



PROJEKTNR. 13428

Beslutsstöd och projektering av gång och cykelbroar. Livscykelanalys, miljöpåverkan och kundfokus.



Oskar Bruneby
PEAB

2024-03-03

Förord

Denna resa med gång och cykelbroar har haft många möten och stopp. Jagande vart gångbroar är på väg från fabriker som Moelven och Schaffitzel fabriker till footbridge Conference i Madrid. Mycket är rena erfarenheter från hantverkarledet och blir lite mer populärvetenskapligt skrivet än traditionella rapporter och PM

Jag vill tacka:

Jerry Ahlandsberg och Per Carlsson Malmö stad

Esbjörn Jonsson Lokal xxx arkitekter

Peter Månsson Stål och Rör montage

Thomas Frödelius Moelven

Stål och Rörmontage

Tomasz Gapinski Visopro

Kilian Karius LAP

Thomas kamrad C&H

Ola Kristensson C&H

Max Fredriksson In house tech

Fredrik Thunström In house tech

Fredrik Wettermark Composite design

Björn Jinert JINERT AB

Lars Sätmark

och många fler speciellt alla hantverkare som deltagit.

Sammanfattning

Detta är en guidning genom gångbrons värld för beställare entreprenörer och bygglidare. Konstruktören kan inte använda denna förenklade bild. Med en vision att leverantörer och beställare skulle vilja ha en systematisering av den stora mångfalden på gång och cykelbroar men så är det inte. Det finns så mycket tyckande och känslor i en gång och cykelbro samt att det finns gränslöst med situationer vilket innebär att vi har gränslöst att optimera tycka och dimensionera. Man kan snabbt ta bort vissa brotyper som inte är lämpliga men har sedan fortfarande ett oändligt antal kvar. Projektets tankar om systematisering passade dör emot kortare järnvägsbroar. Dessa är i princip raka lutar lite och har definierade kravmåt. Gångbroar har inte ens krav på friktion vilket skulle borde vara självklart då det är gång och cykelbrons funktion. Det försöktes med intervjuer på brobyggardagen men det gav inget. Detta genererade i en genomlysning av helasystemet gång och cykelbroar. Med en förhoppning att beställare, bygglidare och leverantörer skall kunna på ett bättre sätt förstå gång och cykelbrons möjligheter.

Innehållsförteckning

1. Grundläggande begrepp	6
1.1 Slutkunderna (Användarna).....	6
1.1.4 Inlines, skateboard och rullskidor	9
1.1.5 Permobil, rullstol och rullator	10
1.2 Hur lång är en bro	11
1.2.1 Anslutande ramper	12
1.2.2 Släntlutningar	12
1.3 Hur bred är en bro?	15
2. Kranar och transporter	16
2.1 Transporter	16
2.2 Kranar	17
2.3 Kran för kostnadseffektiv planering	17
3. Styrande dimensionering	18
3.1 Dimensionerande nedböjning (deformation av last).....	18
3.2 Punktlast för servicefordon	19
3.3 Dynamikproblem med slanka, långa och geometrisktutmannande broar	20
3.3.1 Krav för dynamik i broar.....	21
4. Brotyper	22
4.1 Brotyper som inte är lämpliga	22
4.2 Plattramar	23
4.3 Balkbroar.....	24
4.4 Snedbeningar och V-beningar	25
4.5 Fackverksbroar (Knislingebroar).....	26
4.6 Helt tryckta bågbroar (stenvälv).....	27
4.7 Bågbroar	28
4.8 Hängbroar	29
4.9 Snedkabelbroar.....	30
4.10 Stressed ribbon bridge (hängmatta)	31
4.11 Inspända broar.....	32
4.12 Prefab betongbroar	32
4.13 Provisoriska gång och cykelbroar	33
5. Grundläggning	34
5.1 Platta på mark.....	34

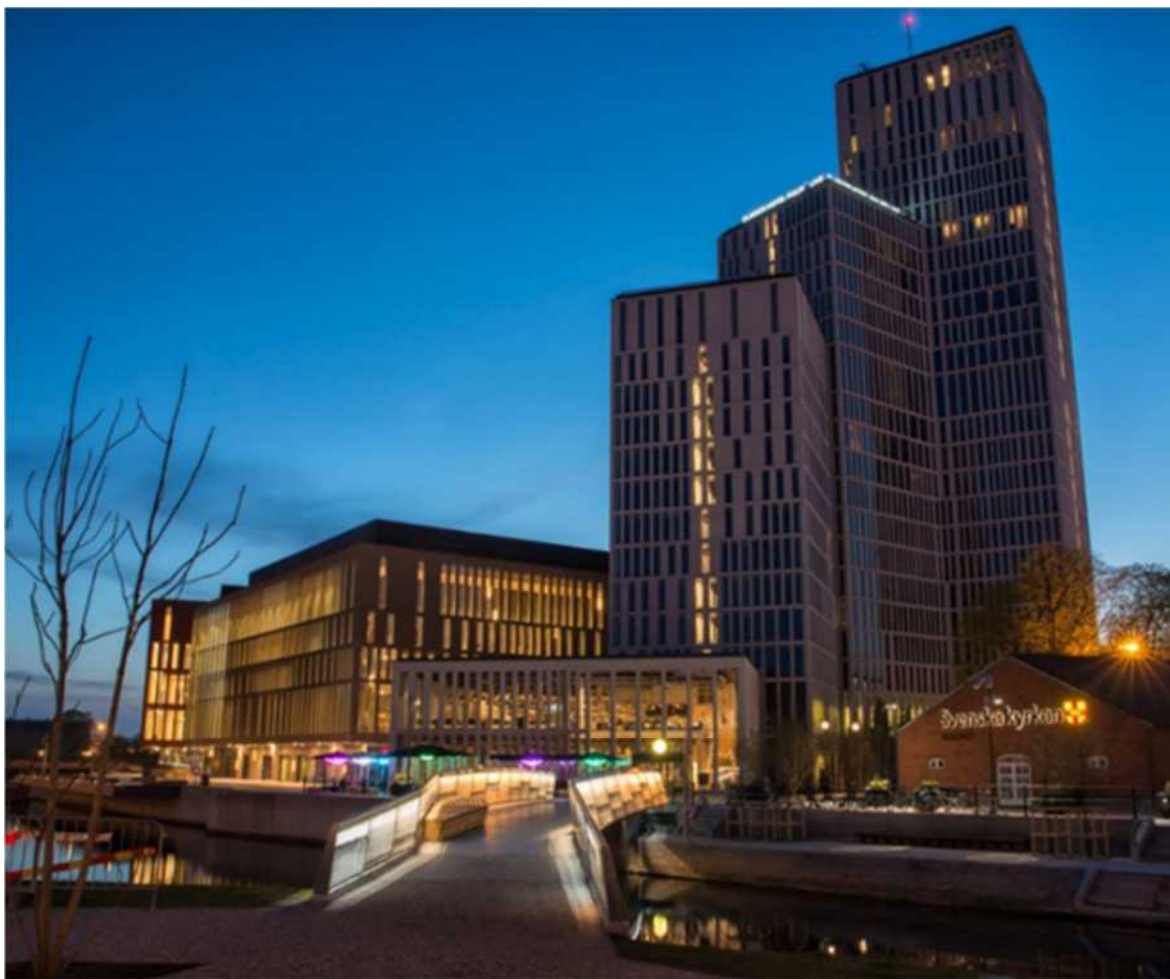
5.2	Betongpålar.....	35
5.3	Stålpålar.....	36
5.4	Staplad sten och gabionlöningar	37
5.5	Jämförelse landfäste med betongpåle och landfäste med stålpåle.....	38
5.6	Anslutning av vägbana	40
6.	Material	42
6.1	livslängdsklass	42
6.2.1	Exponeringsklasser vägmiljö och korrosivitetsklass.....	42
6.2.2	Gång, cykel och vägmiljö.....	43
	Vägmiljö	43
6.3	Betong.....	44
6.3.1	Betongarbetet	44
6.4	Stål.....	55
6.5	Träbroar	63
6.6	Broar i FRP (fiber förstärkt plast).....	66
7.	Detaljer	71
7.1	Räcke.....	71
7.2	Beläggning	77
7.3	Lager.....	82
7.4	Övergångskonstruktioner.....	83
7.5	Belysning	87
7.6	Avvattning	90
7.7	Bänkar.....	91
8.	Design Framtid digitalisering, industrialisering och slutsatser.....	92
8.1	Arkitektur.....	92
8.2	Prefab och industrialisering	94
8.3	Modeller och mock-ups.....	95
8.4	Nu, framtid och Inspiration.....	96

1. Grundläggande begrepp

1.1 Slutkunderna (Användarna)

Gång och cykelbroar har många olika användare med olika behov. Detta kapitel görs en genomlysning på vilka olika behov som finns. Det lite lustiga med normerna för denna bro typ är att det inte finns några krav för friktion vilket är det absolut mest grundläggande kravet. Användarna är förmodligen följande:

- Cykeldäck
- Skor
- Tassar
- Inlines hjul
- Skateboards hjul
- Rullstol
- Permobil
- Rullator



Figur 1(Foto Lars Bendroth entré bro Malmö Live) Ett ställe med väldigt många hala skor och spetsiga klackar.

1.1.1 Cykel

Det som styr cykel komforten är. Ytjämnheten, friktionen, spårigheten samt däcksvidd som kan vara på 22 mm som i realiteten är ca 12mm då däckets är runt. Cykeln är ett ganska snabbt fordon som tyst far förbi blinda och ouppmärksamma. Detta kan styras med hjälp av separata cykel och gångbanor genom målning vilket kräver lite bredare broutformning. Lite olika cykel typer:



Figur 2 (bild från Monark.se) Standardcykel däcksvidd ca 40mm men det finns ballongdäck som är 145mm.



Figur 3 (bild från Monark.se) El-cykel som inte kan köras fortare än 25 Km/h skall köra på gc-bana och snabbare hänvisas till vägen men i realiteten så färdas många 45 km/h cyklar på gc-banan. Idag finns det mycket snabba olagliga el-cyklar rekord är knappt 100km/h man gripen av polis i lindköping enligt Aftonbladet



Figur 4 (bild från bianchi.com) Tävlings och sport cyklar med så smala däck som 19mm men trenden är att de blivit något bredare ca 25 mm. Det är dock betydligt högre profil på de senaste däcken vilket innebär att anliggningsytan är ännu mindre och lägre rullmotstånd.

1.1.2 Skor

Det som styr komforten är friktionen på skorna men skor är väldigt olika.



Figur 5 (Bilder Från Scorett.se) Finskor generellt har låg friktion. Finskor dam kan ha en väldigt liten klack och det ger speciella problem vid tex övergångskonstruktioner Under arbetet med bro vid Malmö live mättes 200 klackar en fredag kväll på Malmö C och konstaterades att en klack var under 11mm och 2 var under 12mm sedan fanns det ganska många som var under 13mm.



Figur 6 (Bilder Från Scorett.se) Vanliga skor har som regel sulor med bra friktion.



Figur 7 (Bild Från Scorett.se) Joggingskor har som regel bra grepp men har ju ett annat mönster i rörelsen.

1.1.3 Tassar

Under sommaren 2018 var det väldigt varmt och det blev en del artiklar i pressen bland annat en i Expressen som handlade om hundar som brände fötterna på en stålbros med svart beläggning.



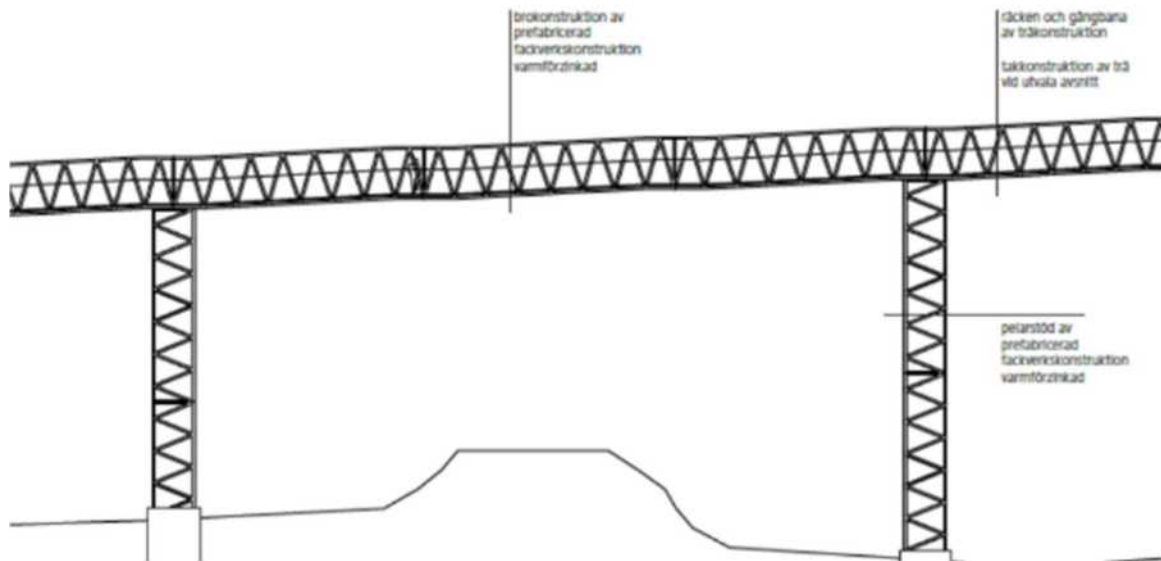
Figur 8 (Bild från reportage i Expressen om problem från sommaren 2018)

1.1.4 Inlines, skateboard och rullskidor

Komforten styrs av ytjämnhet och de förekommer knappast iinterväder. I tex Holland tas inlines åkaren med i all form av utformning av gc vägar. Rullskidor och inlines har ganska stora hjul 60-120mm medan skateboards och traditionella rullskridskor ganska små hjul 30-60mm.

1.1.5 Permobil, rullstol och rullator

Permobil, rullstol och rullatorer har relativt stora hjul med god friktion och komforten styrs av lutningar. Då stora lutningar förekommer typ 5% eller mer bör en tillgänglighetskonsult frågas i början av projekteringen. Detta kan komma att styra läge på stöd, brolängd och räckes utformning. Dvs hela brogeometrin och att man kanske gör geoteknisk undersökning på fel ställe.



Figur 9 (Skiss från entreprenadtävling Borås djurpark.)
300m Bro som nästa helt styrdes av tillgänglighet och vilplan.
Notera bronns hackiga utformning.



Figur 10(Foto Oskar Bruneby) bro med kontrastmarkeringa för synskadade Sölvesborg.

1.2 Hur lång är en bro

Först är det lite olika begrepp som måste klargöras beroenden på i vilket perspektiv man ser bron.

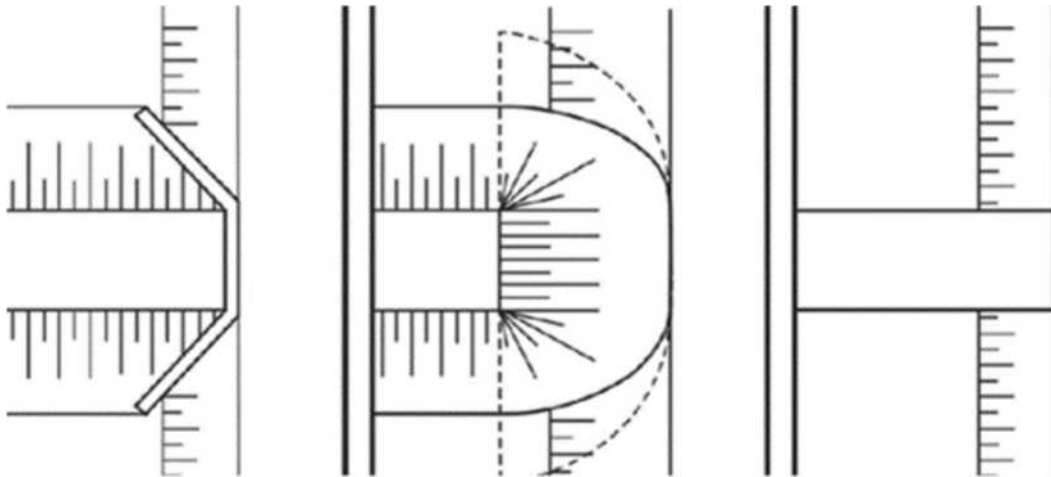
- Spännvidd är centrum lager till centrum lager.
- Brolängd är hela överbyggnaden inklusive landfäste vingmurar och kantbalks längd.
- Fri bro bredda är fria måtten mellan Landfäste och landfäste.
- Överbyggnads längs är längden mellan övergångskonstruktionerna.

Den totala broformningen styrs av slänter vingar och markutformning och väglinjen. Ofta har man möjlighet att göra små enklare gång och cykelbroar lite längre med mindre landfäste få en bättre funktion och ekonomi.



Figur 11 (Foto ifrån träbroguiden Martinssons)

Figuren visar en bro med billig farbana och ganska stort landfäste med väldigt korta vingar. I detta fall hade det nog varit bättre att öka brolängden och minska landfästet vilket har en gynnsam påverkan på ekonomi och miljö.



Figur 12 (Skisser på möjliga system för landfäste) Vingar 45 grader ger kostnadseffektivaste löning normalt.

1.2.1 Anslutande ramper

Broar som går över järnväg och väg har definierade fria höjder vilket innebär att man enkelt kan definiera hur långa ramper man behöver. Detta beror naturligtvis ur marken ser ut men om man tänker att marken är helt platt och gång och cykeltrafik har begränsning på lutning 5%.

- På en väg med fri höjd 4,7 och ca 1m brotjocklek. 5.7/0.05 ger ramplängd 114m. Dock skall man enligt norm lägga till 0,5m på lätta broar (vilket är alla utom betongbroar) vilket för övriga broar 6,2/0,05 blir 124m
- På en järnväg blir det motsvarande 6,7m och ca 1m tjock bro vilket blir 7,7/0,05 blir 154m
- Det finns massa sätt att lösa ramper på broar med l och annat med det är ganska kostnadsdrivande.

1.2.2 Släntlutningar

Broar släntlutningar styrs av plats och regelverk

6.1.2.5. Släntlutning

K244512

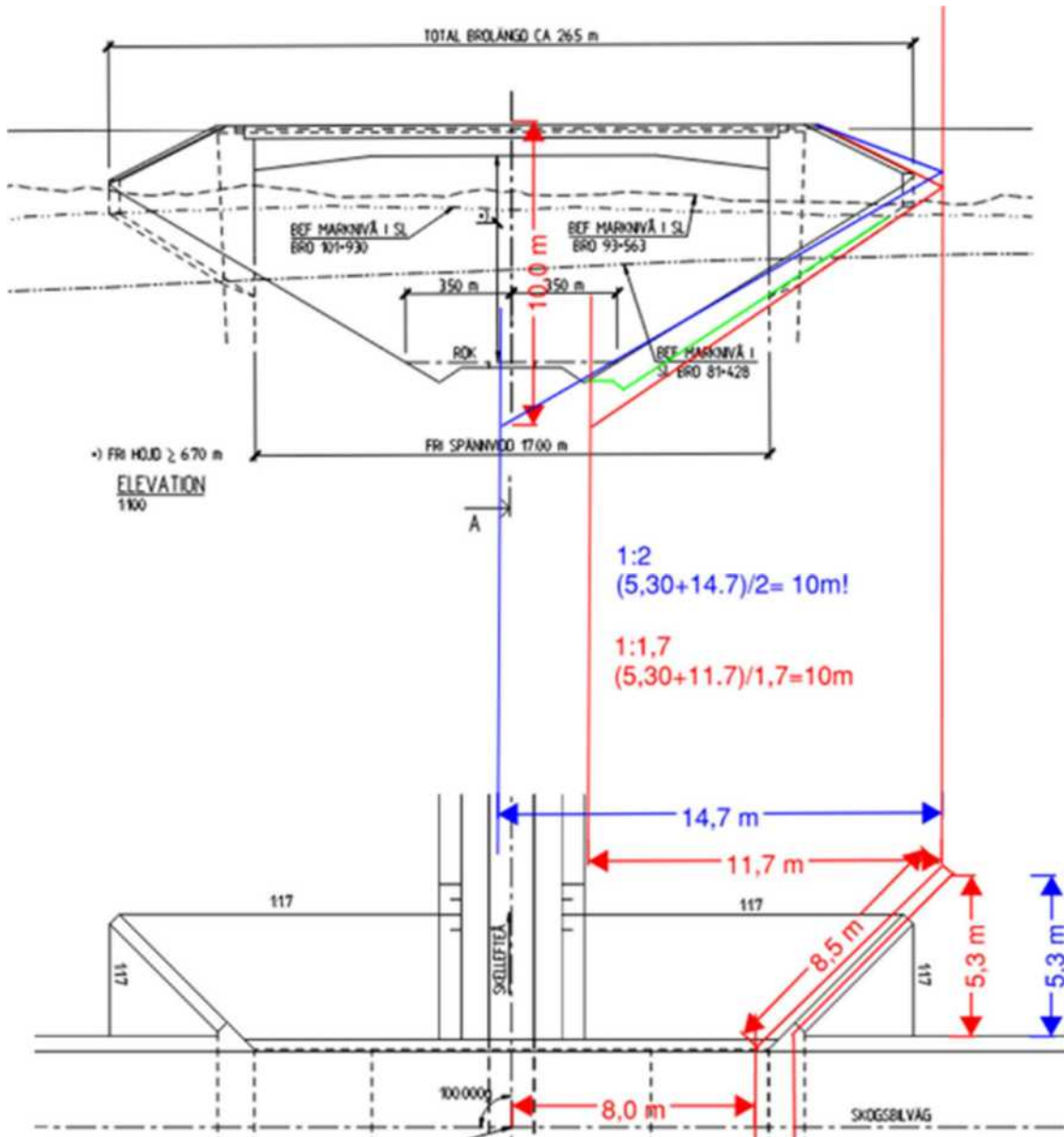
Om inte beställaren anger annat ska släntlutning för fyllning intill bro och broliknande konstruktion vara 1:2 eller flackare för att underlätta inspektion samt drift och underhåll.

