')
    fill(b-x_circ,y_circ,'k','EdgeColor','k')

end
```



Sprickbildning

```
% BERÄKNING AV M1 (Bruksgränstillstånd)

% Definiera SLS-laster (kvasi-permanent)
psi2 = 0; % Reduktionsfaktor för trafik (bro)
G_sls = 1.0 * (G_k1 + G_k2) * b;
Q_sls = 1.0 * Q_k1 * b * psi2;
P_sls = 1.0 * p * psi2;

% Reaktionskrafter (Lastfall 1 & 2)
MA1_sls = (G_sls*L1.^2)/12; + (Q_sls*L1.^2)/12 + (P_sls*L1)/8;
RA1_sls = (G_sls*L1)/2; + (Q_sls*L1)/2 + P_sls/2;

b_e1 = 0.2 + 0.9*def(j);
a_e1 = L1 - b_e1;
MA2_sls = (G_sls*L1.^2)/12 + (Q_sls*L1.^2)/12 + P_sls*(b_e1.^2 * a_e1)/L1.^2;
RA2_sls = (G_sls*L1)/2 + (Q_sls*L1)/2 + (P_sls*b_e1.^2/L1.^2)*(1 + 2*a_e1/L1);

% Beräkna maximala momentet för SLS
% Snitt 1 & 2 (Lastfall 1)
M1_sls = @(x) -MA1_sls + RA1_sls.*x - ((Q_sls + G_sls) .* x.^2)./2;
M2_sls = @(x) -MA1_sls + RA1_sls.*x - ((Q_sls + G_sls) .* x.^2)./2 - P_sls .* (x-
L1/2);

% Snitt 3 & 4 (Lastfall 2)
M3_sls = @(x) -MA2_sls + RA2_sls*x - ((Q_sls + G_sls) * x.^2)./2;
M4_sls = @(x) -MA2_sls + RA2_sls*x - ((Q_sls + G_sls) * x.^2)./2 - P_sls * (x-
a_e1);

% Hitta det dimensionerande M1
m11 = max(M1_sls(x1));
m12 = max(M2_sls(x2));
m13 = max(M3_sls(x3));
m14 = max(M4_sls(x4));

M1(j) = max([m11, m12, m13, m14]) * 1000; % Omvandla till Nm

fprintf('M1 för tvärsnitt %d: %.2f kNm\n', j, M1(j)/1000);

% Krympning
u = 2 * (1 + h_v(j));
h0 = 2*h_v(j)/u * 1000; % [mm]
if h0 > 100 && h0 <=200
    h1 = 100;
    k1 = 1;
    h2 = 200;
    k2 = 0.85;
    kh = k1 + ((h0 - h1)/(h2 - h1))*(k2 - k1);
elseif h0 > 200 && h0 <=300
    h1 = 200;
    k1 = 0.85;
    h2 = 300;
    k2 = 0.75;
    kh = k1 + ((h0 - h1)/(h2 - h1))*(k2 - k1);
elseif h0 > 300 && h0 <=500
    h1 = 300;
```

```

k1 = 0.75;
h2 = 500;
k2 = 0.70;
kh = k1 + ((h0 - h1)/(h2 - h1))*(k2 - k1);
else
    kh = 0.7;
end
b_rh = 0.756;
ecdi = 0.335e-3;
ecd = kh * b_rh * ecdi;
eca = 0.0625e-3;
ecs = ecd + eca;

% Tvångskrafter på grund av krympning
Fcs=[];
for i=1:length(n_rad)
    Fcs(i) = Es*ecs*As(i);
end
Fcs_prim = Es*ecs*As_tryck(j);
% Krypning
RH = 80;
phi_rh = 1 + (1-RH/100)/(0.1*h0^(1/3));
b_fcm = 2.31; % Tabell B2.9 [2]
b_t0 = 0.48; % Figur B2.20 [28 dagar]
phi_creep = phi_rh * b_fcm * b_t0; % B2-23
Ecm = 36e9; % MPa
Ecd = Ecm/1.2;
a_ef = Es/Ecd * (1 + phi_creep);

if length(n_rad) == 0
    xtp_calc = @(xx) (b*xx^2/2 + (a_ef-1)*As_tryck(j)*d_prim) / (b*xx + (a_ef-1)*As_tryck(j));

    A_II_calc = @(xx) b*xx + (a_ef-1)*As_tryck(j);
    I_II_calc = @(xx) b*xx^3/12 + b*xx*(xx/2 - xtp_calc(xx)).^2 + (a_ef-1)*As_tryck(j)*(xtp_calc(xx)-d_prim).^2;

    f_solve = @(xx) Fcs_prim/A_II_calc(xx) + (Fcs_prim*(xtp_calc(xx)-d_prim) + M1(j)) / I_II_calc(xx) * (xx - xtp_calc(xx));
    xs = fzero(f_solve, 0.2);

    x_sprick(j) = xs;
    xtp(j) = xtp_calc(xs);
    A_IIef(j) = A_II_calc(xs);
    I_IIef(j) = I_II_calc(xs);

    es = d - xtp(j);
    es_prim = xtp(j) - d_prim;

    final_sigma_c = @(z) (Fcs_prim)/A_IIef(j) + (Fcs_prim*(-es_prim) + M1(j))/I_IIef(j) * z;

    sigma_s_prim2(j) = a_ef * final_sigma_c(-es_prim) - Fcs_prim/As_tryck(j);
else
    % BERÄKNING AV x OCH xtp