Råd

Brantare släntlutning kan efter dimensionering användas vid brist på utrymme efter beställarens medgivande, dock ej brantare än 1:1,5. Se vidare TRVINFRA-00230, Geokonstruktion, Dimensionering och utformning, 9.1.2.

Figur 13 klipp från Text TRVINFRA-00227

Släntlutningar är traditionellt 1:1,7 och de har visat sig fungera men nyare broar har släntlutning 1:2 för att underlätta brounderhåll men det blir mer kostnader och större klimatavtryck. Den mest använda och konstruktivt optimala lösningen är att sätta vingar i 45 grader så att man får mer längd på vingen. Det går bra att göra vingar till ca.9,5m. Skulle man vilja bygga större vingar så behöver man förlänga bron med stödmursvingar detta är sällan kostnadseffektivt för helheten då man behöver först bygga bron och partiellt fylla upp för stödmursvingarna och på detta sätt förlänga byggtiden med ca 1månad. Det är möjligt vid speciella fall att använda släntlutning 1:1,5 vid platsbrist.



Figur 14 (Skiss för enkel beräkning stödmur slänt) skiss visa hur den 45 gradiga vingen verka på två håll. Den optimala vinkeln på vingmurar är 45 grader för optimal konstruktion



Figur 15 (Skiss visar släntlutning 1:1,7 grå och 1:2 blå.)
Släntlutningar då vingen blir kortare än ca 9,5m kan ganska enkelt förlängas med hjälp av att bara förlänga vingen



Figur 16 (Skiss visar släntlutning 1:1,7 grå och 1:2 blå.)
I detta fall blir vingen för lång. Detta innebär att man måste förlänga vingen med stödmurar som blir ganska dyra för att man förlänger byggtiden med ca 1 månad. Man behöver först bygga bron och sedan göra markarbete för att kunna slutföra stödmurar, motfyllningar och räcke. Det vore en bra kostnads effektivt om man kunde synkronisera Trafikverkets regler och prefabindustrin så man kunde bygga lättare prefabricerade stödmurar men detta kräver att man bultar räcket på utsidan.

1.3 Hur bred är en bro?

Naturligtvis är det funktionen, trafiken och mängden cyklar och barnvagnar som bestämmer hur bred en körbana är. Det som kommer till är hur man utformar kantbalk och infästning av räcke. Normalt räcker 3,0 m långt men i stadsmiljö är det vanligt att ha 4,0m. Broar man vill ha separat gångbana blir 5-5.5m breda beroende på hur man separerar trafiken. Bredden är ett transportteknisk kostnads drivande och att bygga som man klyver längdled är sällan bra och sällan kostnadseffektiva. Under kapitel 2 kan man få en bild av transportkostnader och problem.

Bilder Brobredd



Figur 17 (klipp wikipedia) Lille lasebro Köpenhamn bro som var tidig med separat gång och cykeltrafik



Figur 18 (foto Oskar Bruneby) Effektiv brobredd ca2m på grund av geometri och bänkar.

2. Kranar och transporter

Kran och transporter är ett en stor del av en GC-bro. Överslagsmässing är det ca 5–20 procent av projektkostnaden. Metoden måste fastslås innan man börjar konstruera. Faktorer som styr för utom konstruktionen



Figur 19 (Bild Bro Malmö live Scandinavian express)

Arkitektur och montage­läge tvingade fram en transport på 39m 40 ton och bredd 6,5m. Bron reste från Gdansk via fär­ga till Ystad samt natt transport och natt montage i Malmö.

2.1 Transporter

Generella tumregler vi transporter med överslagskostnader pris 2022

- Bredare än 2,60m eller utanför fordonets normal kräver bara skylt BREDLAST
- Bredare 3,10 kräver föl­jebil (ca600kr/h)
- Bredare än 3,50m kräver tillstånd och föl­jebil 1350kr och (600kr/h)
- Bredare än 4,50m Kräver tillstånd, föl­jebil och 2 Vägtransport ledare 1350kr +600kr/h+ 800kr/h+800kr/h
- Då kollen väger mer än 45 ton krävs 4,50m Kräver tillstånd, föl­jebil och 2 Vägtransport ledare 1350kr +600kr/h+ 800kr/h+800kr/h
- Praktiskt går det knappast att transportera något som är längre än 36m vilket kräver föl­jebil och 2 Vägtransport ledare 1350kr +600kr/h+ 800kr/h+800kr/h
- Vid laster kan över 4,5m Kan det bli polis­eskort mm som debiteras transportören dvs slutkund med påslag. Detta hanteras i tillsänd som bara kan hanteras när man vet datum.

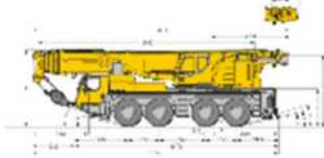
2.2 Kranar

Kranar är en demissionerande faktor för gång och cykelbroar. Faktorer som kranar och dess uppställning

- Geoteknik vid stödbensplacering (går det att bara sprida last med grävmaskinsmattor eller plåtar.)
- Stödbensplacering

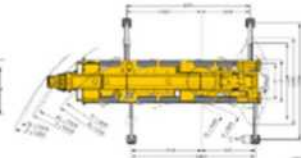
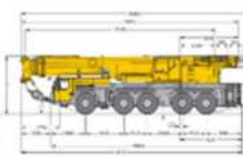
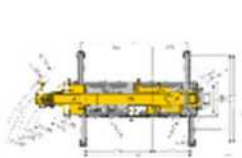
Krankostnad för 100 tons mobilkran 4 axlar

- Etablering/avetablering 13000- sek
- Tempis 2000- sek
- 20 ton radie 15 meter
- 4,5 meter från plåtar till krancentrum
- Uppställning ben 8,0x8,0m



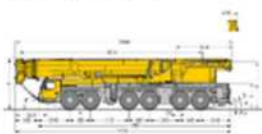
Krankostnad för 200 tons mobilkran 5 axlar.

- Etablering/avetablering 20 000- sek
- Tempis 2000- sek
- 20 ton radie 20 meter
- 5,0 meter från plåtar till krancentrum
- Uppställning ben 8,0x8,0m



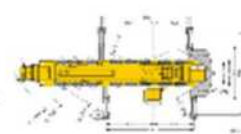
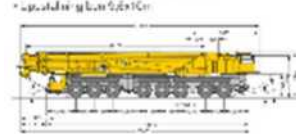
Krankostnad för 300 tons mobilkran, 6 axlar

- Etablering/avetablering 40 000- sek
- Tempis 3000- sek
- 20 ton radie 29 meter
- 5,0 meter från plåtar till krancentrum
- Uppställning ben 8,0x8,0m



Kran kostnad för 500 tons mobilkran 8 axlar

- Etablering/avetablering 100 000- sek
- Tempis 4000- sek
- 20 ton radie 30 meter
- 5,0 meter från plåtar till krancentrum
- Uppställning ben 8,0x8,0m



Figur 20 (Skisser från Liebherr med lite förenklade data 2022)

2.3 Kran för kostnadseffektiv planering

Generellt är det kostnads effektivt med kranar som ha typ 5 axlar och kan transportera del av sina vikter själv samt att vara snabbt färdig till lyft.

Krankostnadsguide 20ton avseende på effektiv lyft från ytterkant lastfördelningsplåt under stödben.

Krankostnaden inkl. etablering och 8 timmars jobb (beroende på lyftförutsättningar ok mm men 8 timmar brukar räcka)

	100 Ton	200 Ton	300 Ton	500 Ton
Etablering	10 000,00 kr	26 000,00 kr	40 000,00 kr	162 000,00 kr
8timmar lyft	16 000,00 kr	23 000,00 kr	32 000,00 kr	47 000,00 kr
Lyftadie	13	25	29	50
Stödben <u>inkl</u> plåt	4,5	5	5	6
effektiv lyftadie	8,5	20	24	44
Kronor per effektiv lyftmeter	3 058.82 kr	2 450.00 kr		4 750.00 kr

Figur 21 (förenklad lyfteffektivitets tabell för kranar)

3. Styrande dimensionering

Broar en komplex och lite speciell konstruktion men förenklar man styrs konstruktionen normalt av. Bronslast, utbreddast nedböjning, punktlast och dynamik. Naturligtvis finns det väldigt mycket andra saker som en konstruktör behöver kontrollera men styr sällan. Brokonstruktören är en speciell konstruktör och bör ha dokumenterad erfarenhet innan man ger sig ikast med att dimensionera broar. Först och främst så arbetar brokonstruktören med normer, Eurocode (för eurokoderna finns så kallade normativa hänvisningar), Trafikverkets Tdok, AMA, men även lokala föreskrifter typ Malmö stad Teknisk Handbok.

Dessa dokument kommer ständigt i nya upplagor och versioner. Idag har brokonstruktörerna delats upp lite dels de som jobbar till beställarna och del de som jobbar direkt mot entreprenörerna. Det är alltid möjligt att göra byggherre specifika val som att justera olika lastkrav som tex islast i Skåne. Ibland är det bra att titta på räddningsfordon och speciella underhållnings fordon som kanske behövs i framtiden.

- Trafikverkets ändringar och tillägg till AMA Anläggning 23, TDOK 2023:0125
- AMA Anläggning 23
- Lokala teknikföreskrifter



Figur 22 (klipp från internet Malmöteknisk handbok)

3.1 Dimensionerande nedböjning (deformation av last)

Förenklat styrs broar av nedböjning som är $L/400$. Det vill säga om bron har längden. Exempelvis 18000mm mellan centrumupplag dividerat med 400mm vilket blir 45mm. Bron får alltså deformeras max 45mm vid fullt utbredd last. Lasten som man använder är vanligtvis 500Kg/m² vid riktigt långa broar finns det reducerade laster för man resonerar att bron inte kan vara smockfull överallt. Detta betyder att bron tål betydligt mer innan de går sönder. Deformationen även är ett komfortkrav samt att man behöver bygga in en viss robusthet då broar normalt beräknas att stå i 80år.



Bild 23 (Oskar Bruneby Kolfiber balk) Provning nedböjning av balkelement.

Vid arbete med okända samverkansprinciper och nya material så kan det vara bra att göra deformationsprov och enligt våra normer är det tillåtet att verifiera med hjälp av provning men då skall statistiskt säkerställd.

Vid bro 254 kolfiber bestämdes att 3st (50%) balkar skulle provas samt på färdig bro. Vid provning användes olyckskast och fullständigt elastiskt förlopp kunde konstateras.

3.2 Punktlast för servicefordon

Ytan på bron styrs av punkt lasten vilket är helt oproblematisks vid massiva konstruktioner typ betongbroar och träbro med tvärsänd platta. Där emot direkt avgörande för resten av brotyperna. Punktlasten bestäms av figur nedan och blir 8 ton på en axel som fördelar sig till två punkter och blir således 4 ton på en yta 200x200mm.

Det är en fördel vid träöverbyggnader att använda plank som är typ 140mm Bred då detta skapar lite redundans i systemet. Detta inne bär i praktiken att man aldrig lastar en plank. Plankor är naturligtvis av kontrollerat konstruktionsvirke men dock en naturprodukt. Praktisk så är punktlasten ett bekymmer på typ gjutafalt då det är riktigt varmt med brukar med att man lägger något under så man fördelar trycket inte tar med problemet vid konstruktion. Punktlasten finns överallt på konstruktionen utom allra innersta remsan 200mm (se figur Tvärled).

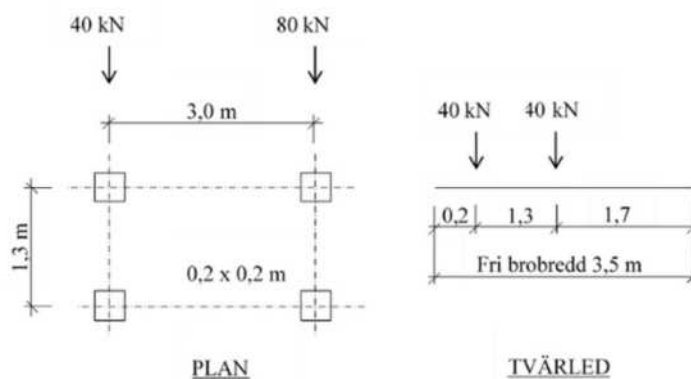


Bild 24 Fördelning punktlast



Bilder 25 (Foto Oskar Bruneby Kolfiber bro 254)
Deformationsprov i skarpt läge med dimensionerade servicefordon.
Detta görs enkelt med jigg och mobilkrans vikter

3.3 Dynamikproblem med slanka, långa och geometrisktutmannande broar

Så fort man vill göra lite spektakulära broar Brukar det bli dynamikproblem. Ju slimmare desto mer dynamikproblem.

Det går emellertid att ändra brons dynamik. Det vanligaste sättet är tuned massdampers. En galvad klump på fjädrar placerad på rätt ställe med rätt fjädrar och rätt vikt. På detta sätt kan man höja frekvensen och bli av med dynamikproblemet.



Figur 26 Exempel broar med dynamikproblem till vänster (Foto Lars Bendroth Malmöstad) Bagers bro Inspänd bro i kurva ca 2m bred och cirka 30m lång.) Tillhöger (foto Oskar Bruneby) Sofias bro sinusformad 60m lång.



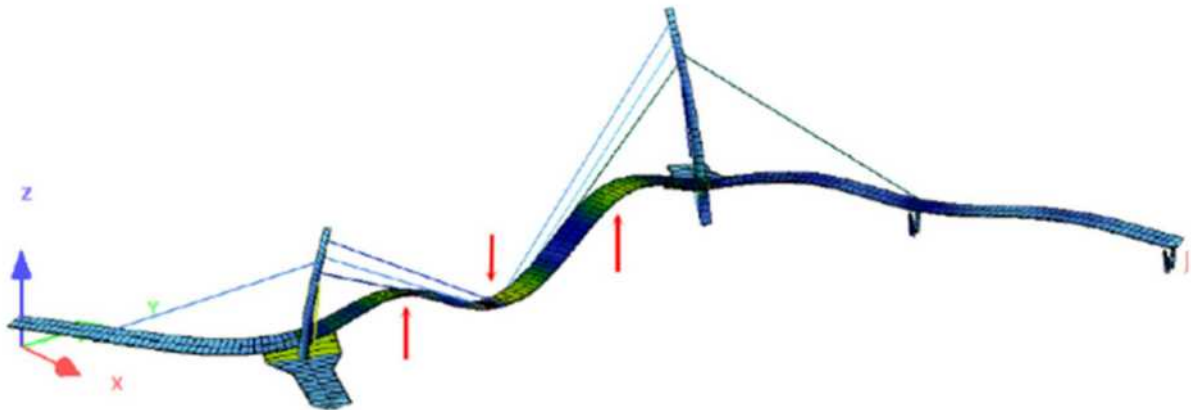
Figur 27 Exempel Hur man stämmer en bro Bilder (Foto Oskar Bruneby Varvsbron Helsingborg) Dämparen är i första läget dimensionerad med data från beräkningsmodell men behövs sedan finjusteras med hjälp av mätningar. Detta göres på plats med portabel utrustning. Sedan byter man fjädrar alternativt spänner hårdare så att man får maximal dämpning och Comfort.

3.3.1 Krav för dynamik i broar

Det är lite svårt att utläsa och kraven saknas ibland för dynamik och komfort för de lite geometriskt utmanande former. Då är det bra att titta på lite andra broars krav.

Klippt från dynamikkrav bro Oceanpiren Helsingborg

- Bron ska uppfylla villkor angivna i A2.4.3.2(1) i SS-EN 1990/A2:
- Vertikala accelerationer avert $\leq 0,7 \text{ m/s}^2$
- Horisontella och vrid accelerationer a hor vrid $\leq 0,2 \text{ m/s}^2$ under vanligt bruk
- Horisontella och vrid accelerationer avert $\leq 0,4 \text{ m/s}^2$ under folksamling
- För gånglastmodeller hänvisas till NA to BS EN1991-2:2003, NA.2.44 (National Annex till British Standard). Observera att ovanstående komfort kriterier gäller och inte de som står under NA.2.44.6 i NA to BS EN1991-2:2003.
- Resonans ska kontrolleras för lastfall både med och utan trafik.



Figur 28 Dynamikproblem vertikalt Varvsbron Helsingborg

4. Brotyper

Brotyper broar kan man översiktligt systematisera i 10 grupper och finns naturligtvis i massa olika material och varianter.

- Brotyper som inte är lämpliga om man inte vill ha specifik arkitektur
- Plattramar
- Balkbroar
- Snebeningar och Vbeningar
- Fackverksbroar
- Helt tryckta bågbroar
- Bågbroar
- Hängbroar
- Svedkabel broar
- Stressd ribbon bridges
- Inspända broar
- Prefab betongbroar

4.1 Brotyper som inte är lämpliga

Samverkansbroar Stål-betong är inte lämpliga då man får stålets underhåll och ändå får forma och gjuta hela överbyggnaden. Det är då bättre att bygga en betongbro eller en bro helt i stål eller betong. Fackverksbron i trä är inte heller lämplig då den har för hög bygghöjd som driver anslutandes rampers kostnader samt att träfackverket har vitsat sig ha dålig livslängd,

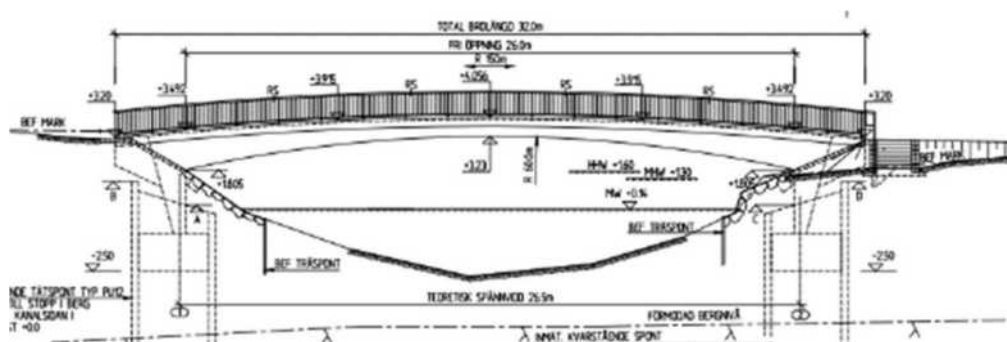


Figur 29 (foto Oskar Bruneby) A. Visar hur fackverksbro i trä har en bygghöjd på ca 1m och på det sätt tappar man fackverkskonstruktionens finess. Dessutom är träet väldigt känsligt för väder och är en lätt bro med fri höjd 5,2 m över vägtrafik. B Visar samverkansbro som får stålets underhåll och betongens tyngd och är ändå en lätt bro som har fri höjd 5,2 m över vägtrafik.

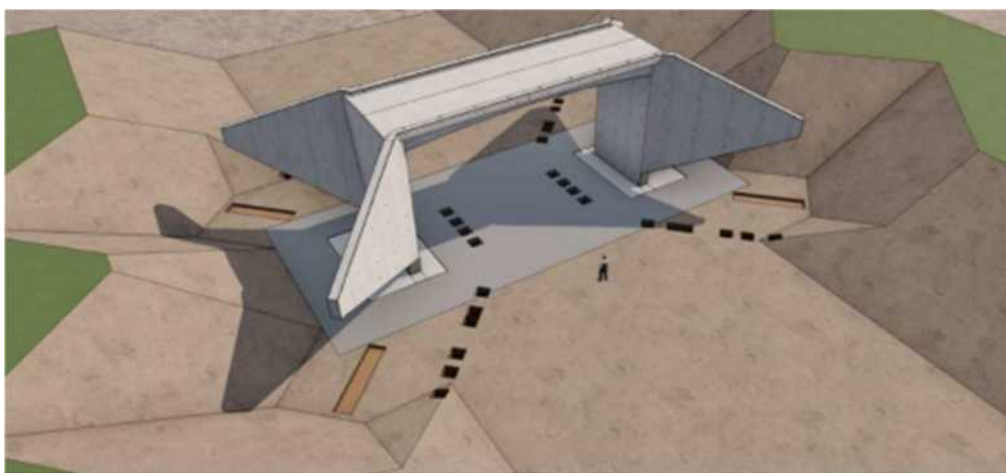
4.2 Plattramar

Plattramar i betong bygger vi ofta vis våra stora infrastrukturs jobb i jungfruligmark då brotypen är enkel, robust och kostnadseffektiv brotyp Dessa brotyper finns i två olika armeringstyper Slak-armerade som man bygger vanligtvis till ca 32m spännvidd beroende på bygghöjd mm. Större spännvidder behöver man spännarmera vilket inte är så mycket dyrare i material men det som kommer till är tid och komplexitet. När man väl har gjutit bron behöver man vänta tills brons hållfasthet stigit därefter, spänner, injekterar, och bakgjuter man bron. detta innebär att man får ca 1 månads extra omkostnader på bron. Den spännarmerade plattramen är tacksam då den spricker mindre i kantbalken. Plattramar sitter ihop mellan ramben och överbyggnaden och det blir en viss valvverkan. Detta begränsar var man kan använda plattramar. Man måste alltså ha ett viss grundläggningsdjup för att hantera kicken i rambenet från överbyggnaden. Beroende på brolängd mm så är det svårt att bygga plattramar med ramben som är kortare än 4m. Enkel lista varför detta ör den varför detta är den vanligaste bro brotypen i Sverige.