    % Definiera anonyma funktioner för att MATLAB ska kunna iterera fram x

```

```

% xtp_calc räknar ut tyngdpunkten baserat på ett gissat x
xtp_calc = @(xx) (b*xx^2/2 + (a_ef-1)*As_tryck(j)*d_prim + a_ef*sum(As.*d)) /
(b*xx + (a_ef-1)*As_tryck(j) + a_ef*sum(As));

% A_II_calc räknar ut arean baserat på x
A_II_calc = @(xx) b*xx + (a_ef-1)*As_tryck(j) + a_ef*sum(As);

% I_II_calc räknar ut tröghetsmomentet kring xtp
I_II_calc = @(xx) b*xx^3/12 + b*xx*(xx/2 - xtp_calc(xx)).^2 + (a_ef-
1)*As_tryck(j)*(xtp_calc(xx)-d_prim).^2 + sum(a_ef*As.*(d - xtp_calc(xx)).^2);

% f_solve är funktionen som ska bli noll: sigma_c vid x (där z = x - xtp)
% Vi använder Naviers formel
f_solve = @(xx) (Fcs_prim + sum(Fcs))/A_II_calc(xx) + (Fcs_prim*(xtp_calc(xx)-
d_prim) + sum(Fcs.*(d-xtp_calc(xx))) + Ml(j)) / I_II_calc(xx) * (xx - xtp_calc(xx));

% Nu hittar vi det korrekta x (xs) där spänningen i sprickgränsen är 0
xs = fzero(f_solve, 0.2);

x_sprick(j) = xs;
xtp(j) = xtp_calc(xs);
A_IIef(j) = A_II_calc(xs);
I_IIef(j) = I_II_calc(xs);

% Beräkna de slutgiltiga hävarmarna från tyngdpunkten xtp(j)
es = d - xtp(j); % Avstånd från xtp till dragarmering
es_prim = xtp(j) - d_prim; % Avstånd från xtp till tryckarmering

% Definiera sigma_c för att räkna ut stålspänningar (z mäts från xtp)
% Notera att z är positivt nedåt
final_sigma_c = @(z) (Fcs_prim + sum(Fcs))/A_IIef(j) + (Fcs_prim*(-es_prim) +
sum(Fcs.*es) + Ml(j))/I_IIef(j) * z;

% Beräkna stålspänningar
sigma_s_prim2(j) = a_ef * final_sigma_c(-es_prim) - Fcs_prim/As_tryck(j);
for i=1:length(n_rad)
    sigma_s(i,j) = a_ef * final_sigma_c(es(i)) - Fcs(i)/As(i);
end
end

if sigma_s(1,j) < 0.8*fyk
    fprintf('Armering klarar kontroll! \n')
else
    fprintf('Armering klarar INTE kontroll!! \n')
end

% Sprickbredd enligt SS-EN 1992-1-1 (7.8)
kt = 0.4; % Långtidslast
f_cteff = fctm;
A_ceff = min([2.5*(h_v(j)-d(1)) (h_v(j)-x_sprick(j))/3 h_v(j)/2]);
rho_peff = Asi*n_rad(1)/A_ceff;
ae = Es/Ecm;
de = (sigma_s(1,j) - kt*(f_cteff/rho_peff)*(1 + ae*rho_peff))/Es; % de = (esm -
ecm)
if de < 0.6*sigma_s(1,j)/Es
    de = 0.6*sigma_s(1,j)/Es;
end

```

```

k1 = 0.8;
k2 = 0.5;
k3 = 3.4;
k4 = 0.425;
S_rmax(j) = k3*cnom + k1*k2*k4*diam_v(j)/rho_peff;

w(j) = S_rmax(j)*de;

fprintf('Maximala sprickavstånd: %.1f mm \n', S_rmax(j)*1000)
fprintf('Sprickbredd: %.2f mm \n\n', w(j)*1000)

```

M_l för tvärsnitt 1: 271.88 kNm
Armering klarar kontroll!
Maximala sprickavstånd: 324.7 mm
Sprickbredd: 0.08 mm

M_l för tvärsnitt 2: 333.79 kNm
Armering klarar kontroll!
Maximala sprickavstånd: 325.9 mm
Sprickbredd: 0.08 mm

M_l för tvärsnitt 3: 395.71 kNm
Armering klarar kontroll!
Maximala sprickavstånd: 347.3 mm
Sprickbredd: 0.10 mm

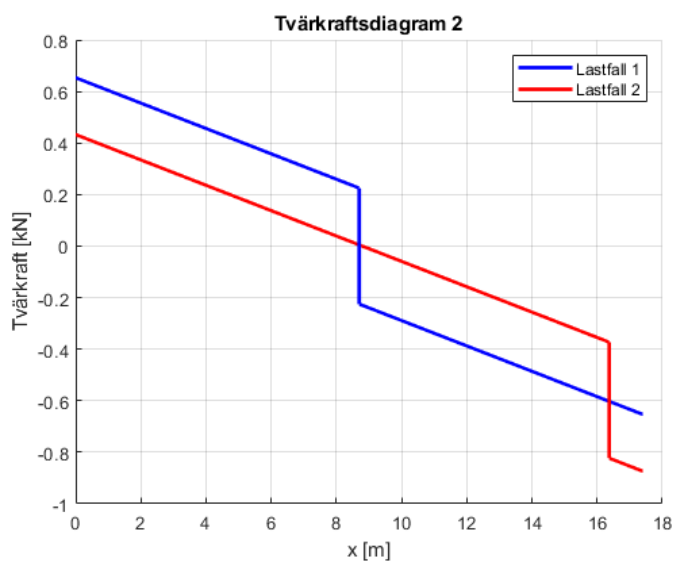
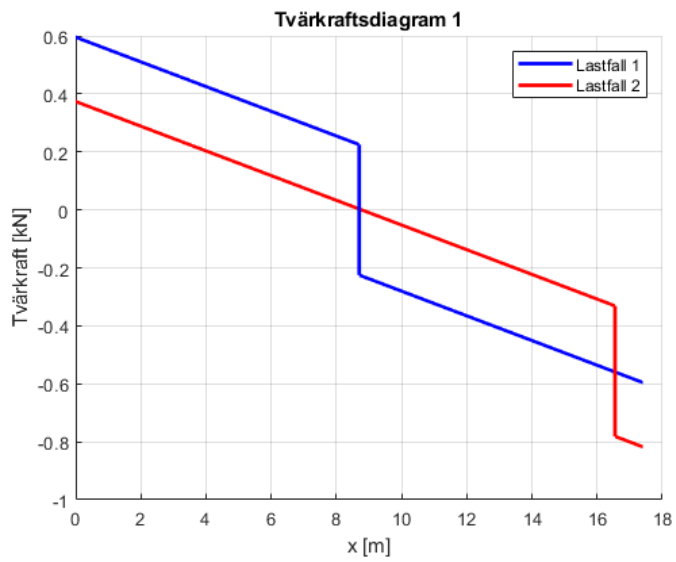
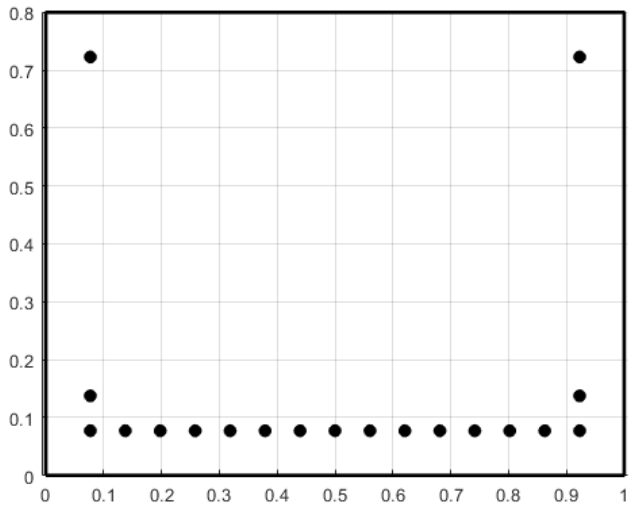
Tvärkraftsdiagram

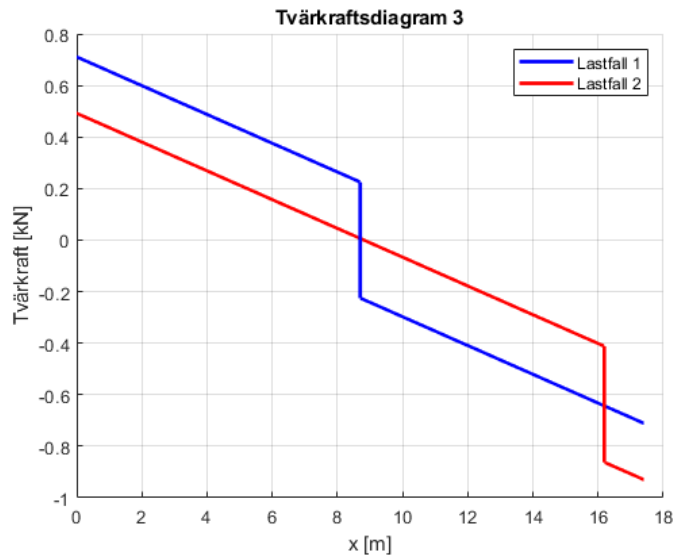
```