- Tacksam att styra optimal geometri
- Inga övergångskonstruktioner
- Underhåll beläggning är samma som anslutande asfalterade väg.
- Tung konstruktion vilket med för fri höjd 4.70m vs 5.20m.
- Det är extremt svårt att bygga en bro utan betong och etablering den skall liksom göras ändå.
- Stöden är inte påkörningskänsliga
- Betongen passar livslängdskravet 80 eller 120 År
- Naturligt sätt att ta hand om jordtrycket.
- Viss inspänning och valvverkan vid rätt geometri.
- Inga lager
- Ett flertal ec märkta räckeslösningar



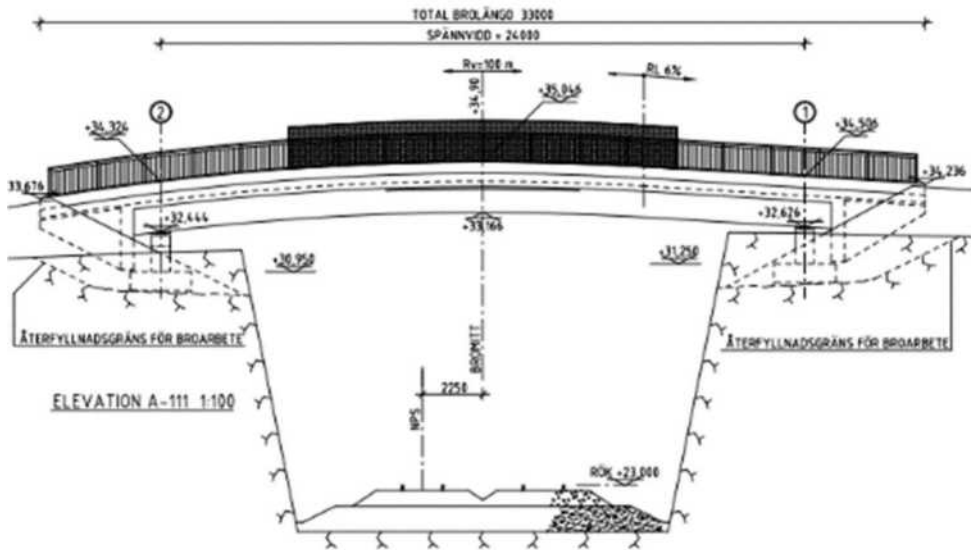
Figur 30 Visar skiss på låg plattram med sponter



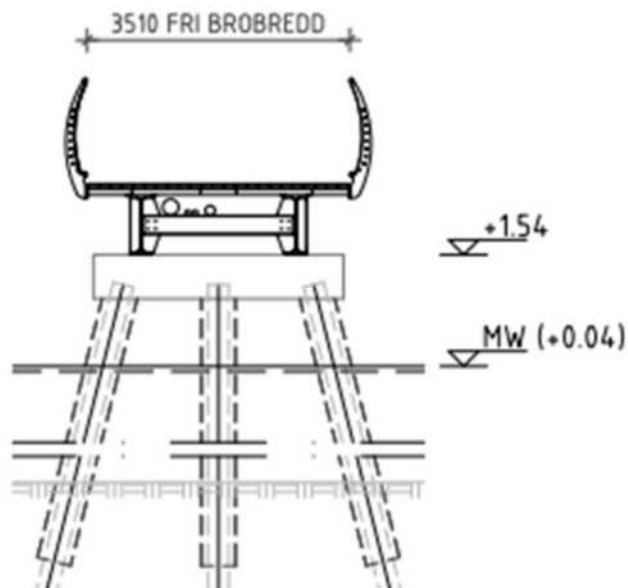
Figur 30 Visar skiss på plattram med höga ramben och stora vingar. Då gång broar har relativt lätt last kan det vara bra att öka brolängden och minska vingstorleken.

4.3 Balkbroar

Balkbroar är enklaste typen av broar. Balkbroar består av en bro balk på ett fast i ett lager och har en eller flera rörliga lager i andra sidan. Balkbroar med stål I balkar eller träbalkar är kostnadseffektiva upp till ca 24m spännvidd broar helt i stål kan man komma upp till ca 36m och sedan börjar det vara svårt att transportera. Balkbroar har lager och kräver antingen ändskärmslösning eller övergångskonstruktion med grusskifte



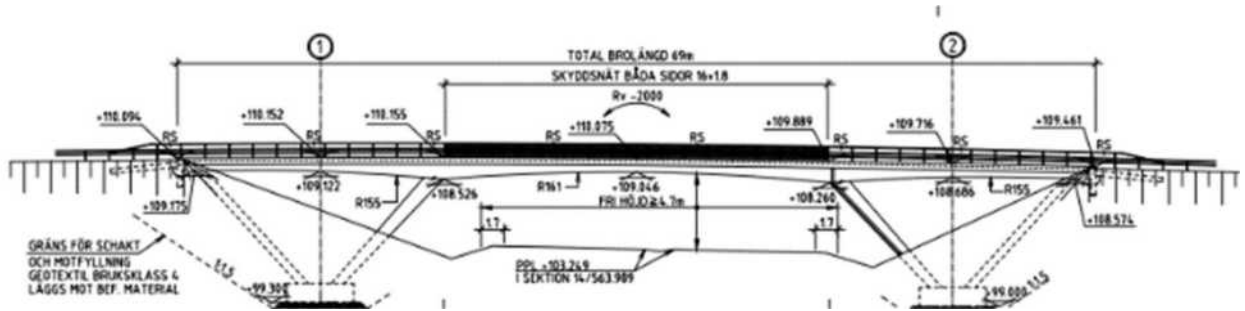
Figur 31. Visar en balkbro i betong med ändskärmslösning



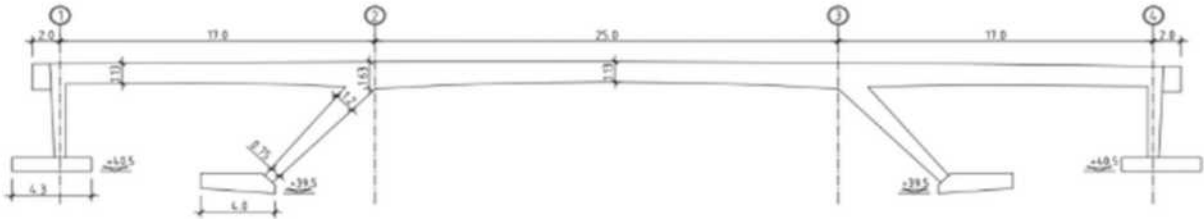
Figur 32. Visar en bro med stålbalkar och trä överbyggnad.

4.4 Snedbeningar och V-beningar

Snedbeningar och V-beningar används ofta vid nybyggnation över motorvägar där man vill ha ett öppet utseende. De är lite dyrare än plattor och balkbroar men har ett trevligt öppet utseende under. V-beningar används vid markförhållande som man måste påla och Snedbeningar vid bättre markförhållande. V-beningsen balanserade horisontala laster som gör den bra att påla.



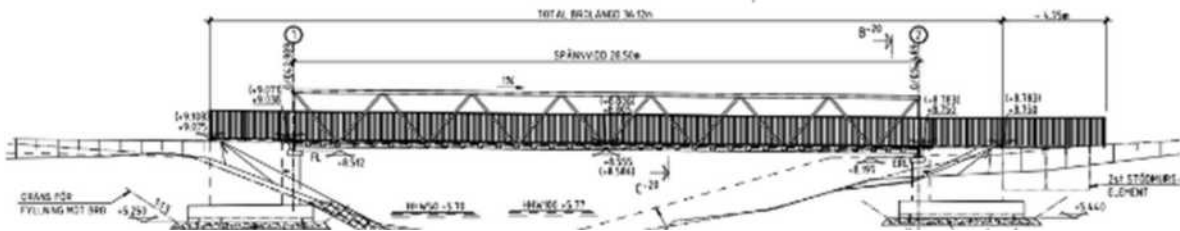
Figur 33. Visar skiss V-bening



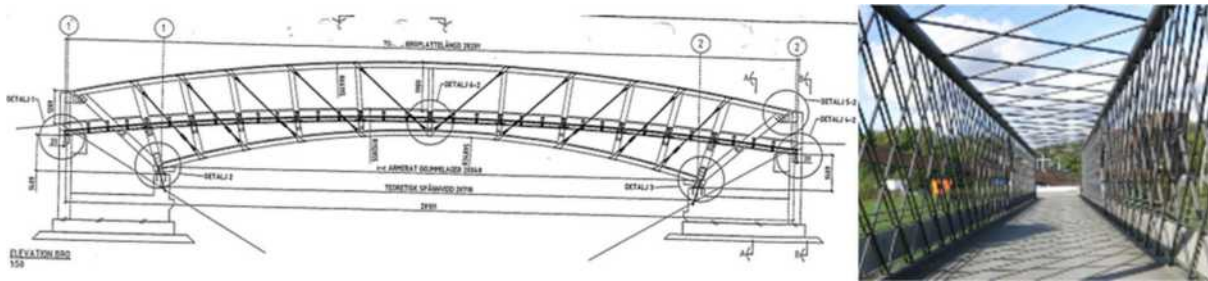
Figur 34. Visar en snedbening som har samma slututseende men en lägre produktionskostnad.

4.5 Fackverksbroar (Knislingebroar)

Fackverksbroar styrka är den låga bygghöjden som gör att de anslutande marken inte behöver vara så höjd. Andra finesser är att man får räckes strukturen eller väggar till tak i princip gratis. Nackdelar är att man behöver struktur för bärighet av punktlast i golvet samt att den många vinklarna gör det ganska dyr att underhålla målning. Fackverksbroar bygger man i regel upp till 36m rent transporttekniskt men gå naturligtvis att bygga längre men bukar inte vara så kostnadseffektivt eller praktiskt



Figur 35. Visar klassisk fackverksbro



Figur 36. A visar skiss över fackverksbro med tunna dragstag. B. (foto Oskar Bruneby) Visar fackverksbro med fackverk även i tak Gelsenkirchen kunstpark ost Tyskland.



Figur 37A (foto Oskar Bruneby) Visar Fackverksbro i bäge Anaconda bridge Amsterdam. B (foto Oskar Bruneby) Visar Ribshorst brücke Oberhausen Tyskland Som är en inspänd bro som hanterar sina rörelser svängd brogeometri.

4.6 Helt tryckta bågbroar (stenvälv)

Den gamla typ av bro är de tryckta stenbroarna som finns i moderna försök med betongsten. Brotypen kräver bra grundläggning och kunskapen om hur man bygger stora valv i sten är begränsad i dagens samhälle men allvarligt talat så borde denna brotyp vara den mest ekologiska och hållbara. Det är naturligtvis kostnaden av mantimmar och kunskapen som driver vidare om stenvälvbron har någon framtid. Där emot är det all idé att försöka renovera de som finns.



Figur 38. (Foto Oskar Bruneby) Visar Europas största naturliga bro i Sachiska Switscherland på gränsen mellan Tyskland och Tjeckien.



Figur 39. (Foton Oskar Bruneby) A Visar the Devilsbridge i östra Tyskland. B Visar the hur man kan bygga en liten stenvälvbro och att stenarna kan vara lite basaltskrot.

4.7 Bågbroar

Bågbroar består av en båge och ett dragband. Bågen kan sitta på översidan. Undersidan eller emellan dragbandet. Bågbroar används i träkonstruktioner från 30m och i stålkonstruktioner från 40m. Det är kostnadseffektivt att använda dragbandet som farbana, bågbroars farbana hängs sedan i bågen med stag eller kablar.



Figur 40. (Foto Oskar Bruneby) Visar Tullportsbron en 80 m bågbro i Ängelholm vid montage och färdig bro.



Figur 41. (Foto Oskar Bruneby) Visar väldigt material effektiv och minimalistiska båge på 45 m i Kusntpark ost Tyskland. Denna brotyp skulle kunna systematiseras i kanske 40m, 50m och 60m längd. Detta skulle vara en tillgång för vatten och motorvägar som annars brukar kräva extra stöd som skall göras i vatten eller trafik som är väldigt dyrt.



Figur 42. (Foto Oskar Bruneby) Visar Sofias bro i Helsingborg som är en avancerad arkitektskapelse men illustrera att bågen kan sitta på undersidan med.

4.8 Hängbroar

Hängbroar är bra på extrema brospänn men hängbroar används oftast där man har svårt att komma till med normala fordon. Tex scooter-broar och gång och cykelbroar över vattendrag. Detta är ett smidigt sätt att bygga bro över vatten och slippa dyr grundläggning i vatten. När man bygger enklare hängbroar kan det vara fördelaktigt att montera från is eller flotte. Det finns ett koncept som kallas för Pajalabro med systematiserade hängsegment som man kopplar i bärkablarna med kedjor. Hängbroar är även arkitektens självklara val vid riktigt spektakulära broar.



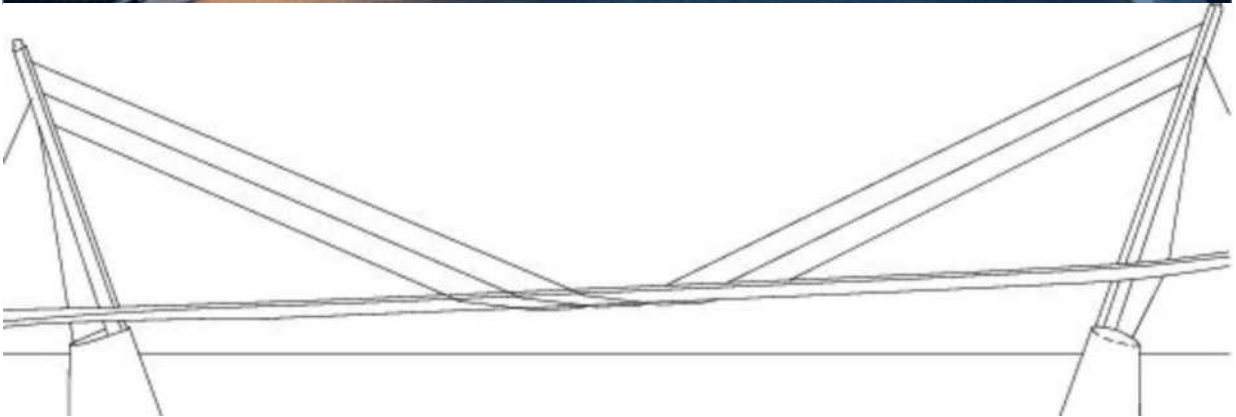
Figur 43 (Foto Oskar Bruneby) Visar Typ Pajala bro i Malmö



Figur 44. (Foto Oskar Bruneby) A. Zoom bridge utanför zoo i Gelsenkirchen Tyskland som har ett imponerande 144m långt svävande spann i en båge. B Visar Nescio bridgen Holland som är Europas näst längsta bro ca 730m.

4.9 Snedkabelbroar

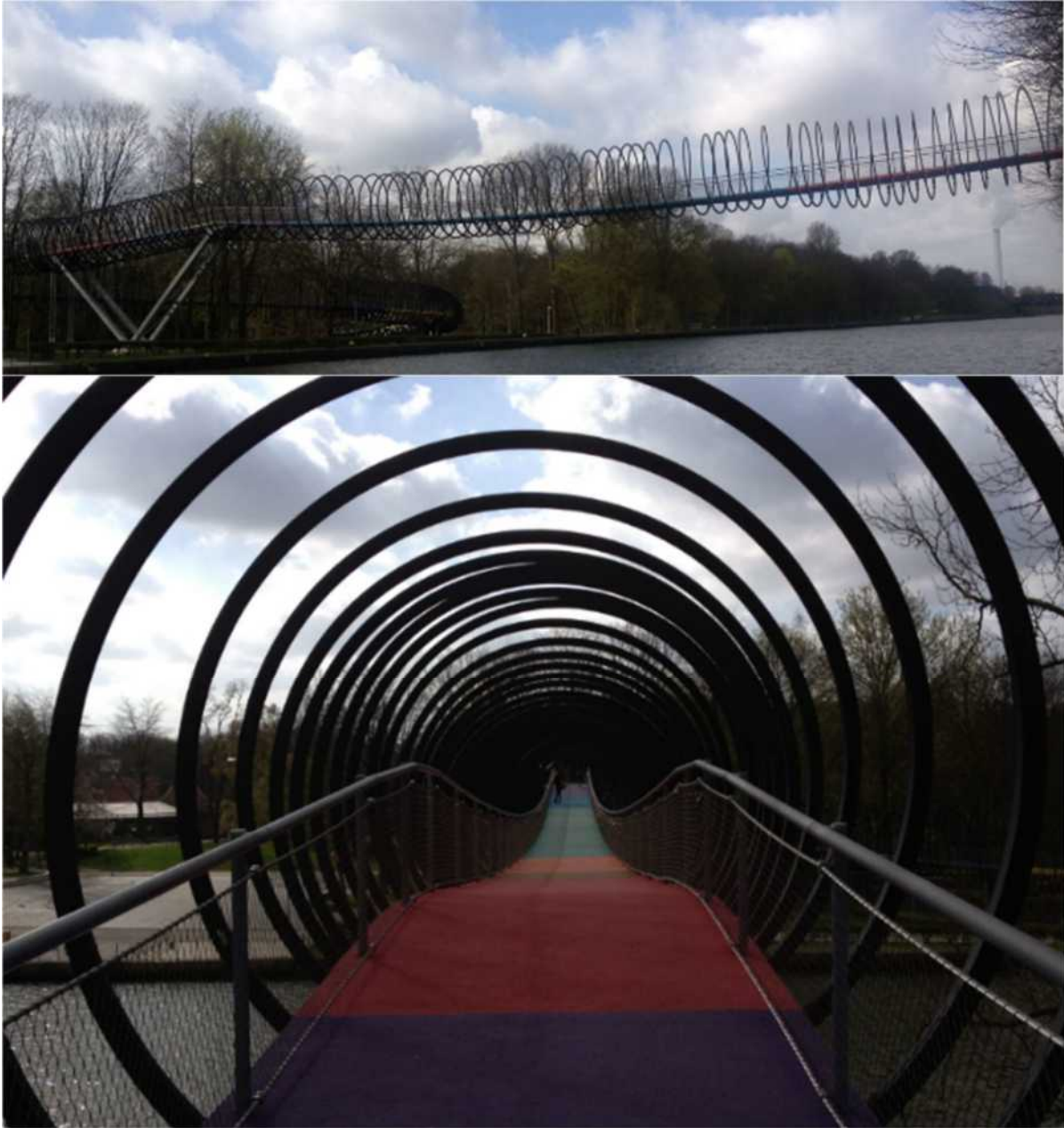
Snedkabelbroar är bra då man kan bygga på segment efterhand på stora infrastrukturprojekt, det är sällan man använder det som gång och cykelbroar utom just för arkitektoniska stjär.



Figur 45. (Foto Oskar Bruneby) Varvsbron är en väldigt arkitektonisk snedkabelbro med vriden s-geometri och lutande pyloner.

4.10 Stressed ribbon bridge (hängmatta)

Stressed ribbon bridge är en bro som kräver bra berg att förankra bärlinor och har en del dynamikproblem som man får leva med samt att den ger en geometri som inte är optimal att gå och cykla i. Detta är en brotyp som sällan används i Sverige. Det finns en i Tyresö, bron över Nyforsviken. Detta är något som arkitekterna har börjat gilla men man bör tänka sig för innan man använder.



Figur 46 (foto Oskar Bruneby) Visar the slinky bridge Gelsenkirchen med spännvidd 80m.

4.11 Inspända broar

Vill man bygga broar med tunn farbana finns möjligheter att spänna in landfästena vilket ändra lastförutsättningar och deformation klart. Det används vanligtvis till stålbroar som har den tunnaste brohöjden från början. Man sparar som regel lite material med att spänna in bron men den ökar i kostnad på grund av komplexitet.



Figur 47 A visar inspänningsarm på Varvsbron i Helsingborg B (foto Oskar Bruneby) Visar bro Malmö live som har arm med lager både uppe och nere.

4.12 Prefab betongbroar

Prefab broar i betong gjordes en hel del under miljonprogrammet i Sverige men har sedan försvunnit helt. Det är marknaden och vårt sätt att börja med nya tankesätt med tex gestaltungsprogram som har fasat ut Prefab broarna. Brotypen är optimalt producerad med återanvändningsbara former och system där man enkelt kan förspänna vissa tvärsnitt för att materialoptimera. Brotypen är vanlig ute i Europa där marknaden ser annorlunda ut. Dagens Prefab broar har pelare, farbana och landfäste och ser ganska bra ut. Det är ett väldigt snabbt byggnadssätt 1 månad jämfört med 3-4 månader annars. Consluis från Holland är närmsta ställe som kan leverera kompletta brosystem till Sverige. Det skulle vara en idé om man vill bygga snabbt och kostnadseffektivt få våra nya järnvägsprojekt.



Figur 48 A (foto Consolius) Køge Danmark montage 2016 av bro 24m spännvidd B (foto Oskar Bruneby) samma bro men 2022.

4.13 Provisoriska gång och cykelbroar

Ibland behöver man provisoriska gång och cykelbroar som kan se ut lite olika beroende på funktion och situation. Det finns färdiga modullösningar från exempel Haki och ibland gör man enkla stöd i ställning och lägger en tvärsänndplatta i limträ likt en träbro. Skall man göra en bro över vatten och man ändå göra en pålbrygga som provisorier till denna så kan man göra en provisorisk pålbryggebro.