Figure
hold on
grid on
L1_plot=plot(x1,T1(x1)/1000,'b','Linewidth',2);
plot(x2,T2(x2)/1000,'b','Linewidth',2);
hold on
L2_plot=plot(x3,T3(x3)/1000,'r','Linewidth',2);
plot(x4,T4(x4)/1000,'r','Linewidth',2);
hold on
plot([x1(end) x2(1)], [T1(x1(end))/1000 T2(x2(1))/1000], 'b','Linewidth',2)
hold on
plot([x3(end) x4(1)], [T3(x3(end))/1000 T4(x4(1))/1000], 'r','Linewidth',2)

xlabel('x [m]');
ylabel('Tvärkraft [kN]');
title("Tvärkraftsdiagram " + j);
legend([L1_plot,L2_plot],{'Lastfall 1','Lastfall 2'})

```



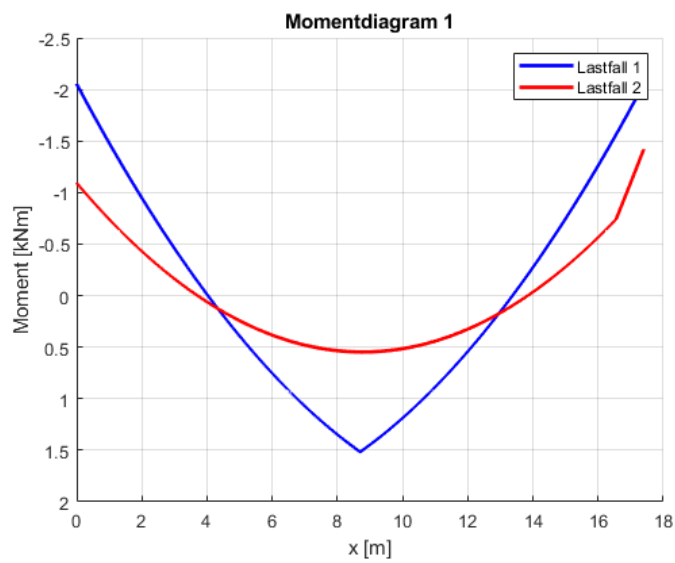


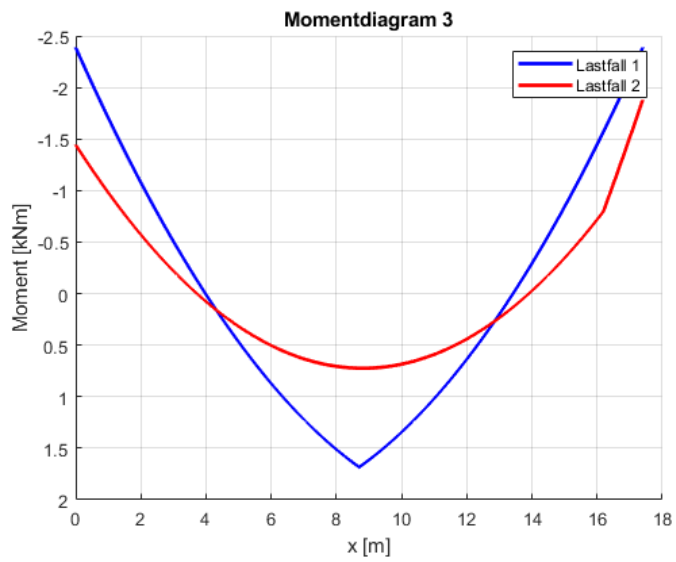
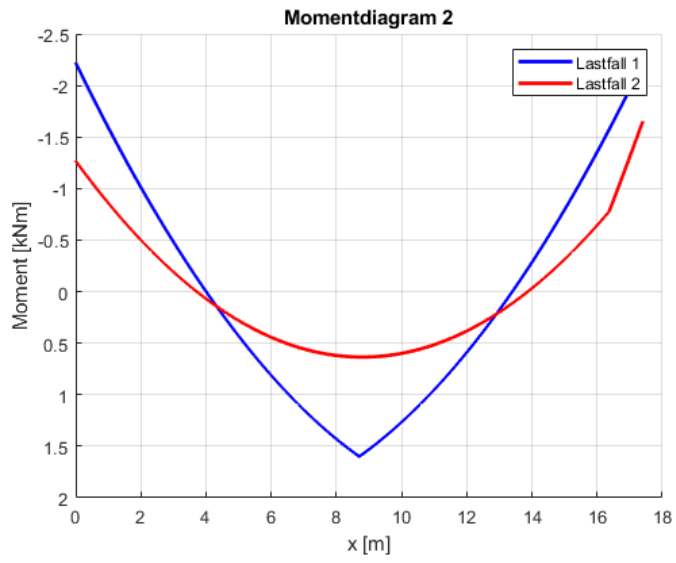
Momentdiagram