Figur 49 A (foto Oskar Bruneby) Provisorisk bro vid varvsbron Helsingborg från HAKI. B (foto Oskar Bruneby) Provisorisk bro med pålbrygga vi bygge av Kaptensbron Malmö.

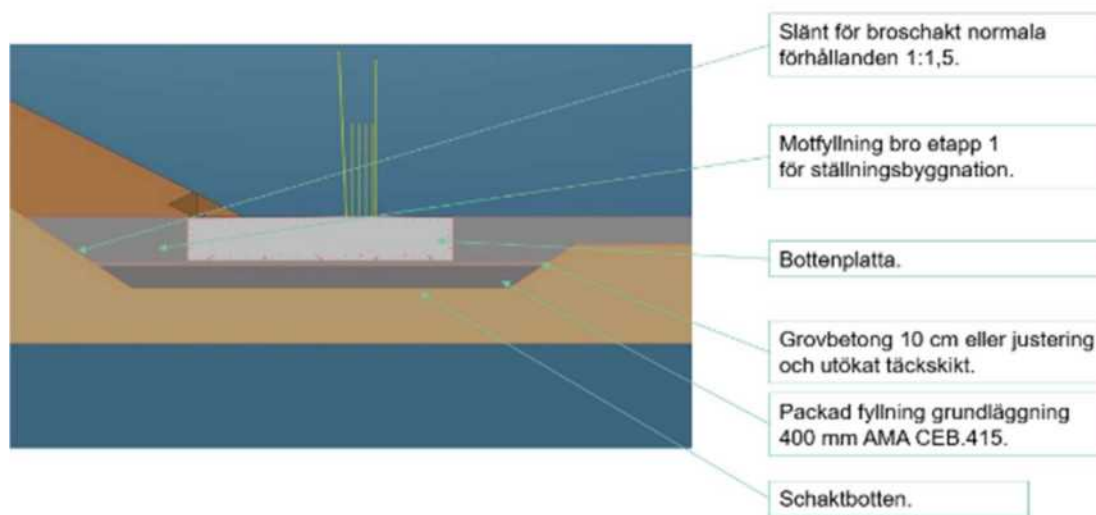
5. Grundläggning

Grundläggning av broar kan man översiktligt systematisera i fyra grupper

- Platta på mark.
- Betongpålar
- Stålpålar (micropålar)
- Gabionlösningar eller direkt på sten

5.1 Platta på mark

Betongplatta på mark är den vanligaste enklaste lösningen och bästa lösningen på normal eller bättre mark. Platta på mark är sedan lätt att kompletterat med tex spont vid vattenbekymmer.



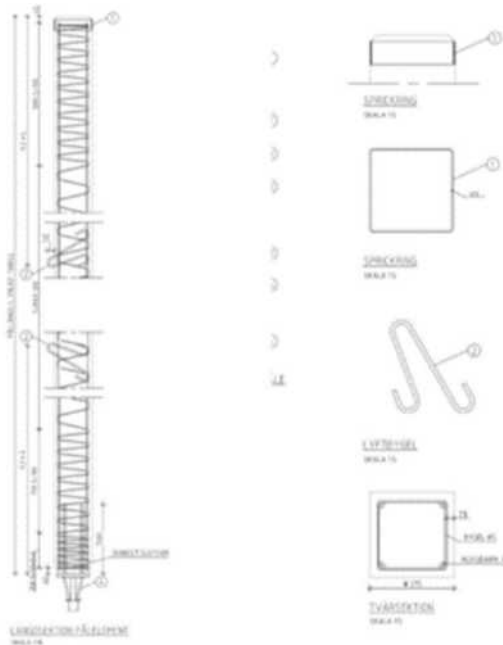
Figur 50 Visar schematisk skiss bottenplatta med lämplig packad fyllning och schaktslänter.



Figur 51 Visar att bottenplatta och landfästes armering ibland inte är större än man kan prefabricera merparten av jobbet utom själva gjutningen och bedriva arbetet med minimal etablering.

5.2 Betongpålar

Betongpålar är normalt bra vid grundläggning broar men just gång och cykelbroar är det sällan bra. Det krävs 8st pålar för att man skall slippa räkna med avslagen påle vilket gör detta dyrt då man med en gång och cykelbro inte har så stor last. Betongpålar slås av en stor pålkran som väger 60ton och som har typ 5x10m för larverna. Den behöver dessutom ganska flacka slänter för att köra sen en etablering och av etableringskostnad på ca 60000kr.



- Tvärsnitt # 270 mm
- Stål ca 10 kg per meter
- Betong volym 74 l/m
- Betong C50/60 (Mycket cement och tillsatsmedel)
- Kostnad ca 500kr/Lpm på fabrik
- Kostnad inkl. transport 600kr/m (beroende på vart)
- Vikt ca 85 kg/Lpm
- Löpmeter per bil 150m / 30 ton per bil

Figur 52 Betong pålar med enkel data lista.



- Pål kran typ pm 23 juntan (finns andra men vanlig)
- Pål kran väger 65 ton
- Pål kran behöver nästan jämn mark
- Pål kran behöver stort manöver utrymme (säkerhet)
- Pål kran kosta ca 3000kr / timme med bemanning
- Etablering pålkran samt flytt till andra sidan samt att samt anordna mark och lossnings plats för pålar ca 100 000kr

Figur 53 (foto Oskar Bruneby) Pålkran typ Juntan Pm23 vid bro Sölvesborgsviken.

5.3 Stålpålar

Stålpålar är ett bra att grundlägga på. Ofta är det små pålar som man kan montera slå med kranbil med hammare och powerpack. Det som gör stålpålar kostnadseffektiva är att det finns många dimensioner och man kan ha enkel och smidig utrustning.



Pile	Diameter [mm]	Wall thickness [mm]						
		6.3	8	10	12.5	14.2	16	18
RD90	88.9							
RD115	114.3							
RDs125	127.0							
RD140	139.7							
RD170	168.3							
RD220	219.1							

Figur 54 Klipp från SSAB katalog med både borrarade och drivna stålpålar i många dimensioner som man gjuter på insidan för att optimera korrosions motstånd.



- Grävmaskin med hammare 20-30 ton
- Grävmaskin med borrhög 20-30 ton
- Kranbil med hammare
- Tim kostnad med personal 1500-2000kr
- Etablering ca 20000 Kr
- Behöver inte mycket utrymme
- Behöver inte speciell jämn mark
- Lätt att flytta till andra sidan
- Om man får problem med pålningen men trä sten ed kan gräv maskinen vara den del av lösningen inte bara en extra kostnad.

Figur 55 (Bild från Peab Grundläggning) Samt enkel faktafaktalista för maskiner vid pålning med stålpålar.

5.4 Staplad sten och gabionlöningar

Det mest klassiska är att stapla sten som är ändvänt sedan romartiden. Normalt slutar man med en liten gjutning dom man lägger gummilager. Lavade stenblock används sällan numera då det saknas kompetens, Det är däremot vanligt med gamla balkbroar som måste renoveras då rörelser i stenarna noteras. Det finns typ golfbanebroar i trä som grundlagt på gabioner med enkel toppgjutning.

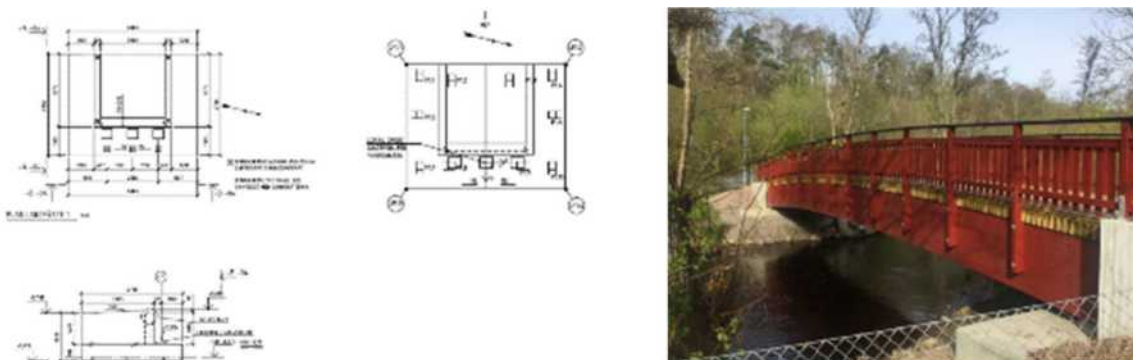


Figur 56 (foto Oskar Bruneby) Bild visar sten landfäste på gammal bro som har börjat röra sig lite.

5.5 Jämförelse landfäste med betongpåle och landfäste med stålpåle

Under 2018 gjordes två broar med liknande bredd och spännvidd som visar att regeln med avslagen påle. Minst 8 pålar och etableringskostnaden för pålkran driver kostnaden och storleken för bottenplattan för de flesta gång och cykelbroar. En enkel jämförelse där betongvolymen är lite plats speciell men pålningen är väldigt likvärdig och likvärdiga laster. Prisnivå 2018 Nettokostnader. Har man många bro stöd kan det vara bra att göra betongpålar med ett byggherreval att man inte behöver räkna avslagen pålen vilket betyder att man kan utnyttja betongpålens styrka och för dela etableringskostnaden på många stöd.

Bro Pomona exempel betongpålar



Figur 57 Klipp från bygghandling bro Pomona (foto Oskar Bruneby)

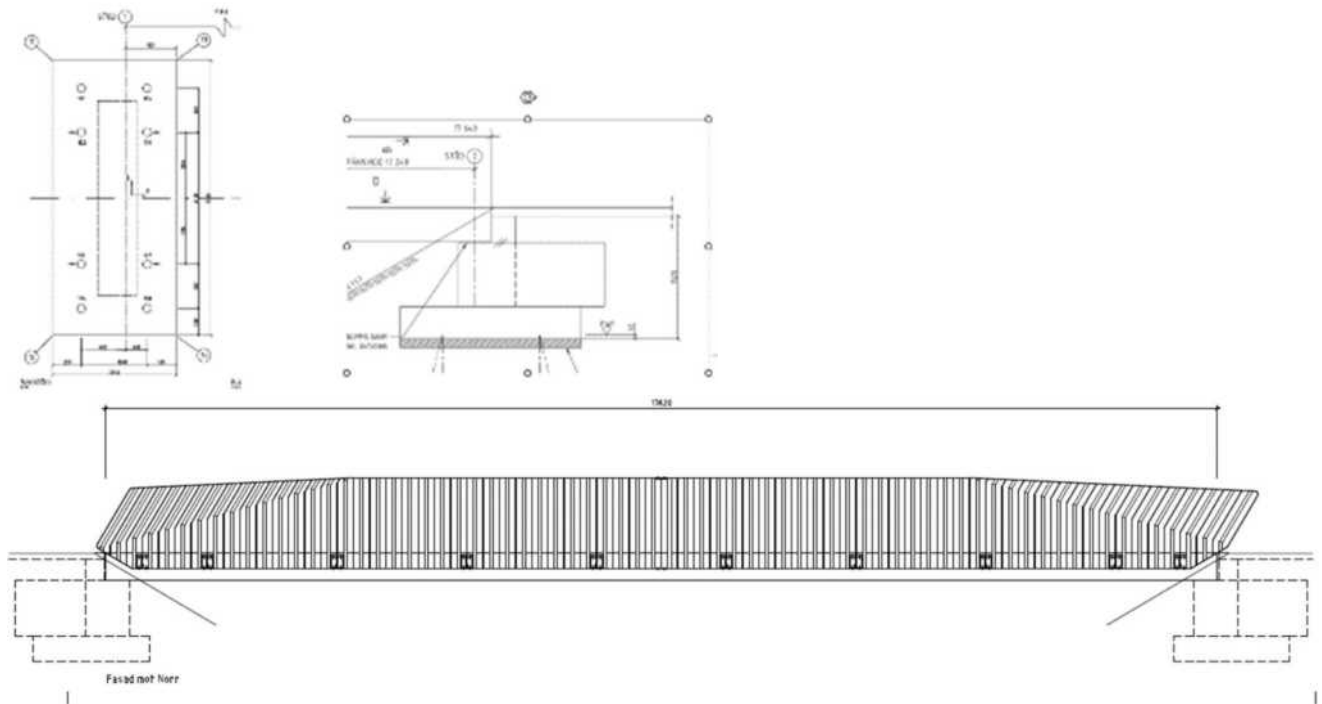
Enkel kalkyl bottenplattabro Pomona:

- Bottenplatta 0,8x4,7x6,0 plus 5% spill två stycken ca 48m³
- 48m³ kostar ca 2200 kr pumpad och provtagen 105 000kr klar i formger 32h maskintid
- Form 2x2x0,8x(4,7+6,0) ger 34m² a 200kr/m² enkel och hög lätt att återanvända ger 6800kr maskintid ca 16 timmar Kostnaden. Maskin ligger i omkostnaden.
- Armering överslag på ritning ger ca 90 kg/m³ 48x0,090 ger 4,3 ton och kostar 8000kr i material ger 34 000kr mycket smått, klippt och bockat. 20 timmar maskin ligger i omkostnad.
- Arbete då det är många små moment och full sysselsättning hela tiden är o möjlig. Form 32h armering 100h gjutning 60h a 450kr ger 86000kr
- Netto kostnad 232 000kr 4800kr/m³

Enkel kalkyl betongpålar Bro pomona:

- Etableringar pålkran inklusive flytt och ytor för pålkran 100 000kr
- Pålar 13,5m 20st 260 m två leveranser 270m påle a 500kr ger 162 000kr
- Pål kran 40 timmar inkl. provning och flytt 2500kr/h 100000kr
- Kapning och hanteringspill a 1500kr/påle ger 30 000kr
- Total kostnad ca 392 000kr (observera netto utan omkostnader)
- Material 20 m³ betong 2,7 ton järn 68 timmar maskin lastbil, trailer, pålkran.

Grundläggning Bro 254 Stålpålar



Figur 58 Klipp från bygghandling bro Pomona (foto Oskar Bruneby)

Enkel kalkyl bottenplatta Bro 254

- Bottenplatta 0,5x2,3x5,0 plus 5% spill två stycken ca 12m³
- Upplags klack 0,7x0,7x3,5 plus 5% spill två stycken ca 4m³
- 16m³ kostar ca 2500 kr pumpad och provtagen kr klar i form 40 000kr ger 16h maskintid
- Form 25m² a 200kr/m² enkel och hög lätt att återanvända ger 5000kr maskintid ca 16 timmar Kostnaden. Maskin ligger i omkostnaden.
- Armering överslag på ritning ger ca 100 kg/m³ 16x0,10 ger 1,6 ton och kostar 8000kr i material ger 13 000kr mycket smått, klippt och bockat. 20 timmar maskin ligger i omkostnad.
- Arbete då det är många små moment och full sysselsättning hela tiden är o möjlig. Form 20h armering 40h gjutning 20h a 450kr ger 36000kr
- Netto kostnad 94 000kr 5900kr/m³ många mer små jobb

Enkel kalkyl Pålning Bro 254

- Etablering pålningsutrustning vanligtvis grävmaskin eller kranlastbil men powerpack 20 000kr
- Pål 13,5m 16st 216m en leverans leveranser 216m påle a 1000kr ger 216 000kr
- Maskin och bemanning 32 timmar inkl. provning och flytt 1400kr/h 45 000kr
- Kapning och hanteringspill a ger 2 000kr Lite vinkelslip bara och i samordnat skrot.
- I gjutning 8000kr en transport och samkörning på båda sidor.
- Kostnad 291 000Kr
- Material 3m³ betong 7 ton järn 50 timmar maskin, lastbil, trailer, pålkran.

Kalkyl jämförelse Summering

	Bro Pomona				Bro 254				
Pålägg				CO2				CO2	
Betong c35-55 40kg cement	0,7	kg CO2/kg	20	m3	5600	kg			
mycket blåstbet	0,7	kg CO2/kg					3	m3	
Betong c35-37 57kg cement	0,72	kg CO2/kg	2700	kg	1944	kg			
Armering	1,8	kg CO2/kg	208	kg	388	kg	1008	kg	
Stål	30	kg CO2/h	68	h	2720	kg	50	h	
Måttstid 30002kg /5mma			302 000	kr			291 000	kr	
Kostnad									
varvare									
CO2					10 624	kg		14 877	
Täckning grundläggning									
Betong c35 45 42kg cement	0,7	kg CO2/kg	48	m3	14 112	kg	10	m3	
Armering	0,7	kg CO2/kg	6300	kg	3080	kg	1650	kg	
Stål	0,72	kg CO2/kg							
Måttstid 30002kg /5mma	1,8	kg CO2/h	68	h	2040	kg	32	h	
Kostnad	30	kg CO2/h	232 000	kr			94 000	kr	
Totalt			624 000,00 kr		29 872	kg CO2	385 000,00 kr	21 693	kg CO2

Enkelt kan man säga den något billigare betongpåle per meter påle är nästan dubbelt så dyr som en grundläggning med optimerade stålpålar. Grund kravet med 8 pålar och att bottenplattan blir mycket större för att få plats med de stora betongpålarerna.



Figur 59 (Foto Oskar Bruneby) visar bottenform och betongpelare göt stöd bro Sölvesborgsviken med aktiva byggherreval och gjort rymdramsberäkningar på pälgruppen. Det är många stöd på denna bro så etableringskostnaden blir minimal för pälkranen.

5.6 Anslutning av vägbana

Gångbroar med lite anslutande ramper underskattar man ibland jordlastens egenvikt som gör att det sätter sig. På många ställen idag gör man bankar i cellplast för att stoppa sättningar av vägkonstruktionen.



Bild 60 Oskar Bruneby. Gångbro Löddeköpinge asfalt säkert tjock 30 cm och fartgupp.

6. Material

Just gångbroar finns i en mängd olika material och är vanligare att gestalta lite extravagant. Det finns översiktligt 4 olika material grupper man bygger gångbroar med. Det som är viktigt när man tittar på är hur man ser på underhåll och Teknisklivsläng. Detta styrs av livslängdsklass och miljö och exponeringsklass.

- Betong
- Stål
- Glasfiber och kolfiber (FRP Fiber förstärkt plast)
- Trä

6.1 livslängdsklass

Tidsperiod under vilken ett byggnadsverk eller del av ett byggnadsverk med normalt underhåll kan utnyttjas för avsedd funktion. Byte av slitdelar får anses ingå i normalt underhåll. Livslängdsklass L 20, L 50 och L 100 i SS-EN 1992-1-1 och SS-EN 1992-2 motsvarar avsedda tekniska livslängder 40, 80 respektive 120 år

Material	Livslängd
Betong	L100
Stål	L100
FRP	L100*
Trä	L20**

Maximal teknisk livslängd för respektive material. *Frp Behandlas inte av nuvarande normsystem där emot finns brittiska och holländska. ** Vissa träkonstruktioner som tvåspända plattor går att få i L 50 med då måste de byggas in och inbyggnad behöver underhållas.

6.2.1 Exponeringsklasser vägmiljö och korrosivitetsklass

Exponeringsklasser för konstruktionsdelar används främst för betongkonstruktioner och det är svårt att undvika som bottenplattor och landfäste

Konstruktionsdel	Exponeringsklasser
GC-miljö	XD1, XF4
Vägmiljö	XD3 ¹⁾ , XF4
Marin miljö	XS3 ¹⁾ , XF4
Brobaneplatta under direktguten cementbunden beläggning	XD3, XF4

¹⁾ Frontmurars, ändskärmars samt vingmurars baksida mot jordfyllning betraktas som belägna i XD1 respektive XS2.

6.2.2 Gång, cykel och vägmiljö

Gång- och cykelmiljö avser område påverkat av saltinblandad sand och föroreningar från gångtrafik.

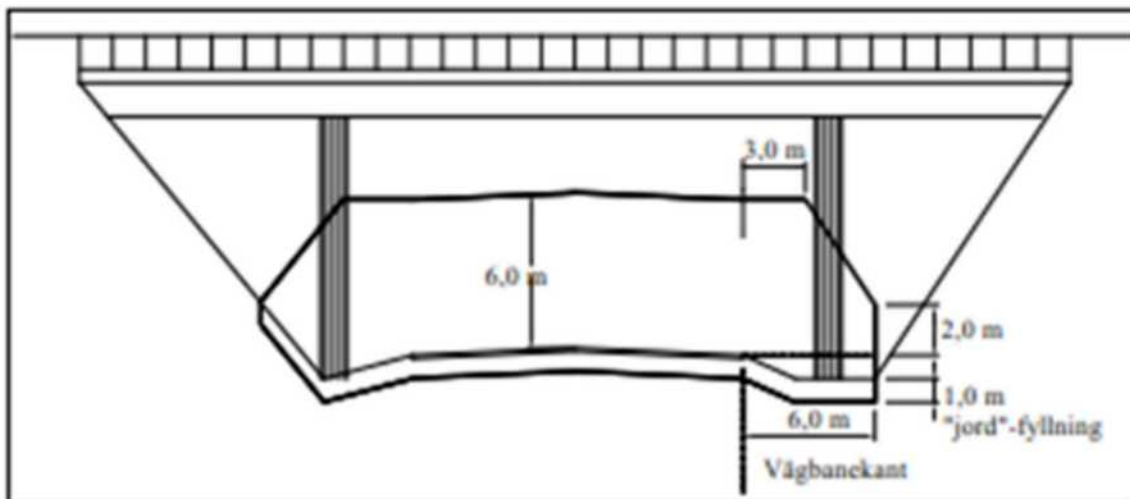
Gång- och cykelmiljö vid underliggande gång- och cykel-väg begränsas

- uppåt av horisontalplan 1,5 m över gång- och cykelvägens yta
- nedåt till 1,0 m under markyta
- i sidled av vertikalplan 2,0 m utanför gång- och cykelvägens kanter.
- Gång- och cykelmiljö för brodelar ovanför brobaneplatta på gång- och cykelbro begränsas
- uppåt av horisontalplan 1,5 m över gång- och cykelvägens yta
- i sidled av vertikalplan 2,0 m utanför gång- och cykelvägens kanter.