```

Figure
hold on
grid on
L1_plot=plot(x1,M1(x1)/1000,'b','Linewidth',2);
plot(x2,M2(x2)/1000,'b','Linewidth',2);
hold on
L2_plot=plot(x3,M3(x3)/1000,'r','Linewidth',2);
plot(x4,M4(x4)/1000,'r','Linewidth',2);
set(gca, 'YDir','reverse');
xlabel('x [m]');
ylabel('Moment [kNm]');
title("Momentdiagram "+ j);
legend([L1_plot,L2_plot],{'Lastfall 1','Lastfall 2'})

```





end

Published with MATLAB® R2023b

Bilaga C – Beräkning tvärkraftsdimensionering

```
%{  
=====
```

Kurs: Examensarbete ACEX20
Bro 14NK2001
Beräkning Tvärkraftsdimensionering (C35/45)
Författare: Victor Isaksson - 20040621 - victoris@chalmers.se
Axe Engström - 20040905 - axeeng@chalmers.se

```
=====
```

%}
c1c
clear

Materialparametrar

```
%Betong C35/45  
yc=1.5;  
fck=35e6; % [Pa]  
fcm=43e6; % [Pa]  
fcd=fck/yc; % [Pa]  
fctk05=2.2e6; % [Pa]  
fctd=fctk05/yc; % [Pa]  
  
%Armering B500B  
fyk=500e6; % [Pa]  
ys=1.15;  
fywd=fyk/ys; % [Pa]
```

Tvärsnitt

```
h_v=[0.8,1,1.2]; % Höjder  
bw=1; % Bredd  
d_eff=[0.7230 0.9230 1.1230]; % Effektiv höjd  
d_medel=[0.6955 0.8955 1.095];  
As_l_v=[0.0076, 0.0063, 0.0057]; % Area av dragarmering vid stöd
```

Lastdata

```
y_betong=24; % [kN/m^3] Tunghet betong  
y_armering=78; % [kN/m^3] Tunghet armering  
L=17.4; % [m] Spännvidden av överbyggnaden  
b=1; % [m] 1 meters-strimla  
G_k1 = 1.92; % [kN/m] Belägningslast  
Q_k1 = 9; % [kN/m] Utbredd trafiklast  
p = 300; % [kN] Boggilast  
y_G = 1.35; % Partialkoefficienter  
y_Q = 1.5; % Partialkoefficienter
```

```
i = 500; % Antal steg
```

Dimensionering

```
for j=1:length(h_v)
```

```
d=d_eff(j);  
Asl=Asl_v(j);  
  
G_k2 =(y_betong*0.99+y_armering*0.01)*b*h_v(j); % [kN/m] Egentyngd  
%Lastkombinationer  
G = y_G * (G_k1 + G_k2)*b; % Egentyngd  
Q = y_Q * Q_k1*b; % Trafiklast  
P = y_Q * p; % Boggilast
```

Lastfall 1

```
% Reaktionskrafter  
MA = (G*L^2)/12 + (Q*L^2)/12 + (P*L)/8; % Moment  
RA1 = (G*L)/2 + (Q*L)/2 + P/2; % Vertikal kraft  
  
% Snitt 1: 0 <= x <= L/2  
x1 = linspace(0,L/2,i);  
M1 =@(x1) -MA + RA1.*x1 - ((Q + G) .* x1.^2)./2;  
T1 =@(x1) RA1 - (Q + G) * x1;  
  
% Snitt 2: L/2 <= x <= L  
x2 = linspace(L/2,L,i);  
M2 =@(x2) -MA + RA1.*x2 - ((Q + G) .* x2.^2)/2 - P .* (x2-L/2);  
T2 =@(x2) RA1 - (Q + G) .* x2 - P;
```

Lastfall 2

```
b_e1 = 0.2 + 0.9*d;  
a_e1 = L - b_e1;  
  
% Reaktionskrafter  
MA = (G*L^2)/12 + (Q*L^2)/12 + P*(b_e1.^2 * a_e1)/L.^2; % Moment  
MB = (G*L^2)/12 + (Q*L^2)/12 + P*(a_e1.^2 * b_e1)/L.^2; % Moment  
RA2 = (G*L)/2 + (Q*L)/2 + (P*b_e1.^2/L.^2)*(1 + 2*a_e1/L); % Vertikal kraft  
RB = (G*L)/2 + (Q*L)/2 + (P*a_e1.^2/L.^2)*(1 + 2*b_e1/L); % Vertikal kraft  
  
% Snitt 1: 0 <= x <= a  
x3 = linspace(0,a_e1,i);  
M3 =@(x3) -MA + RA2*x3 - ((Q + G) * x3.^2)/2;  
T3 =@(x3) RA2 - (Q + G) * x3;  
  
% Snitt 2: a <= x <= L  
x4 = linspace(a_e1,L,i);  
M4 =@(x4) -MA + RA2*x4 - ((Q + G) * x4.^2)/2 - P * (x4-a_e1);  
T4 =@(x4) RA2 - (Q + G) .* x4 - P;
```

```

%Maxvärden
MEd(j) =
max([max(abs(M1(x1))), max(abs(M2(x2))), max(abs(M3(x3))), max(abs(M4(x4)))])*1000;
VEd_max(j) =
max([max(abs(T1(x1))), max(abs(T2(x2))), max(abs(T3(x3))), max(abs(T4(x4)))])*1000;

```

kontroll av livtryckbrott

```

v=0.6*(1-fck/250e6);
fprintf("VEd= %.3f kN\n",VEd_max(j)/1000);
fprintf("0.5*v*fcd*b*d= %.3f kN\n",0.5*v*fcd*b*d/1000);
if VEd_max(j)<=0.5*v*fcd*bw*d %ekv. B6-11
    disp("OK!")
else
    ("EJ OK!")
end

```

```

VEd= 817.456 kN
0.5*v*fcd*b*d= 4352.460 kN
OK!

```

```

VEd= 873.673 kN
0.5*v*fcd*b*d= 5556.460 kN
OK!

```

```

VEd= 929.634 kN
0.5*v*fcd*b*d= 6760.460 kN
OK!

```

Behövs tvärkraftsarmering?

```

%kontroll i snitt 0.9d från höger upplagskant
x=L-0.4/2-0.9*d;
a_v=0.9*d;
beta=a_v/(2*d);

%Reducering av lastfall 1
VEd1=@(x) abs(RA1-(Q+G).*(L-x));
VEd_red1=@(x) VEd1(x)-(2*d_eff(j)-(L-x)).^2*(G+Q)/(4*d_eff(j));

%Reducering av lastfall 2
VEd2=@(x) abs(RA2 - (Q + G) .* x - P);
VEd_red2=@(x) VEd2(x)-(1-beta)*P-(2*d_eff(j)-(L-x)).^2*(G+Q)/(4*d_eff(j));

VEd_red_dim(j)=max(abs([VEd_red1(L-0.9*d-0.2), VEd_red2(L-0.9*d-0.2)]));

CRdc=0.18/yc;
k=min(1+sqrt(0.2/d),2);
if As1/(bw*d)<0.02
    rho1=As1/(bw*d);
else
    rho1=0.02;
end

```

```

vmin=0.035*k^(3/2)*sqrt(fck/1e6);

VRdc1=CRdc*k*(100*rho1*fck/1e6)^(1/3)*b*d*1000^2/1000;
VRdc2=vmin*b*d*1000^2/1000;
VRdc(j)=max(VRdc1,VRdc2);

if VRdc<VEd_red_dim
    disp([num2str(VRdc(j), '%.2f') '<' num2str(VEd_red_dim, '%.2f')])
    disp("Tvärkraftsarmering krävs")
else
    disp([num2str(VRdc(j)) '>' num2str(VEd_red_dim, '%.2f')])
    disp("tävrkraftsarmering krävs ej")
end

```

440.33<554.12
Tvärkraftsarmering krävs

467.49<554.12593.63
Tvärkraftsarmering krävs

500.02<554.12593.63629.93
Tvärkraftsarmering krävs

Krossning i sned trycksträva (Livtryckbrott)

```

deg=45;      %trycksträvans lutning
z=0.9*d;
alphacw=1;
v1=v;

VRdmax(j)=alphacw*b*z*v1*fcd*1/(cotd(deg)+tand(deg));  %(B6-19)

if VRdmax>VEd_max(j)
    disp([num2str(VRdmax/1000, '%.2f') '>' num2str(VEd_max(j)/1000, '%.2f')])
    disp("OK!")
else
    disp([num2str(VRdmax/1000, '%.2f') '<' num2str(VEd_max(j)/1000, '%.2f')])
    disp("EJ OK!")
end

```

3917.21 > 817.46
OK!

3917.215000.81 > 873.67
OK!

3917.215000.816084.41 > 929.63
OK!

Dimensionering av tvärkraftsarmering

```

alpha=90;   %vertikala byglar
x=L-0.4/2-cotd(deg)*0.9*d;

VEd_dim=VEd_red_dim(j);
Aswdivs=VEd_dim*10^3/(z*cotd(deg)*fywd);  %mm^2/m

```

```

%Diagram B6.34 ==> väljer bygeldiameter 12 mm
Asw=(12e-3)^2*pi/4;
si=Asw/Aswdivs; %m
s(j)=floor(si/0.01)*0.01;

VRds(j)=Asw/s(j)*0.9*d*fywd*cotd(deg)/1000;

%kontroll av maximalt s-avstånd
rhow=Asw/(s(j)*b*sind(alpha));
rhow_min=0.08*sqrt(fck/1e6)/(fyk/1e6);
%ps_m
if 0.75*d_medel(j)<0.6
    sl_max(j)=0.75*d_medel(j);
else
    sl_max(j)=0.6;
end
%OK väljer phi 12 s110
%     phi 12 s130
%     phi 12 s170

%Tvärkraftsarmering i balkens mittområde
%Var räcker minimiarmering

s_mitt(j)=Asw/(rhow_min*b*sind(alpha));

VRds_min(j)=Asw/s_mitt(j)*0.9*d_medel(j)*fywd*cotd(deg)/1000;