Överyta av brobaneplatta eller trafikerad bottenplatta som är försedd med tätskikt anses inte vara gång- och cykelmiljö.

Vägmiljö

Ytor inom den markerade ramen i figur nedan samt ytor på pyloner och bågar ned till 2,0 meter under brobanebelägningens överkant. Överytor på brobanor och trafikerade bottenplattor som är försedda med tätskikt anses inte vara i vägmiljö. Livslängdsklass kombineras sedan med Exponeringsklasser för betong och korrosivitetsklass för stål som båda är beroende på vägmiljö och saltning



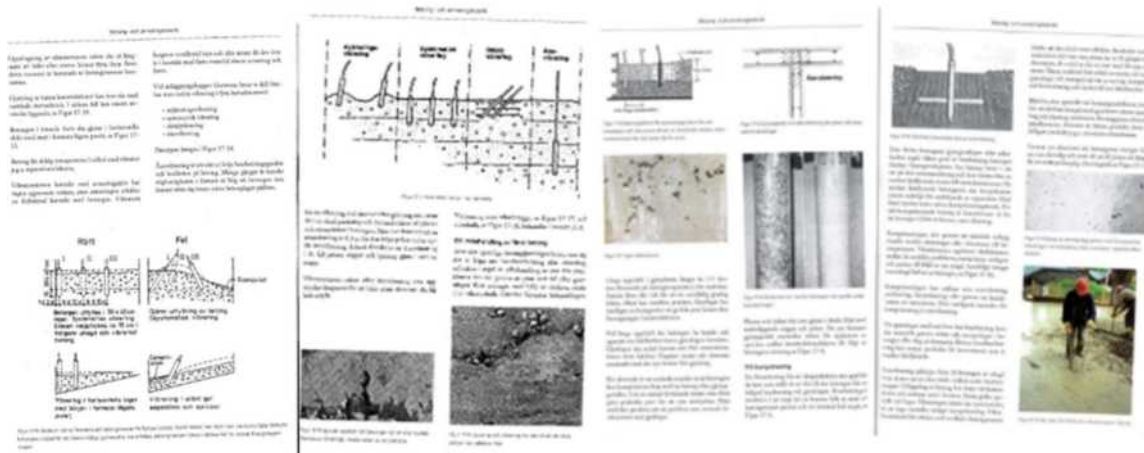
Figur 61 (klipp från TDOK 2023:0125) Visar vägmiljö och gäller även korsande gång och cykelbroar. För konstruktionsdelar intill brobanans kanter upp till 6,0 m ovanför brobanebelägningens överkant ingår i vägmiljö.

6.3 Betong

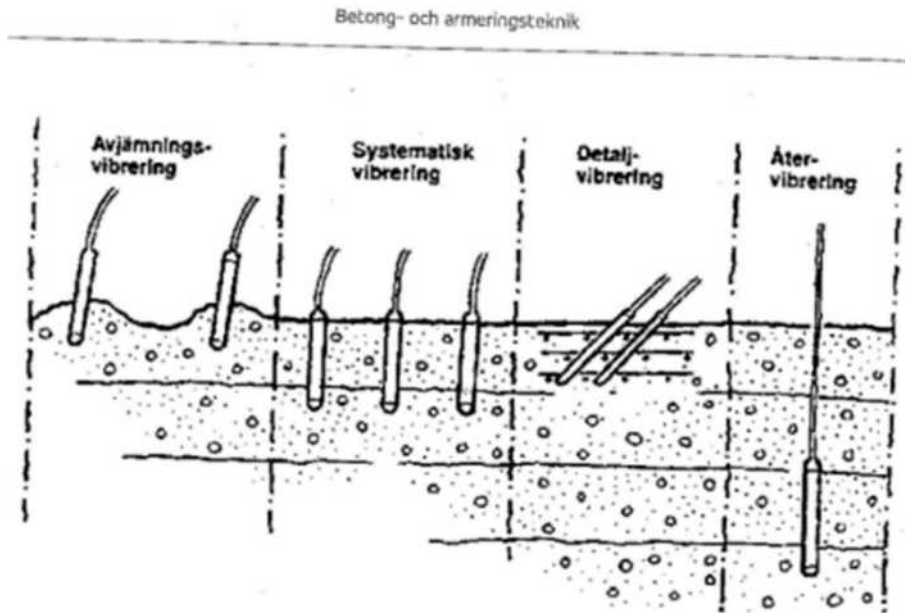
Betongbroar har det enklaste underhållet av alla broar samt att man bygger en helhet med grundläggnings och landfästet är i betong. Betong är ju som bekant formbar sten och kan med vissa begränsningar nästan se ut hur som helst. Med hjälp av att bara anpassa täcksjick och Vct kan man få vilken teknisklivslängd man vill. Betongbroar är tunga vilket betyder fri höjd under bron är 4,7m för väg vilket innebär bra geometri för korsande gång och cykelbro. Betong kan fås i olika färger genom pigmentering, målning eller laseras. Betongbroar har med sin tyngd en fantastisk komfort. Betongbroar har i regel samma asfaltstopp som anslutande väg vilket innebär en enhetlig och robust beläggning. Betong har en negativ klimatpåverkan som betongindustrin jobbar hårt med att förbättra, Just nu våren 2024 så kan vi minska Co2 med 25% inblandning enligt normen men redan idag finns det betong som testades på Trafikverket bro väg 23 med 50% inblandning. Det är stor idé för byggherren att engagera sig i betongen om man minskar Co2 utsläppen för det krävs ett byggherrebeslut att avvika från normen.

6.3.1 Betongarbetet

För gjutning av betong i broar krävs betong klass 1 kurs utbildning och det innebär att den som har klass 1 skall vara med planera och utföra betongarbetet. Ibland tycker att entreprenörer att det duger att en betong klass 1 finns tillgänglig gäller inte. Praktiskt sätt är det dock mer samverkan som måste till. Det är dock hantverkaren som styr betongpumpslangen som håller i tempot och då måste man se till att övriga hantverkare som vibrerar hinner med. Under studie och dialog med beställare från Skåne till Norrbotten blir det klart att vi idag gör ibland riktigt dåliga gjutningar. Dessa dåliga gjutningar kostar mycket pengar att laga och sedan får inte den nya felfriabron som beställaren önskar. Tyvärr är litteraturen som styr hur man skall praktiskt arbeta med betongen ganska gammal och behandlar en helt annan betong. 1990 hade vi naturgrus, helt andra tillsatsmedel och ett sättnått på 90-120mm. Detta fungerade fint och litteraturen stämde.

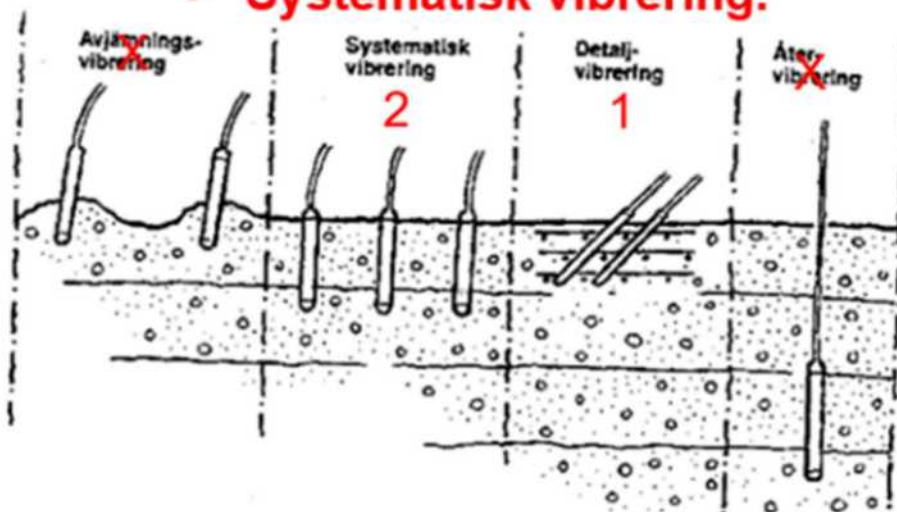


Figur 62 Över blick på bästa svenska litteratur från 2020 talet med samma bilder som 1990.



Betong 2024 gäller

- Betong- och armeringsteknik Få betongen dit den ska.
- Systematisk vibrering.



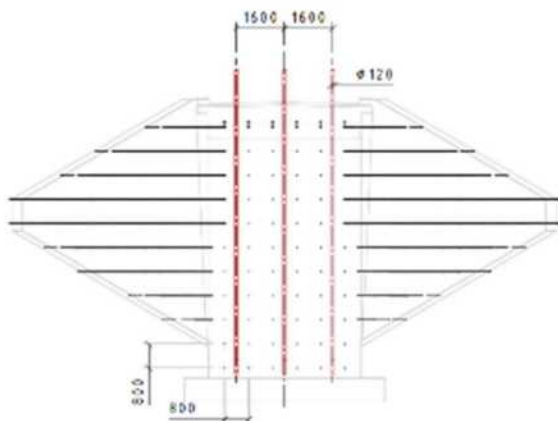
Figur 63 klipp från Betong & Armeringsteknik. Thomas Almgren m.fl. Göteborg/Stockholm 2018. Version 2020-02-15. Denna har precis samma bild och metodik som bilder från 1990talet

Tyvär är litteraturen som styr hur man skall praktiskt arbeta med betongen ganska gammal och behandlar en helt annan betong. 1990 hade vi naturgrus, helt andra tillsatsmedel och ett sättmått på 90-120mm. Detta fungerade fint och litteraturen stämde. 2024 har vi Betong med krossgrus, inblandning av slagg/aska och helt andra kemikalier för konsistens.



Figur 64 Visar gjutskador gjorda 2023 som dessvärre förekommer oftare. Trenden är att många broar är bra men när de väl blir fel och mycket gjutskador. Detta tyder på mycket att det finns mycket skillnader på rutin och kompetens bland hantverkare som skall kunna förbättras

Diskussioner med olika betongkunniga men framför allt hantverkare som gjuter felfria broar som veckor ha knäckt koden. Sammanfattningsvis kan man säga att det är helheten som gör det bra resultatet. Bra betong med minst konsistens S4 men ibland krävs det till och med konsistens S5 beroende på fingerusens struktur och kvalitet. Det gäller sedan att ta hand om betongen direkt och detaljvibrera direkt inte som det står i nuvarande litteratur. Ny modern betong sätter sig snabbt och det går inte flytta den sedan där emot går det att få ihop betongen ganska bra, Det är ännu viktigare att den som kör slangen ser till att han har koll på att de andra hinner med. Man får absolut inte springa runt med slangen och skvätta lite hur som. Det är sedan att vibrera ordentligt och inte pimpelfiska. Vibrostaven vibrerar 10x diametern men ibland måste den komma närmre speciellt vid form som lutar bakåt. Det kan behövas att man kommer så nära som 2x Diametern för att få bra resultat beroende på armering, betong och väder. Det som hindrar att sicka ner slangen i rambenen är formstagen och armeringen det brukar vara bra att använda stag cc 800mm. Det är smart att styra armeringskonstruktionen efter detta så att man gör det så enkelt som möjligt att sticka ner slangen. Ett cc på ned stick på 1600m funkar dessutom väl. Detta är extra viktigt på broar med stora ramben och vingar som exempelvis broar över järnväg som har stor frihöjd.

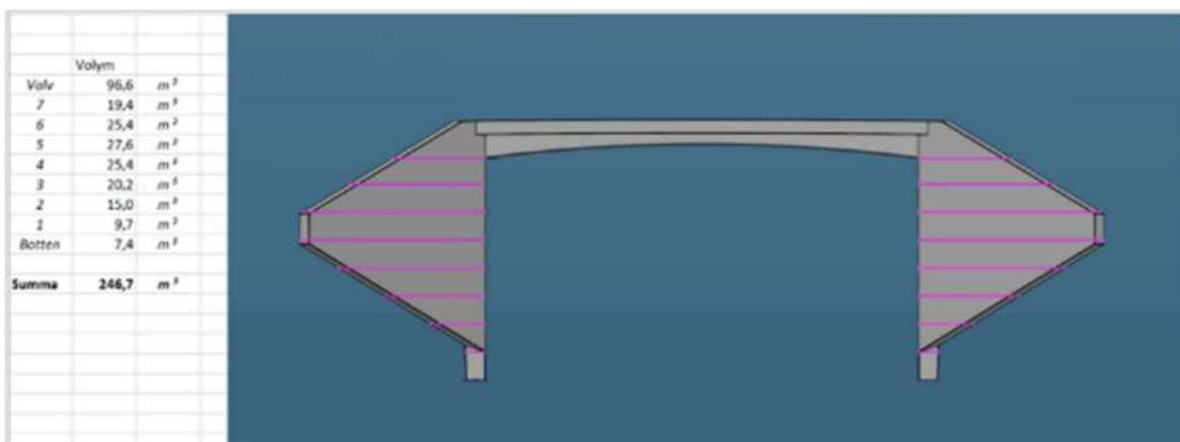


Figur 65 Visar möjligt stag och slangplanering vid ramben för bro med högt ramben.

6.3.2 Betongarbetet (hur man gjuter en bro)

Upptäckten att vi ibland misslyckas att gjuta broar gör att det känns viktigt och förklara hur man kan göra för ett bra resultat. Naturligtvis kräver det mer folk när det är varmt för att hinna med. Normalt på en mindre bro med ramben och vingar krävs 8–10 man.

- Förberedande planering
- Ta emot betongen "
- Gjuta bron
- Efterbehandling
- Provning



Figur 66 Visar planering av betongleverans efter stighöjd 1m/h som normalt används för dimensionering av stag och formsystem- det är sedan bara att komma överens med betongstation för optimalleveransplan som tar hänsyn till blandarstorlek eller transport.

Förberedande planering i tidigt skede:

- Att sprickanalys finns och följs
- Att värmekabel är påslagen i god tid om sådan används
- Att kommunikationen med betongleverantör är tydlig (vem som kör betongstationen just den dagen)
- Att betongpump har uppställningsplats och är i rätt storlek (obs ibland lång slang 8 m)
- Att betongbilar behöver bra väg, tvätt och deponiplats (gäller även pump och provningsbetong)
- Att reservstation och reservpump finns inom rimligt avstånd
- Att gjutprogram är upprättat och distribuerat (gjutprogram innehåller uppgifter om arbetsfördelning, material och utrustning). Det skall klart framgå vem som är ansvarig och sköter varje moment: vibrering, brygga, skura kantbalk, slang, glättare, täckning, formvakt, betongstation, provtagare
- Att det finns ett leveransschema med inlagt raster m.m. (Baserat på gjuttempo 1m/h vid normal formdimensionering)
- Att provtagare är bokad
- Att utrustning bokas till en dag innan gjutning för funktionskontroll och för att kunna dra sladdar m.m.

Ta emot betongen:

- Betongkvalitet c30-37 normalt på en gång och cykelbro vct 0,5 och vct 0,45 för salt i vägmiljö. Kontrollera följesedel så chauffören kört rätt.
- Det är lämpligt med konsistens S4 då det är ganska tät armering vid rambenet kan krävas s5 beroende på betong, väder, armering och leveranser.
- Sättnmätt under 100 mm bör kasseras
- Luft enligt förprov
- Lufthalter lägre än 3% riskerar underkänt frostprov och bör därför kasseras
- Lufthalter högre än 7,5% riskerar underkänt tryckprov och bör därför kasseras
- Lufthalt mätes efter pump (se till att pumpen inte står med högt upp och ner, då tappar betongen luft)
- Provtagning av luft och sättnmätt på de tre första lassen (upprepas igen efter 8 timmar)
- Formrivningsprover eller kontroll via betongdator för formrivning normalt (Stödjande form 20 Mpa och bärande form 27 Mpa)

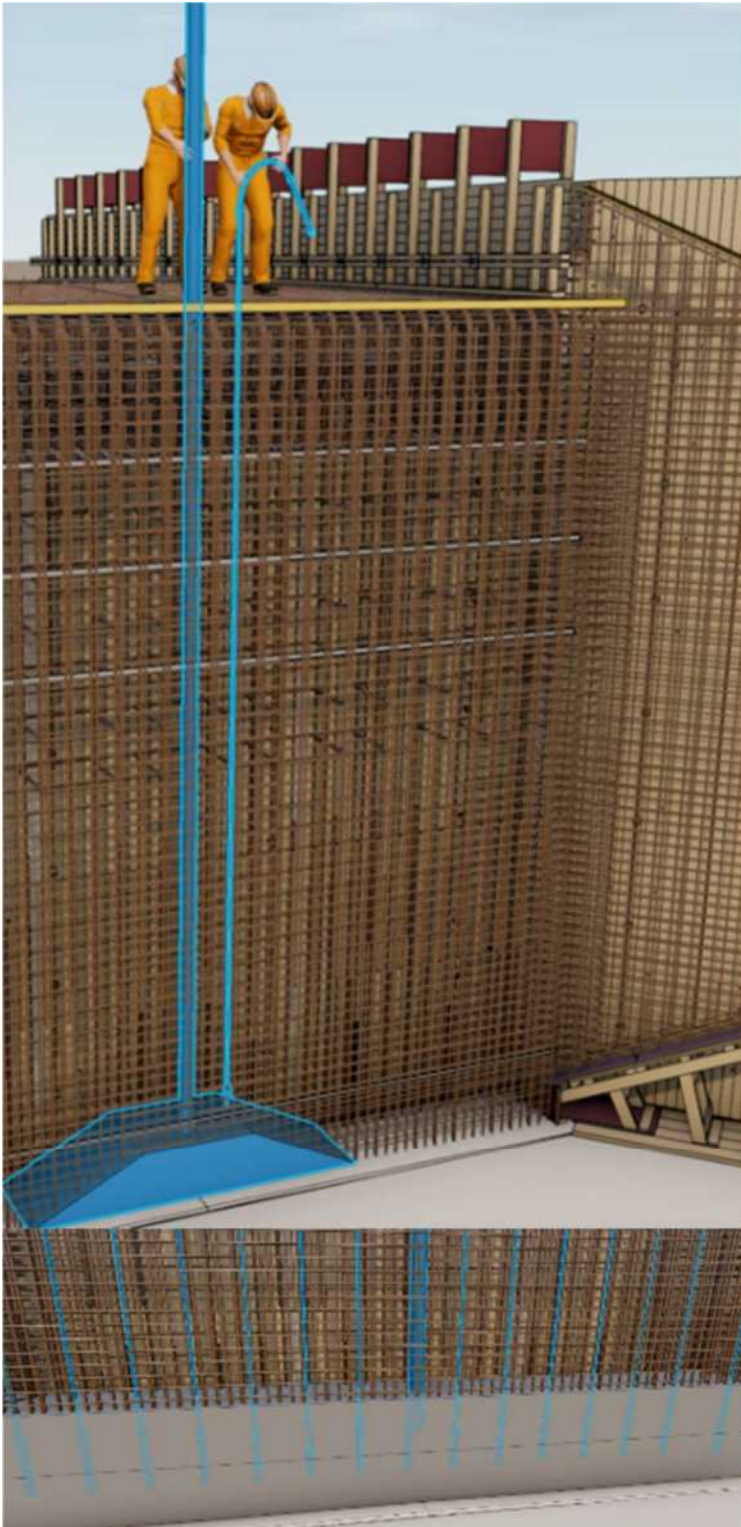
Dagen innan man gjuter bör man:

- Renhetskontroll
- Extra okulär armering
- Kontroll av gjutluckor
- Kontroll med BPU
- Kontroll av egenkontroll
- Fotodokumentation (både enkel överblick för att se renhet och armering samt detaljerade foton, t.ex. jordanslutning)
- Planering för extra väderåtgärder
- Kompletta telefonlista (även platschefen kan bli sjuk)
- Kontroll av utrustning

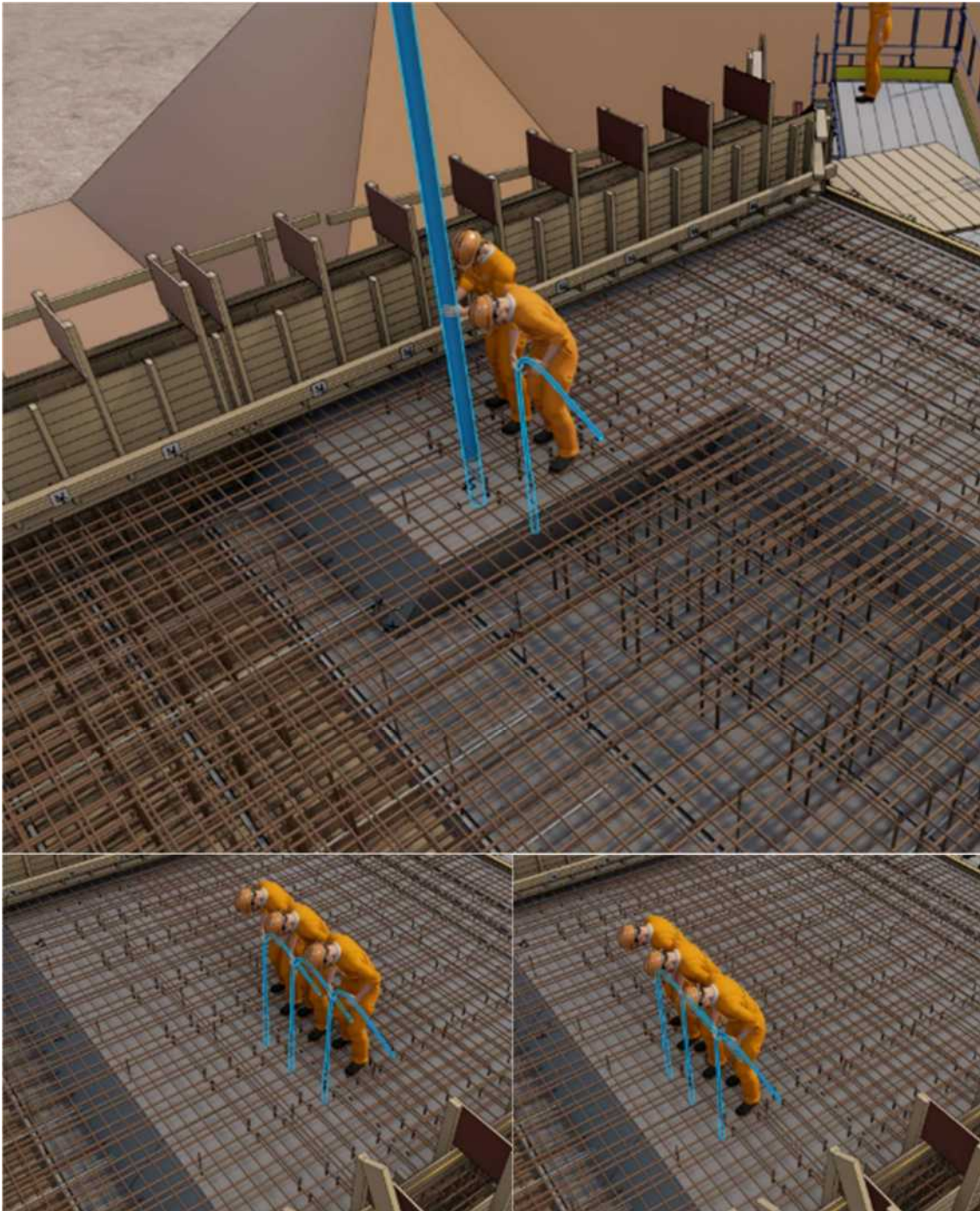
Gjuta bron:

Normal bemanning vid en sådan här gjutning är 8–10 man (en person kan ha flera uppgifter) Då man börjar behövs bara 1 man som kör slag och 3 man på vibro. När man kommit upp till underkant vinge behövs 4 man tills om kör lockning och detaljarbete på vingar och kantbalk. Sedan behövs 2 man till för att stötta de 3 som kör vibro, bygga samt sloda. När hela betongen kommit i så 4 man för att skura kantbalkar, överytan samt täcka bron.

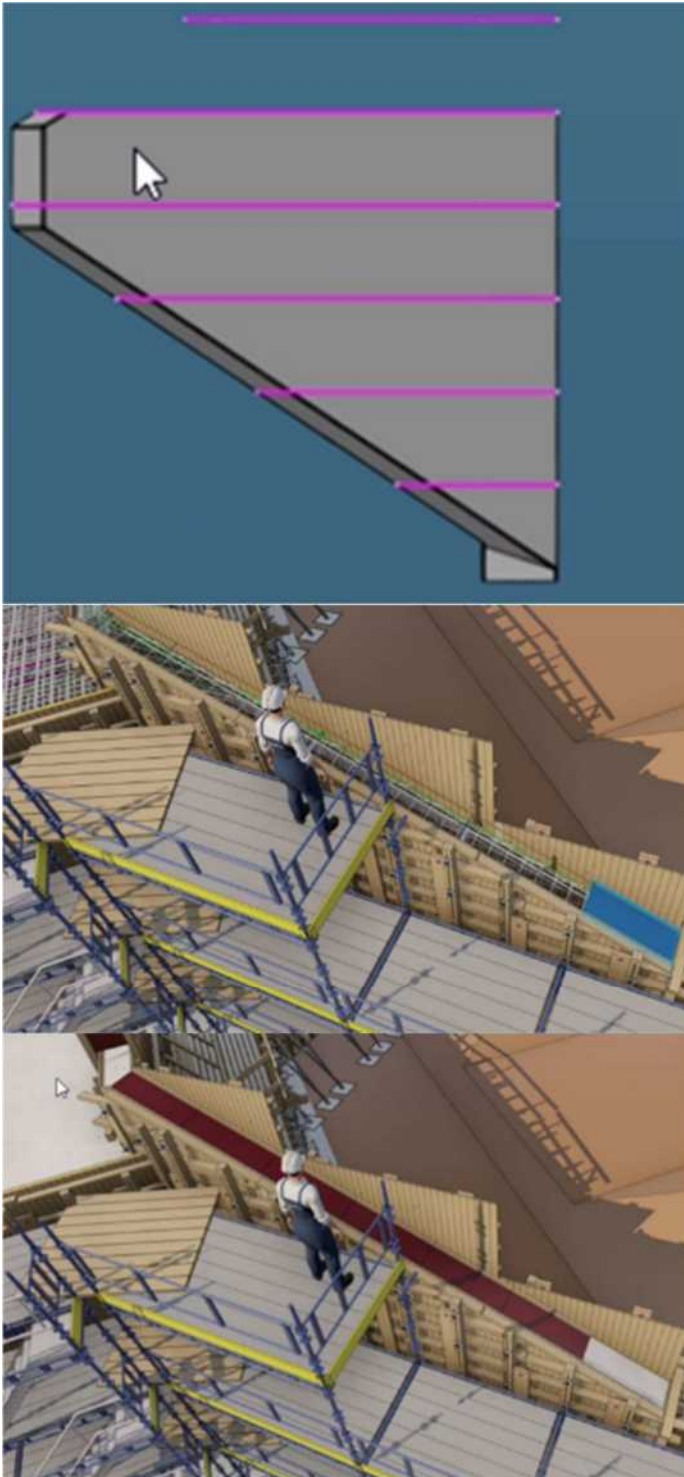
- Slang 1 man
- Vibro 4 man (i och med att det är största volymen som körs)
- Bryggor 3 man
- Sloda 1 man
- Glätta 1 man
- Skura 4 man
- Täcka 4 man
- Övrigt: mat, vatten, el, belysning
- Ramben/vingar 1m/h gjuthastighet
- Gjutuppehåll 1h när ramben är uppe (Bra att parera in rast eller att lägga lite på valvet så länge)
- Frontsystem på valv 2-3 pallar en topp. Håll igen ena rambenet lite för att få ett naturligt frontsystem från ett håll så att inte hela ytan öppen
- Ligg före med kantbalk för att möjliggöra bra vibrering.



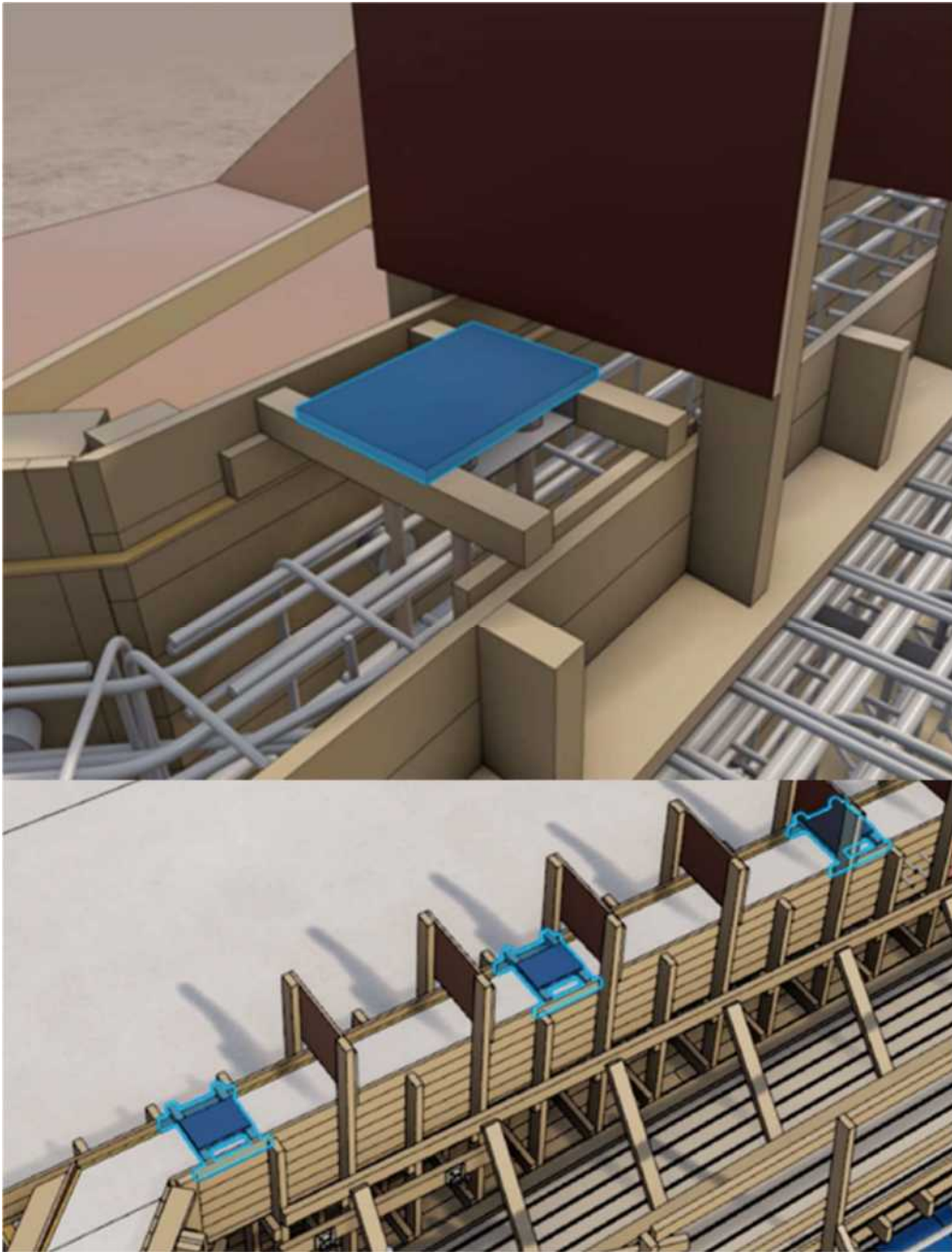
Figurer 67 visar att man följer med pumpen och detaljvibrerar betongen direkt och sedan systematiskt vibrerar ihop betongen med en fin sammangjutning. Ibland kan det krävas 3 man för att detaljvibrera direkt.



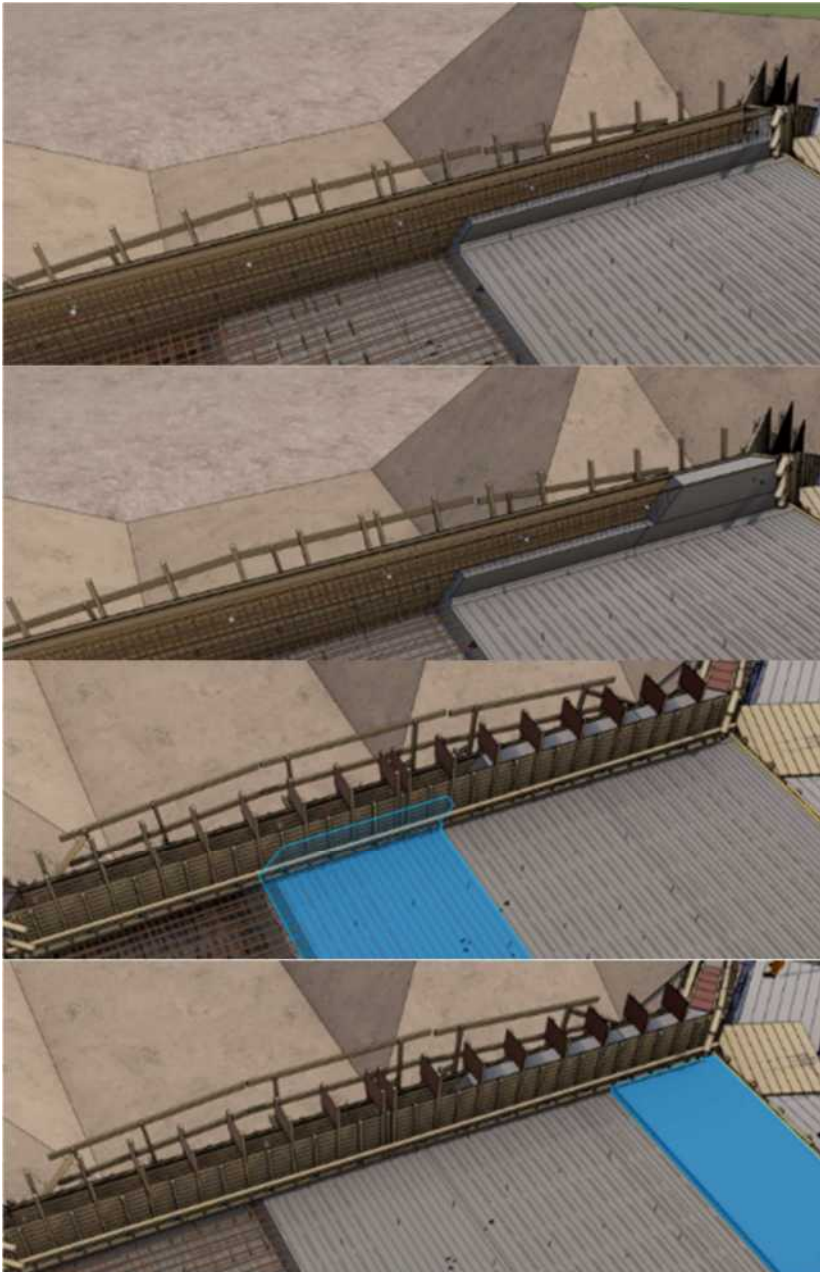
Figurer 68 visar hur man följer med pumpen och får betongen dit den sa med en gång. Nedan visas systematiskt vibrerar betongen. Vanligtvis 3 man som går parallellt och framåt etappvis tillsammans så man inte missar något.



Figurer 69 Visar lockning och detaljarbete vide gjutning vingar. Så fort man kommer till överytan på vingen är det dags att locka formen som sken stegvis för att underlätta gjutningen. När vingen är fyll med betong brukar det vara perfekt att öppna locket för att kunna slutföra skurningen på vingen. Det är sedan naturligt att dessa hantverkare fortsätter med kantbalken. Normalt behöver man två man på varje sida för lockning och skurning av kantbalk/vinge.



Figurer 70 Visar kantbalk med räckesinfästning som skyddas under gjutning. Det är viktigt att man inte monterar kantbalksprovens flaggor för lågt så att man kan skura bra och täcka kantbalken. Naturligt vis finns det många sätt att skydda och fixera räckesbultar.



Figurer 71. Visar hur kantbalk ligger före toppningen i farbanan så att man kan vibrera den och minimera blåsor. Det måste till ett frontsystem med olika pallar så det möjliggörs systematisk vibrering. Sedan gjuter man toppningen till sist justerar höjdnivån vid flytbrädan.

Härdningsprocess (täckning)

- Sprickanalys gäller. Normalt tar det 3–6 timmar från betongen är i formen tills det är skurat och täckt.
- Kallt väder: Plastfolie, vintertäckmatta, presenningar och vikter (till exempel reglar)
- Normalt väder: Plastfolie, presenningar och vikter (till exempel reglar)
- Varmt väder: Vatten, om det finns tillgång till vatten av bra kvalitet. Om det inte finns tillgång till vatten; plastfolie, presenningar och vikter (till exempel reglar)

Membranhärdare är fördelaktigt på våren om det är torrt och blåsigt (ej ok i AMA). Membranhärdare används ej för härdning, utan endast för att ytan inte ska tappa vatten innan betongen täcks,

6.4 Stål

Det finns inget annat material med så många möjligheter till materialval som stål. Stålbroar har olika EXE (utförandeklass) som styr provning, svetsare, verkstad och toleranser. Det som normalt ställer till det är att broar som har EXE 2 och korrosionsklass C5 blir inte bron men själva svetsen EXE 3 dvs själva svetsaren inte verkstaden.

- Balk och fackverksbroar är EXE 2
- Inspända, båg, häng och snedkabelbroar är EXE 3
- Infästningar för kablar eller dragstänger är EXE 4

6.4.1 Klassiskt kolstål

Det vanligaste materialet i fackverksbroar och mycket vanligt i de övriga brokonstruktionerna. Det är kostnadseffektivt i inköp och har mängder av olika styrkor. Det är naturligtvis dyrare ju starkare stålet är men det är även betydligt dyrare att arbeta med, då det kräver mer förvärmning. Stål med hållfastheten 460 MPA skall vanligtvis värmas upp till 140 grader under svetsprocessen vilket är bökigt. Speciellt utanför verkstaden. Där emot stål med 275 eller 355 MPA skall bara förvärmas till 100grader vilket görs ganska enkelt med gasol. Skall man komma upp till 140 grader så bör man använda värmemattor som drar massor av ström, Höghållfaststål har i regel lite mer CO₂/kg men aldrig så mycket att det betyder att inte är bättre än CO₂ tittar man rent på CO₂ så skall man alltid välja så starkt man kan. Däremot är det så att man behöver tjockleken av annat än just styrka skall man välja så lågt som möjligt.

6.4.2 Rosttröga stål (Corten)

Det har blivit populärt hos arkitekter att använda Corten i brokonstruktioner. Tyvärr passar det inte med nuvarande regler det är omöjligt att använda Corten i vägmiljö dvs där man saltar. Se kapitel om vägmiljö 6.2.2 vägmiljö. Det finns en bra guide som finns på nätet som stålbranschen gett ut för att främja användandet och hur man lyckas med Cortenbroar. ECCS-Design-Guide-Weathering-Steel-Bridges. Här kan man läsa hur olika länder ser på Cortenstål. Det finns även olika detaljlösningar som man skall tänka på när det gäller utformningen av broar i Corten. Här finns olika länders tolkning av hur man kan kompensera ståltjocklek för olika korrosionsklasser. I till exempel England så kan man använda Corten i korrosionsklass 4 om man kompenserar med 1,5mm stål som man tänker rostar bort. Just nu saknas bra regelverk för Sverige men det jobbas på det.

Table 3.2: Allowances for the loss of thickness for a design life of 100 years

Country [Guideline]	Allowances for the loss of thickness related to corrosion classification in EN ISO 9223 [44]				
	C1	C2	C3	C4	C5
Belgium [2]	-	0.11 - 0.8	0.53 - 1.2	1.05 - 1.5	not allowed
Germany [3]	-	0.8	1.2	1.5	not allowed
United Kingdom [8] (for 120 years)	0.0	0.5	1.0	1.5	not allowed
France [1]	not applicable	1.0	1.0	1.0	not allowed
Spain [4] (exterior elements)	1.0	1.0	1.0	not allowed	not allowed
ECCS recommendation for bridges	not applicable	0.8	1.0	1.5	not allowed

Figur 65 klipp från ECCS-Design-Guide-Weathering-Steel-Bridges tabell 3.2 som redovisar hur övriga länders regelverk på Cortenstål i olika korrosionsklasser.



Figur 72 (Foto Oskar Bruneby) Skovtorn utanför Köge Danmark är lite som en bro och ganska stort. Här får man en bra känsla för hur materialet ser ut.

6.4.3 Rostfritt Trafikverket

Det är bara vissa kvalitéer som klassas som rostfria Stålsorterna 1.4462, 1.4529, 1.4539, 1.4410 och 1.4547 enligt SS-EN 10088 får används i korrosivitetsklass C5 utan ytbehandling för korrosionsskydd. Alla andra skall ytbehandlas om inte beställaren angett annat. Ofta är detta ett problem med standardprodukter typ bult rör profiler där konstruktörer gärna anger 1.4436 dvs gamla ss 2343 men denna är inte godkänd enligt norm. Bultar A4 fungerar men är ej i någon godkänd kvalitet.

6.4.4 Rostfritt möjligheter

Det finns oanade möjligheter med att göra lite miljöanalys och använda kostnadseffektiva rostfria stålsorter med höghållfasthet och bra bearbetningstekniker. Detta kräver dock att beställaren gör ett byggherreväl. En bro med som utnyttjade denna möjlighet är gång och cykelbron över Sølvesborgsviken. Där gjordes en miljöanalys och togs ett beslut att man inte saltar bron som ligger över bräckt vatten. Med hjälp av rostfritt stål LDX 2101 C4 kunde mycket pengar och målarfärg sparas. Det är sedan möjligt att färga bron med lampor då det vita rostfria stålet är tacksamt med lagom reflektion.



Figur 73 (foto Oskar Bruneby) Bro över Sølvesborgsviken som har bågar och räcke i LDX 2101 som kommer att spara många kronor i underhåll jämfört med målat. Det är väldigt dyrt att måla på toppen av en båge i havet.

6.4.5 Konceptbro Sölvesborg SRMAB

Under tiden har fackverksbron utvecklats först var det generation med raka stående profiler på 60 och 70 talet. Från 80talet har började men luta de stående profiler med hjälp av bättre skärtekniker och materialsnålhet. Stål och rör montage tänker nästa generations fackverksbroar som bygger på att bygger bron med hela plåtar. Detta gör att det är lättare att robotisera svetsandet med lägre kostnader och med högre kvalitet.