%Hitta områdesgräns där minimiarmering räcker
syms x
equal= abs(RA1 - (Q + G) .* x - P)==VRds_min(j);
sol=solve(equal,x);
sol=sol(sol>=L/2 & sol<=L); %LF 1 snitt 2
x_miniaarm(j)=double(sol);

%Områdesgräns x från vänster, övergång från minimiarmering till mer
%armering
Omrj(j)=x_miniaarm(j)+cotd(deg)*0.9*d;
%Tvärkraftsdiagram för lastfall 1 och 2
Figure
hold on
grid on
L1=plot(x1,T1(x1),'b','Linewidth',2);
plot(x2,T2(x2),'b','Linewidth',2);
plot([L/2 L/2],[T1(L/2),T2(L/2)], 'b','Linewidth',2);
hold on
L2=plot(x3,T3(x3),'r','Linewidth',2);
plot(x4,T4(x4),'r','Linewidth',2);
plot([a_e1 a_e1],[T3(a_e1),T4(a_e1)], 'r','Linewidth',2);
xlabel('x [m]');
ylabel('Tvärkraft [kN]');
title('Tvärkraftsdiagram');
%Plottar reducering
x_red1=linspace(L-2*d_eff(j),L,50);
plotred2=plot(x4,-VEd_red2(x4),'color',[0.5 0 0],'Linewidth',2);
plotred1=plot(x_red1,-VEd_red1(x_red1),'color',[0.5 0 0],'Linewidth',2);

```

```

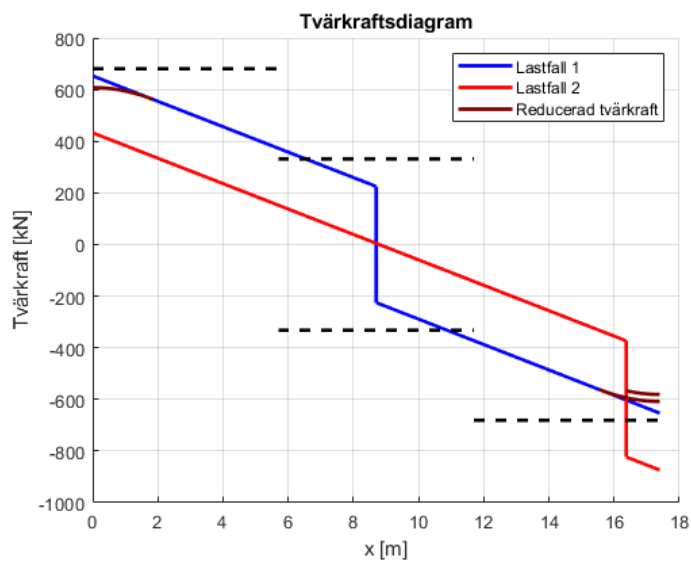
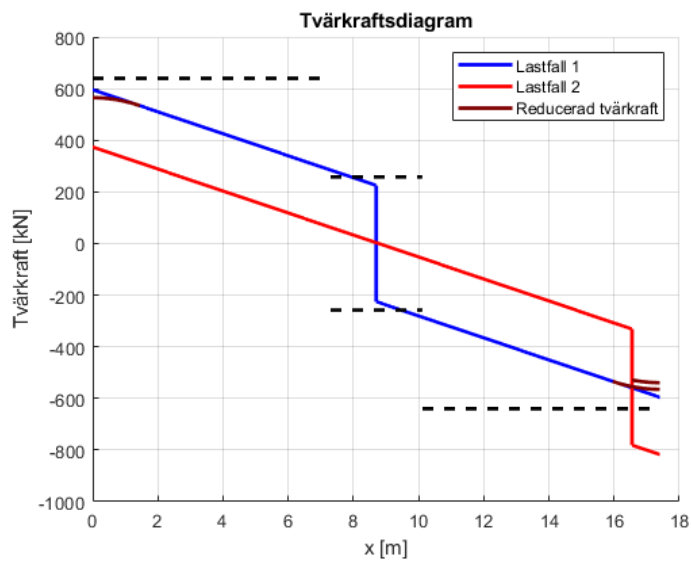
plotred1=plot(L-x_red1,vEd_red1(x_red1),'color',[0.5 0 0],'Linewidth',2);

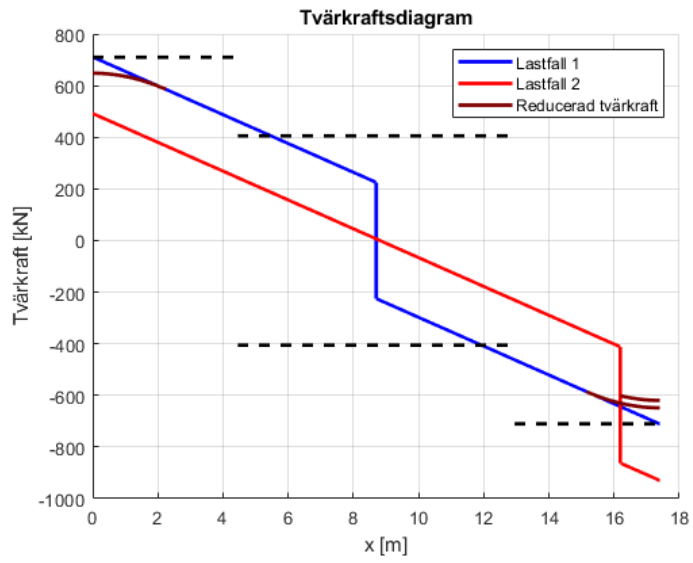
%plottar VRds
hold on
plot([0,L-Omrg(j)],[VRds(j),VRds(j)'],'k--','Linewidth',2)

%plottar VRds_min
hold on
plot([L-Omrg(j),Omrg(j)],[VRds_min(j),VRds_min(j)'],'k--','Linewidth',2)
plot([L-Omrg(j),Omrg(j)],[ -VRds_min(j), -VRds_min(j)'],'k--','Linewidth',2)
plot([Omrg(j),L],[ -VRds(j), -VRds(j)'],'k--','Linewidth',2)

%Legend
legend([L1,L2,plotred1],{'Lastfall 1','Lastfall 2','Reducerad tvärkraft'});

```

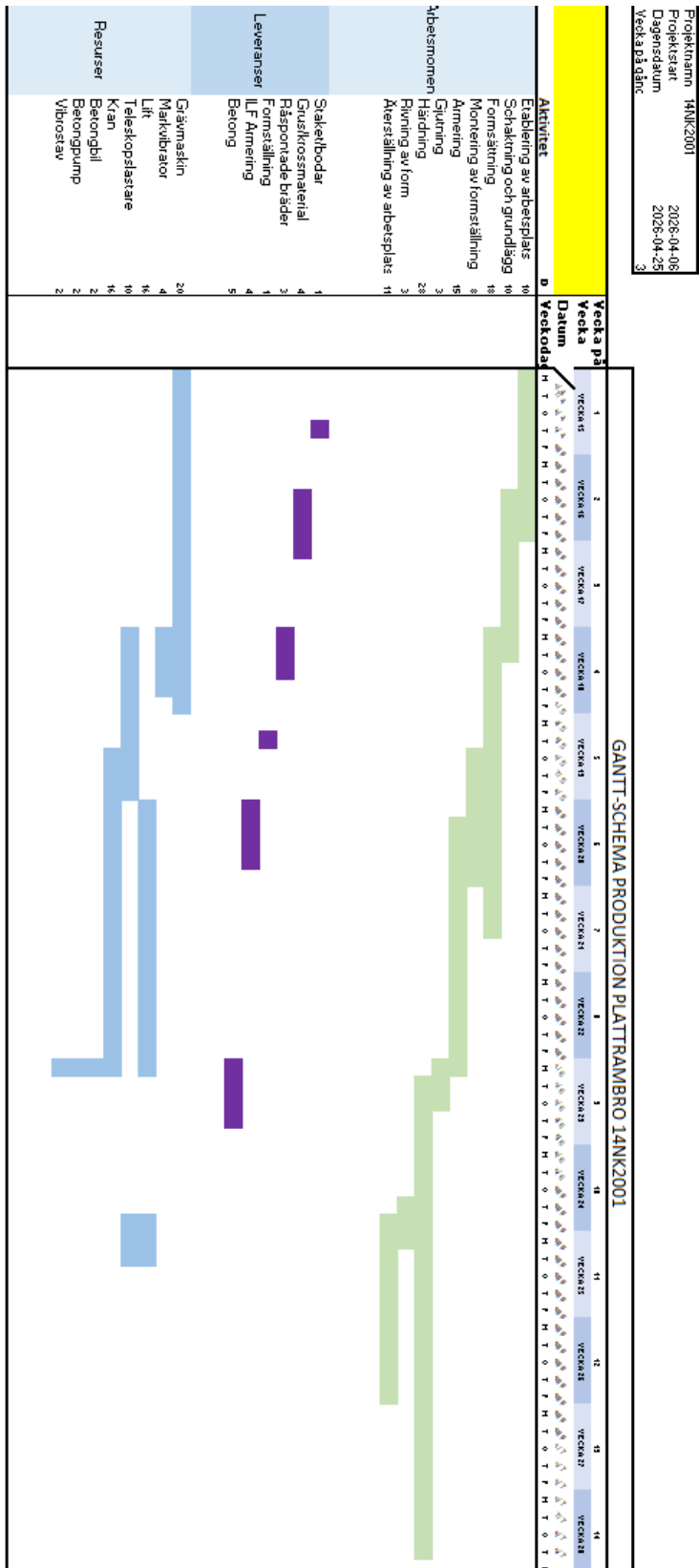




end

Published with MATLAB® R2023b

Bilaga D – Gantt-schema för produktionsplanering



INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

www.chalmers.se



CHALMERS