Figur 74 Första generationen fackverks gång och cykelbro 60-70tal b Andra generationens fackverks gång och cykelbro c kanske 3dje generationens fackverks gång och cykelbro

6.4.6 Målning av stål

Målning av stål har ganska komplexa regler och moment och misslyckas ibland. Regler och metoder är lite bökiigt för en lekman att förstå. Det är naturligtvis viktigt att man har speciellt kompetent folk till detta och diskuterar i starten av ett projekt.

- Eurocode min 320my och minst 4 lager
- Trafikverket min 320my 5 lager och långtidstest färg Bohus Malmö (tar 4 år)
- AMA Alla lager skall ha olika färg och blästringsgrad SA 2,5
- Målningssystem C5 SIS-TS 44, SS EN ISO 12944-5

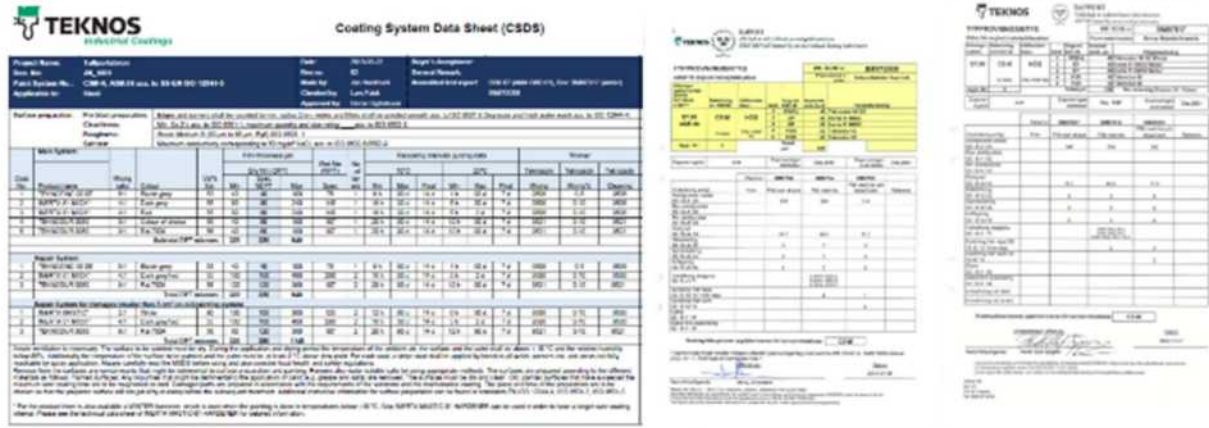
Tabell 1 – Rostskyddssystem enligt SIS-TS 44

Korro-sivitet	Rostskyddssystem beteckning	Ingående färgskikt			Totalt antal färgskikt och minsta total skiktjocklek
		Grundfärg	Mellanfärg	Täckfärg	
C3	TS44-RS1 ^a	1 x 60 µm ^a EP(Zn) ^b	1 x EP ^c	1 x 50 µm AY ^d	3 skikt min 200 µm
C4	TS44-RS2 ^a	1 x 60 µm ^a EP(Zn) ^b	1 x EP ^c	2 x 50 µm PUR ^d	4 skikt, min 240 µm
C5	TS44-RS3 ^a	1 x 60 µm ^a EP(Zn) ^b	2 x EP ^c	2 x 50 µm PUR ^d	5 skikt, min 320 µm
Im1-Im3	TS44-RS4 ^f	1 x 80-100 µm EP ^e	-	2 x EP	3 skikt min 600 µm

Anm Färgbeteckningar AY, EP, EP(Zn), PUR, är enligt SS-EN ISO 12944-5

Figur 69 Tabell Från SIS-TS 44 rostskyddssystem

Bro målning dokumentation CSDS och med tillhörande provnings intyg från Bohus Malmö. Det krävs Intyg med ved vanlig hårdare och vinterhårdare då man har svårt att bestämma temperatur vid på plats vid i tidigt skede. Dessa dokument bör gås igenom innan arbete startar så inga oklarheter finns innan jobbet startar.



Figur 75 CSDS från Tullportsbron Ängelholm med tillhörande Bohus Malmön rapporter.

För behandling P3. För att få bra vidhäftning och att inte kanter skadas behandlas stålet, Stålet blåstras till SA 2,5. Kanter och hål rundas till radie min 2mm. Notcher fasa till en tredjedel av tjockleken. Dvs har man en plåt som är 12mm så skall det var en fas på 4mm så man kommer åt med målarfärg.



Figur 76 (foto Oskar Bruneby) A Visar blåstring SA 2,5. B Visar väl utförda radier i hål på ett räcke C Visar fasing i en notch.

En målningsskarv mellan olika konstruktionsbitar måste planeras noga. Det går inte att bara slipa fram en lösning i de olika lagren. Detta är enskilt det största risken för korrosionsproblem under ett montagearbete på plats. Målningsskarvet med att gifta alla olika lager för att komplett system är komplext och tar tid med härdning.



Figur 77 (Foto Oskar Bruneby) Med följande bilder kan alla se hur en målningsskarv skall se ut i Sverige. 5 lager färg i olika kulör och detta kan enkelt förklara tidigt och synas redan på verkstaden.



Figur 78 (Foto Oskar Bruneby) Visar korrosionsproblem på en montageskarv vid Lillelangerbro Köpenhamn på montagskrav 9 år gammal bron byggdes 2009 foto 2018. Ett målningssystem som bra utfört klarar 30-40 år normalt.

För att uppnå 320my behöver håll, hörnor, bultförband och svetsar förstärkas med lite extra färg



Figur 79 (foto Oskar Bruneby) Fotot visa kompletterande penselstrykning på Tullportsbron Ängelholm 2018 i olika lager för att upp nå 320 my på alla ställen.

Vid val av glans och kulör styr man utseende. Gestaltare och broar har inte alltid förståelse av vilka val de gör och hur detta styr. Man kan välja mellan glans 7 (matt), glans 35-50 (halvmatt) Glans 65-90 (blank). Matt bör man undvika i underhållshänseende. Halvblank ger det bästa målningsresultatet och bättringsmålning på plats fungerar fint. Blank ger bästa underhåll men imperfektioner i grundstål och bättringsmålning syns. All form av metalliclack bör undvikas då målningsskarvar syns mycket och det är i princip omöjligt att bättra. Kulörer har olika utseende då de blir påverkade av solen med tiden. Mest påverkan har röd och blå som ganska snabbt tappar kulör. Grön och gul är lite bättre. Bäst är svart, vit och grå som bara tappar i gråskalan. Man skall dock tänka på att riktigt mörka färger och ljusa färger får är mer känsliga för smuts eller avgaser.



Figur 80 (foto Oskar Bruneby) Fotot till vänster visar att en blank kulör avslöjar stålets ytstruktur, det inte är som en bilplåt. Fotot till höger visar en metallic lack som är bättrad med exakt samma kulör men metallic kornen lägger sig olika.



Figur 81 (foto Oskar Bruneby) visar lite gamla normala brolösningar i Sverige som presenteras för att man skall få en känsla för hur det kommer att se ut efter ett tag.

Kostnadsjämförelse stålsorter

Det är helt omöjligt att generalisera och få enkla kilopris på stålbroar då det finns så mycket att ta i beaktning. Med lite diskussioner med olika stålbrons leverantörer har jag försökt göra lite guideregler som inte alls en någon exakt vetenskap. Generellt är ett enklare jobb passar ett enklare stål. En generell kostnad för ett smidesarbete är Ett kolstål med lite arbete och lätt att underhålla är kostnadseffektivt och ett komplext jobb med svårt att underhålla är rostfritt svårt ett bra alternativ. En styrande parameter är arbetskostnad.

Generell kostnad för arbetet hur mycket bättre det är att hållas maximalt av arbetet i verkstadsliknande miljö

- I verkstad 100% ca800kr 2024
- På arbetsplats med bra förutsättningar 140%
- Arbete på ställning med begränsade utrymme 200%
- Tillkommande arbete med ställningar kranar kommer dessutom till vilket skall jämföras med verkstadens travers som ingår i grundpriset

En kostnadsbild på en enklare stålbro kan se ut lite så här med stålpris typ 80kr/kg arbete i verkstad

- Stål från verk ca15kr/kg
- Beredning och tillverkningsritningar 10kr/kg
- Smidesarbete 40kr
- Målningsarbete 10kr
- Administration och vinst 5kr

En kostnadsbild på enklare i cortenbro eller rosttrögt ser det ungefär

- Stål från verk ca20kr/kg
- Beredning och tillverkningsritningar 10kr/kg
- Smidesarbete 45kr
- Målningsarbete 0kr
- Administration och vinst 5kr

En kostnadsbild på enklare rostfribro icke trafikversstandard typ LDX 2101

- Stål från verk ca55kr/kg
- Beredning och tillverkningsritningar 10kr/kg
- Smidesarbete 45kr
- Målningsarbete 0kr
- Administration och vinst 5kr

En kostnadsbild på en enklare bro i rostfritt Trafikversstandard C5

- Stål från verk ca105kr/kg
- Beredning och tillverkningsritningar 10kr/kg
- Smidesarbete 45kr
- Målningsarbete 0kr
- Administration och vinst 5kr

Vid jämförelser av underhållskostnader över tid är det absolut viktigaste hur svårt det är att måla eller tvätta bron. Det viktigaste är att man inser vad det kommer att kosta. Detta gäller speciellt lite avancerade broar. Vid

studiebesök av bro i Gelsenkirchen kunde man se vad ett underhållskulör kan kosta? Det kostade nog många miljoner att hålla den röda färgen fräsch!



Figur 82(foto Oskar Bruneby) Visar den asymmetriska bågbron i Gelsenkirchen Tyskland som målades byggdes 1997 och målades om 2013 med väldigt avancerade provisorier då bågarna är 36 meter höga.



Figur 83(foto Oskar Bruneby) Visar blå bron Kristianstad nymålade 2014 till vänster och till höger kulör 2024. Känslan är att blå och röd färg åldras sämst. Gul och grön klarar sig lite bättre, Bäst är kulör vit, grå och svart.

6.5 Träbroar

Träbroar har ett lite klumpigt/charmigt utseende med vissa utmaningar. Under tidigare år har det funnits specialiserade träbroleverantörer som Moelven och Martissons/Svenska träbroar. Just idag finns det ingen sådan. Där emot gör det en del träbroar som man får hitta limträ leverantörer själv. Moelven och Martissons finns ju kvar som företag och limträ leverantörer. De har däremot ingen organisation som bara håller på med broar. Man får alltså göra som vilken annan bro som helst. Innan utgick man från respektives leverantörs broar vid konstruktion. 2023 byggdes till exempel Haradalsbron i Ängelholm.



Figur 84(foto Ängelholms kommun) Visar hardalsbron över Rönne Å Ängelholm



Figur 85 (foto Tomas Födelius Moelven) Visar 4st träbroar från Moelven som ger lite svensk stuga med vita knutar känsla.

Träbroar är billigare och har sämre livslängd än övrigt bromaterial. Normalt räknar man teknisk livslängd på träbroar till 40 år. Detta kan man förbättra med att bygga in materialet med annat material och byta ut inteckningen i stället för själva bron och på det sättet förlänga den tekniska livslängden till 80 år. Ibland är den inbyggnaden tunnare trä eller tunnare plåt vilket innebär att man måste ha koll på den så man kan få förväntad livslängd.

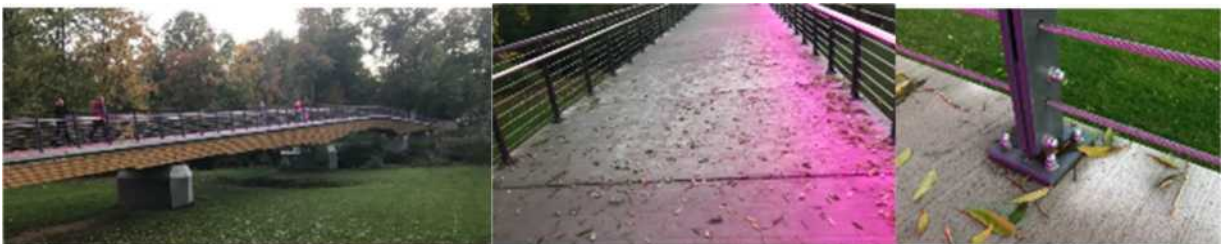


Figur 86 (foto Oskar Bruneby) Visar viskar delamination vid mindre bra inbygg bågbro vid Lundstation



Figur 87(foto Oskar Bruneby) Visar skador på skydd i träbroar som har konsekvenser för livslängden om de inte sköts om.

I Europa ha man börjat bygga inspända träbroar med litet prefabricerat betongelement som farbana och räckesinfästning. Detta verkar bli bra och ledande leverantör är Schaffitzel i närheten av Stuttgart.



Figur 88 (foto Oskar Bruneby) Visar Exempel från Tyskland där man kombinerar betong och trä på ett smakfullt sätt och har kanske löst träbroar problem som till exempel infästning räcke, beläggning och stabilt väderskydd.



Figur 89 (foto Oskar Bruneby) Visar bilder från studiebesök på Schaffitzel produktionslokaler samt check på ritningar under covidtider 2022. Herren på bilden är Jörg Schaffitzel som gav en fin guide.

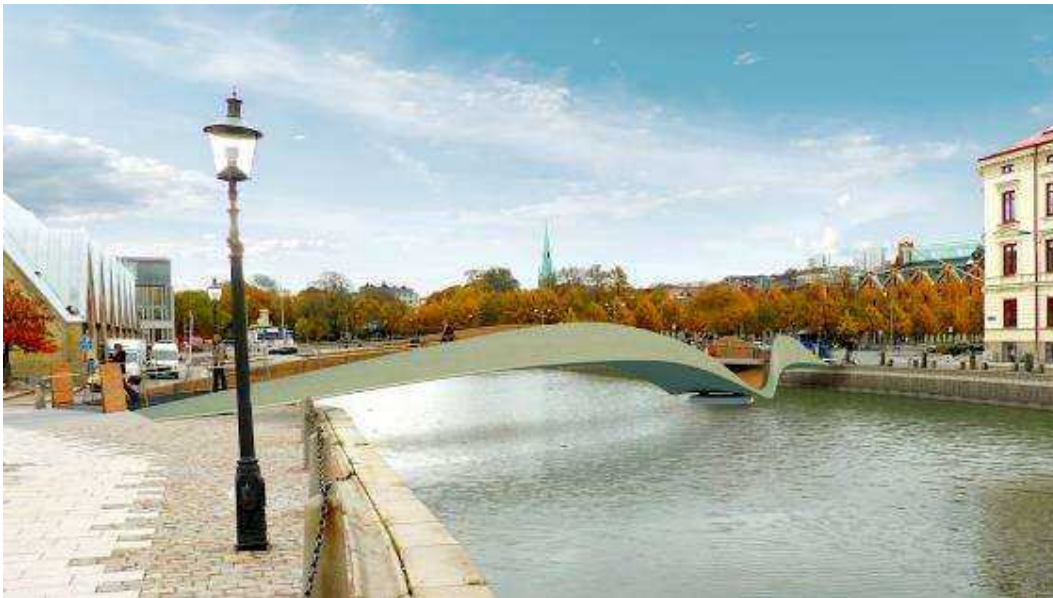
Schaffitzels inspända lösningar är materialsnåla och kan utformas med lite spännande geometri.



Figur 90(foto Oskar Bruneby) Studiebesök vid Stuttgarter holzbrücke spännvidd 38m bygga 2017 där man förenat betong platsgjutet, betong Prefab, och smidesräcke. Limträet är bara en del i brobyggandet. I Sverige har vi tidigare bar tänkt TRÄBRO.

6.6 Broar i FRP (fiber förstärkt plast)

Broar i FRP kan egentligen begränsas till 3 grupper Fibercorebroar, Fiberlinebroar och den enstaka eller speciella broar. Som vi alla vet har naturen och saltvatten svårt att bryta ned plast och detta är ju väldigt positivt om man tänker livslängd på dessa broar. En annan positiv sidan är att man kan styra väldigt mycket med fiberkvalitet och fiberriktning. Man kan styra strömledningsförmåga, styrka, E-Modul temperaturutvidgningskoefficient och utseende. Det är ju som vanligt det roliga kostar. Det finns just nu ingen norm för FRP broar utan kräver en byggherre med vilja. Det fanns en önskan i branschen att tänka lite FRP med bro Feskekörka för några år sedan men verkar dött ut nu. Malmö Har två FRP broar och gångbanedäck på en rörlig bro. Fiber och plast är ju en oljeprodukt men går att framställa med ligninet i träet som blir över vidmassatillverkning som idag eldas upp men då det inte finns någon industri så väntar vi på den. Det finns möjligheter med rörligabroar att utnyttja det lätta och temperaturneutrale FRP materialet för att kunna hålla ned kostnaden på maskineriet. Det finns även möjligheter att behålla äldre broar av stål som man renovera och öka bärigheten genom att göra far och gångbanan lättare med FRP tekniken. I Holland byter man klaffar i stål och betong till klaffar med stål och FRP på nästan alla klaffar man behöver byta.



Figur 91(foto Oskar Bruneby) Visar Rambölls visualisering av bron vid Feskekörka i Göteborg som man skulle introducera ett nytt spännande material i Sverige. Det är svårt att introducera en ny teknik utan normer och ett utseende med mycket utmaningar.

6.6.1 Fibercorebroar

Fibercore är Europas ledande tillverkare av FRP broar och har sina fabrikslokaler i Holland. Att just Holland är världsledande på fiberbroar beror på att vissa städer bara vill ha fiberbroar över vissa kanaler där man helt enkelt ibland lyfter bort bron för att transportera något speciellt på kanalen. Kanalbroarna är lätta att återanvända på andra ställe vid samhällsbyggnad. Det finns många olika typer av broar i deras sortiment men det är ju en utmaning med logistik på en större bro till Sverige. Fibercore jobbar med återanvänd plast och på det sättet blir det bra co2mässigt men det är plastens motståndskraft och låga driftskostnad som ger helheten. Beställarmässigt är det bara att tänk att man köper en produkt som fungerar och att det inte finns normer som fungerar i Sverige.



Figur 92(foto Fibercore) Visar ett axplock ur Fibercores produktion. Lite klumpigare ön stål svårt att skarva på plats och fabrik i Holland innebär viss utmaning i logistik. Det salt resistent materialets möjligheter. Kostnaden är ungefär samma som en rostfri bro.



Figur 93 (foto Oskar Bruneby) Det finns en Fibercore bro i Malmö som byggdes 2018 och vid snabbare inspektion 2024 kunde inga synliga problem konstateras.

6.6.2 Fiberline broar

Fiberline är ett företag i Danmark som producerar spända profiler i FRP. Det finns en del broar i Europa som är producerade med Fiberline profiler. Det finns en snedkabelbro utanför Köpenhamn och det finns en Bågbro bro i Spanien. Fördelen med profilerna är att de är superoptimerade väldigt starka och lätta. Nackdelen är att det blir lite lego plockepinn. Vid platsbesök synades bron i Köpenhamn den 28 år gamla bron kunde inga skador hittas. Dock verkar de blåa stagen blekta något men förmodligen mindre än motsvarande målat stål.



Figur 94 bilder från Fiberline där man får en känsla av legosystemet med bultar. Som en gammal järnvägsbro. Vid studiebesök konstateras att bron verkar fullständigt intakt efter 25 år.

6.6.3 Unika och speciella FRP broar

Det finns en del unika FRP broar som bygger på teknik från bil, flyg och vindkraftsindustrin. Bro 254 i Malmö sattes i gång av Malmöstads nyfikenhet på det underhållsfria materialet och lokal fiberkompetens kompositbroar bildades som med hjälp av Composite design i Malmö och Marstöms som för detta projekt bildade kompositbroar. Kompositbroars för hoppning var att de skulle kunna hjälpa till och förverkliga bron som Göteborg ville ha. Det är svårt att bygga något utan ett bra normsystem och mycket kompletterande provning behövs göras. Tittar man på Bro 254 så blev det en bra bro och kostnadseffektiv men det berodde på att merparten av människorna som arbetade med projektet jobbade ideellt. Även Kockums provningsverkstad hjälpte till. Under utvecklingen av byggmaterialet fann man att bron skulle bli en bongotrumma och material att fylla den undersöktes. Just på denna bro stannade vi vid lättbetong som blev enkelt att hantera vi färdiga bitar vid autoklaverna (en trycktub med värme). Kort sagt är det svårt att vara kostnadseffektiv med system utanför normen.



Figur 95 (Foto Oskar Bruneby). Visar Sveriges enda kolfiberbro



Figur 96 (Foto Oskar Bruneby). Visar provnings av olika samverkanssystem vi utveckling av kärnmaterial då konventionella inte var kostnadseffektiva vi denna volym.



Figur 97 (Foto Oskar Bruneby). Visar provkroppar och provning av traditionella prov som frost tryck och brand



Figur 97 (Foto Oskar Bruneby). Sammanfogning av kärna i lättbetong och bygge av sidor i kolfiber



Figur 98 (Foto Oskar Bruneby). Applicering av övriga lager



Figur 99 (Foto Oskar Bruneby). Bakning av balk i autoklav och nedböjnings test på färdig balk



Figur 100 (Foto Oskar Bruneby). Sammanfogning samtliga komponenter till en bro. Balkar limmas samman. beläggningsarbete med sand inblandad Polyrea, Räcke och detaljarbetet vid övergång.

7. Detaljer

Broar blir inte bra broar förrän man gjort en helhet. Det finns en del detaljer på broar so måste till för en helhet.

- Räcke
- Beläggning
- Lager
- Avvattning
- Belysning
- Bänkar

7.1 Räcke

Räcken på gång och cykelbroar har grund krav att de skall var 1400mm vid cykeltrafik och 1200mm vid gångtrafik. Internationellt nöjer man sig med 1000mm för denna brotyp oavsett trafik. Gångbroars gallergrind eller nätram brukar vara 900mm hög och handledare sitter på 900mm. Dimensionerande laster brukar var 100kg folklaster per meter och 400kg/m² snösprutslast från snöplogen. Här kan man göra byggherreval om man tycker att snösprutslasten inte är relevant på en liten bro i södra Sverige. Det ett krav att man skall ha ett bult system infäst räcke som inte skadar huvud konstruktionen vid på körning.

Det är klok att göra lite byggherreval redan i start

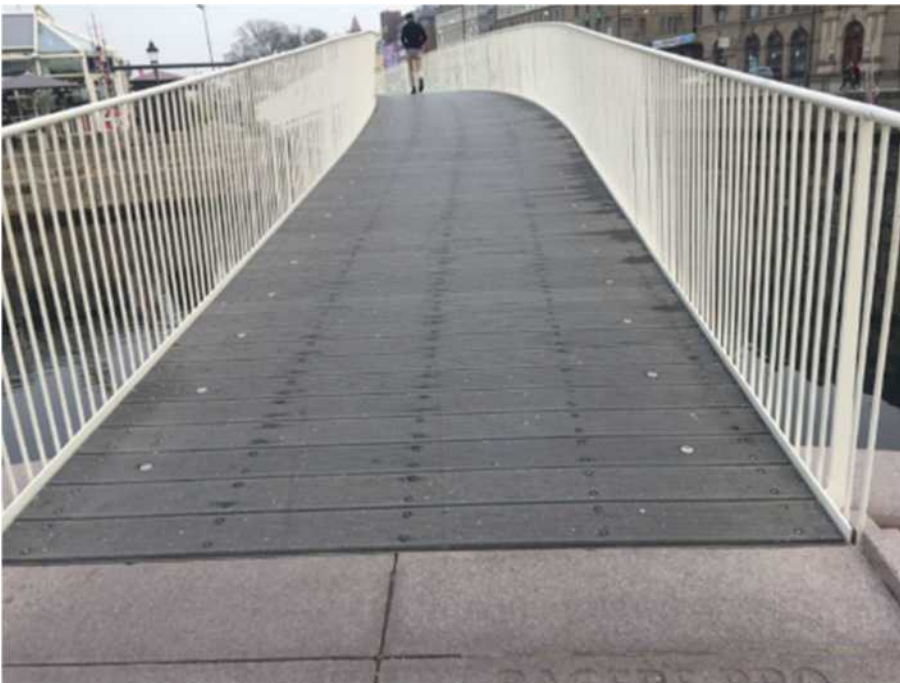
- Skall räcke vara ce märkt
- Skall räckesstolpen ha 4 infästnings punkter.
- Skall räckets ha rostfria infästnings bultar.
- Nätram , gallergrind, vajer eller typ Hammerglas.
- Järnvägsspecifica räcke (elskydd).
- Gestaltungsönsknningar
- C4 eller C5 även om det är miljöklass som kräver C5 så är det vanligt med galvaniserat som är C4



Figur 101 (foto Oskar Bruneby) Exempel på CE-märkt räcke. A visar räcke med höjd 1400mm för cykel. B Visar 1200mm förgångtrafik. Detta kostar ca 4000kr/m



Figur 102 (foto Oskar Bruneby) Räcke 1200mm med lite fantasi Kaptensbord kostnad typ ca 16 000kr/m



Figur 103 (foto Oskar Bruneby) Räcke som dallrar. Riktigt tunna profiler som gestaltare ibland önskar sig kan ibland bli lite dallriga vid normal dimensionering. Är man intresserad av just denna typ av räcke så måste man göra en mock-up eller kolla på ett befintligt räcke av motsvarig sort så man kan säkerställa det. Man skall inte glömma att en av räckets funktioner är att man skall känna sig säker.



Figur 104 (foto SRMAB) SRMAB konceptbok med Hammer glass 4000 kr /m² bro Södertälje



Figur 105 (foto Oskar Bruneby) A nätramar Banverket maska bro Landskrona, B gallergrindar bro Varberg. Båda broar över E6 och 1400mm höga som ger lite fängelsekänsla 2000kr/m²



Figur 106 (foto Oskar Bruneby) Nät typ Carl Stahl mech finns i lite olika material och storlek på maskorna. Det sys fast på plats och det är linjen på det man ansluter till och hantverkskänslan som styr resultatet 2000kr/m²



Figur 107 (foto Oskar Bruneby) Just räcke finns det hur många varianter som helst just här en bro i Oberhausen som har gallerduks räcke



Figur 108 (foto Oskar Bruneby) Vajerräcke med infästning av räkesstolpe med kupolmuttrar



Figur 109 (foto Oskar Bruneby) Blanda inte material i onödan A och B Travallgarvasbroan Köpenhamn med många material och rostangrepp efter 3 år. C Tullportsbron bara i galv efter 5 År.



Figur 110 (foto Oskar Bruneby) Under studie av gångbroar kan man konstatera att ca 30% av gångbroar har defekter på räck så robusthet och service är viktigt.



Figur 111 (foto Oskar Bruneby) Visar handledare i trä som ger en mjukare känsla men burkar inte ha så lång livslängd då trä och stål rör sig olika vilket gör att skruvar dra ut med tiden och vilket krokmar



Figur 112 (foto Oskar Bruneby) Visar att det krävs detaljlösningar vid övergångskonstruktionen



Figur 113 (foto Oskar Bruneby) Visar träräcke på träbro Pomona Ängelholm och normsystem tillåter inte detta då man kräver livslängd 80 år på ett räcke men går att ändra med ett byggherrebeslut.



Figur 114 (foto Oskar Bruneby) Visar att det brukar missas med övergångar i räcke och kanske inte helt optimalt, träbro Pomona Ängelholm.



Figur 115 (foto Oskar Bruneby) Viskar bron örnvinge i Köpenhamn. Räckes avslut och räcke med lite fantasi

7.2 Beläggning

Den veckligt avgörande för gångbrons komfort är bronsfriktion och klonkighet (det låter när man går). Det är knepiggt att man inte har något riktigt krav den kanske viktigaste funktionen. Det finns standarder för landningsbanor för flygtrafik och mätmetoder som används där och det finns krav på Gång och cykelbana med asfalt eller grus.

Kraven på friktion enligt Trafikverkets regelverk gäller hela vägbanan, även beläggningsskarven.

"För vägbanan, gångbana och cykelbana med bundet slitlager ska medelvärdet av friktionstalet på en 20 m sträcka vara $\geq 0,50$. Friktionstalet ska bestämmas enligt VMB 104, alternativ 2."

Objekt nr	Plats	Beläggning	Friktion	Stdavv.
1	Raul Wallenbergs plats	Asfalt	0,78	0,05
2	Malmborgsgatan	Hällar NS5	0,65	0,04
3	Malmborgsgatan	Smågatsten huggna NS2	0,65	0,11
4	Malmborgsgatan	Smågatsten sågad flammad NS2	0,58	0,06
5	Malmborgsgatan	Storgatsten i betong NS3	0,60	0,14
6	Stora Nygatan-Södergatan	Hällar	0,60	0,04
7	Stora Nygatan-Södergatan	Marmorplattor på kvartersmark	0,51	0,06
8	Engelbrektsgratan	Smågatsten sågad flammad NS2	0,59	0,08
9	Engelbrektsgratan	Hällar NS5	0,60	0,03
10	Engelbrektsgratan	Smågatsten huggna NS2	0,58	0,10
11a	Universitetsbron, längd	Träbeläggning	0,62	0,08
11b	Universitetsbron, tvärs	Träbeläggning	0,53	0,07
12	Bo01 Sundspromenaden	Glasstavar	0,40	0,07
13	Bo01 Sundspromenaden	Trästavar	0,51	0,05
14	Davidhalls torg	Klinkerplattor	0,73	0,07
15	Davidhalls torg	Betongplattor	0,80	0,08
16	Carl Gustavs väg	Blåfärgad cykelöverfart	0,88	0,05

Figur 116 och Klipp från friktionsmätning Malmö stad Anna Knaschat och VTI Mätteknik. Här kan man se att trä ligger farligt nära redan som torr och ren.



Figur 117 (Foto Oskar Bruneby) Tullportsbron med 5% lutning en vinterförmiddag. Trä kan vara ett ok som materialval till beläggning men aldrig i en stad. Det är alltid mer halt än andra material även om man kan räffla det

Trä beläggningar

Trä beläggningar på broar är det överlägsets billigaste och kan kosta så lite som 400kr/m² med billig form av tryckimpregnerat sedan går det på en skala med olika träslag till riktigt dyra regnsskogsträd som man nog skall undvika



Figur 118 (Foto Oskar Bruneby) lite olika träbeläggningar. Det är alltid bra att lägga virket med sur gubbe fiberriktning som syns på nedersta bilden. Skall man lägga brädorna tvärs körriktningen kan man välja bredden på planken men skall man lägga de längs så skall man välja typ max 150mm och montera de tajt blöta för att få bästa möjliga cykelkomfort.

Asfaltsbeläggning

Asfaltsbeläggning är ett naturligt val av beläggning på betongbroar. Det är notoriskt svårt vid träbroar. Det är för tungt för att vara optimalt för stålbroar och broar av FRP. Normalt bygger man upp asfaltsbeläggning med 5mm isoleringsmatta och sedan 45 mm juster och skyddslager AG. Där efter toppar man med 45 mm asfalt med 8 sten för maximal cykelkomfort.



Figur 119 (Foto Oskar Bruneby) Plattamar med beläggningsarbete som är 30 år till vänster och 20 år till höger och verkar kunna håll lång till dessutom verkar det bra vid övergångarna mellan bro bank.



Figur 120 (Foto Oskar Bruneby) Asfaltsbeläggningar på typ 20 år gamla träbroar som också har problem vid bortslut med övergång som inte klarar sig utan grusskifte som man kan tro.

Gjutasfalt

Gjutasfalt användes ibland på stålbroar och träbroar. Gjutasfalts feta yta är hal och men man kan välta in chip-sten så det blir lite bättre men fungera bara så där över tid. Belägger man träbroar med gjutasfalt så är det viktigt att lägga den i två tunnare lager för att inte värmebildningen skall generera blåsor.



Figur 121 (Foto Oskar Bruneby) Asfaltsbeläggningar på typ 20 år gamla träbroar som också har problem vid bortslut med övergång som inte klarar sig utan grusskifte som man kan tro.

Betongbeläggningar

Betongbeläggningar kan man också använda och används främst på betongbroar. Det finns koncept på trä och stålbroar där man lägger olika Prefab element i betong som körbanan. Betongen är lite hal efter skurning. Normalt borstar man den för att få önskad friktion.



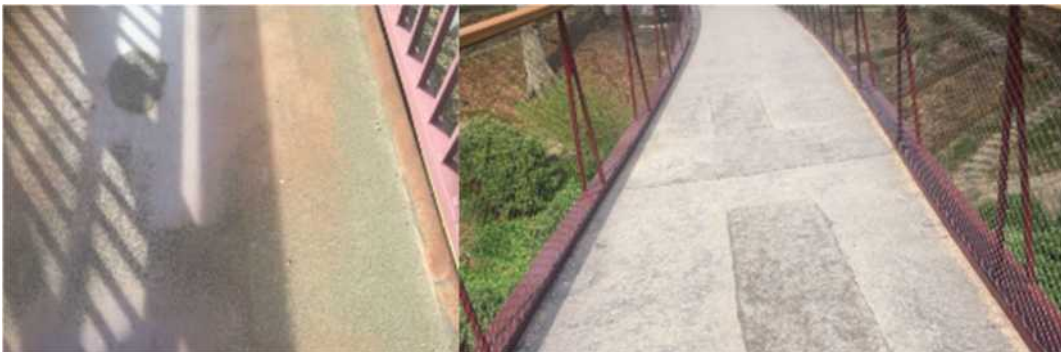
Figur 120 (Foto Oskar Bruneby) Kaptensbron gjordes enligt arkitektens önskingar helt slät och mönster för att dölja sågsnitt för rörelser. Efter att tag kunde man konstatera att den tänkta ytan inte var lämplig och stål kulblästrade yta och friktionen bra.

Akrylat och plastbeläggningar

På stålbroar och FRP broar är det vanligt med akrylat och plastbeläggningar. De är lätta, De kan oftast göras färdiga i samband med målning i verkstad och med väl vald sten fraktioner mycket bra friktion. Våra normer säger att en gång och cykel broa skall ha 6mm tjocklek akrylat. Då materialet är ganska dyrt per kilo så vill man gärna snåla lite på det. Det kanske inte varit klart enligt tidigare normer men många gånger är det inte ens 3 mm och då klarar det inte ens en burnout av en el scooter. Inder projekteringen med varvsbron undersöktes det nogga och man fann att man fick en helt annan kvalitet, komfort och hållbar het med 10mm tjocklek på materialet som var värd merkostnaden. Det



Figur 121 (Foto Oskar Bruneby) Det är nästan helt gränslöst med kulör och sten möjligheter. Friktionen bör vara god men inte bättre än man klara att trilla utan att skrapa sig helt. Det är sedan bar att utforma hörn rundade för enklare



Figur 122 (Foto Oskar Bruneby) Exempel på för tunn beläggning till vänster och till höger exempel spä hur svårt det är att skarva plastbeläggningar snyggt och man inte sätter en rostfri list.



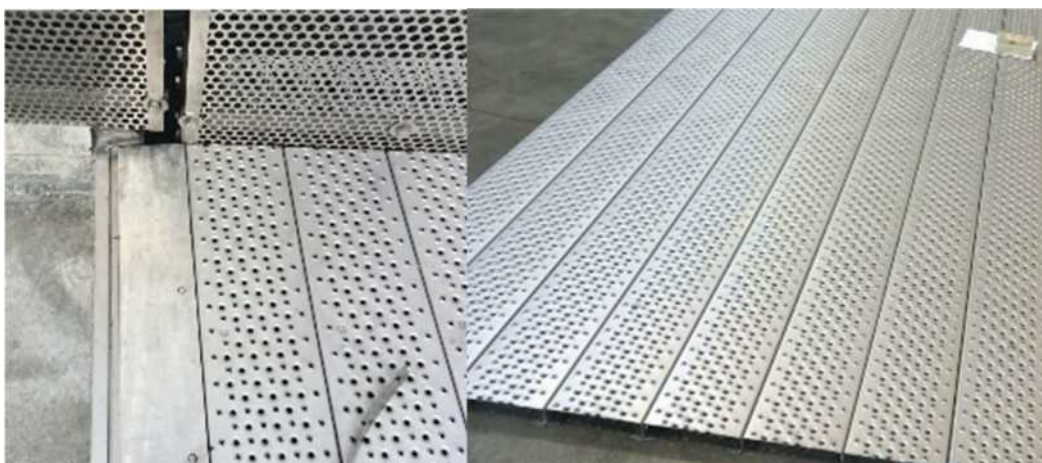
Figur 123 (Foto Oskar Bruneby) Beläggning varvsbron 10 mm tjock och glad beläggningentreprenör gör slutfinish.

Andra varianter på beläggning

Ibland få beställare och arkitekter idéer på alternativa beläggningar. Glas fungerar inte! vill man kolla lite på Ponte della Costituzione bridge Venice som hade glasbeläggning. Det är för halt och repas snabbt . man kan bygga farbana i komposit plank som är för hala. Man kan bygga beläggning med galler durk det är problem med kacklar infästningar och nivåskillnader. Man kan bygga beläggning med räfflade stålprofiler.



Figur 124 (Foto Oskar Bruneby) Visar durkplåtsbro som säkert har reducerad punktlast som byggherreval



Figur 125(Foto Oskar Bruneby) Visar Meisner hålade profiler i rostfritt som har reducerad punktlast som byggherreval

7.3 Lager

De enda brotyperna som inte behöver något lager i betong och stenalvsbroar. Ibland kan det vara en gummiremsa ibland måste det vara ett riktigt CE märkt lager från tex Tobe. Det är viktigt att lagret är horisontellt. Det går naturligtvis att bygga lager som lutar men detta är dyrt dumt och svårt och bör undvikas i det längsta. En lagers funktion är:

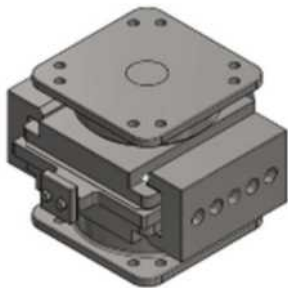
- Brygga över temperaturrörelser
- Ta hand om deformationer
- Lösa materialgräns
- Vara utbytbar och service vänlig



Figur 126 (Foto Oskar Bruneby) Visar till vänster lager med stålplåt med tappar gummidyna och till höger visas lager med gummidyna och teflon



Figur 127 (Foto Oskar Bruneby) Visar till vänster CE Märkt Tobe lager som tar upp lutning i övre plåten. Till höger visas ursparning för lager.



Figur 128(Foto Oskar Bruneby) Visar lager som kan ta upp lyftkraft. Detta lager kostar typ 10 gånger mer än ett vanligt lager så kan man designa lager utan lyftkrafter är detta en god idé.

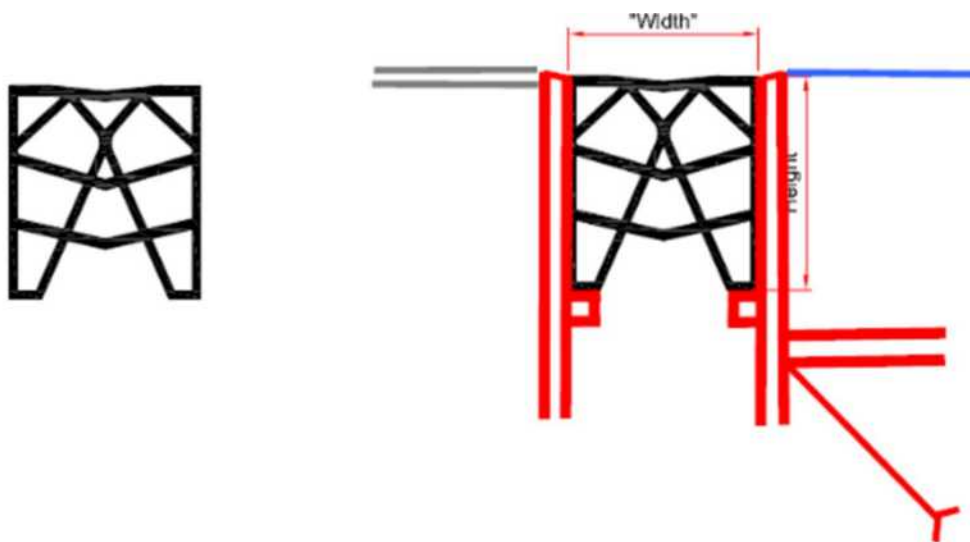
7.4 Övergångskonstruktioner

De enda brotyperna som inte behöver någon övergångskonstruktion är plattramen och ändskärmsbron i betong. Andra fogar än enkel gummi fog eller enkel gummi fog typ WA skall ha objekts specifik ritning. Det är viktigt att kontrollera att kramlor från ev tänkt fog inte kolliderar för bra funktion och montage, En övergångskonstruktions funktion är:

- Brygga över temperaturre rörelser
- Ta hand om deformationer
- Lösa materialgräns
- Vara utbytbar och service vänlig
- Andra fogar en enkel plåt eller gummi fog skall ha objekts specifik ritning.
- Får inte sticka upp (brukar sänkas ned 3mm)

7.4.1 Enklaste fogen är en WA Profil

WA Profilen som finns i lite olika leverantörer exempel vis ACME, Maurer och Maegba. Denna fog sättes i rostfri 10mm plåt smide enligt skiss nedan, fog typen är enkel att underhålla och byta. Fog typen behöver ingen enskild ritning och går bra att beskriva i text där emot behöver smides infästningen ritas. Denna fog är vanlig mellan betong och smide. Fogen har begränsad rörlighet, används vi broar kortare än 50m och vid normal eller låg trafikbelastning



Figur 129 a tvärsnitt på en WA profil b Smides plåtar som krävs för att denna skall fungera.

7.4.2 Ribbad matta typ TENSA®MAT Type RM, det finns flera tillverkare.

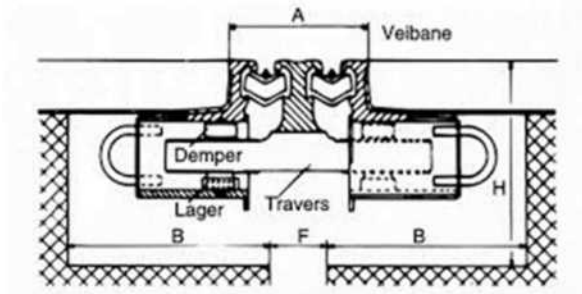
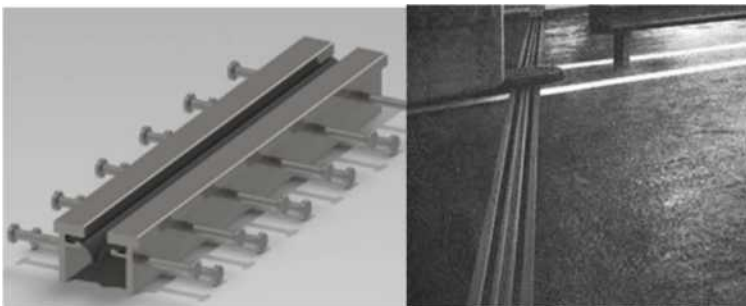
Mattfogen är egentligen en stålkonstruktion som med en gummimatta på toppen. Denna fog har den absolut bästa komforten då den är slätast och gummi mattan har bra friktion. Denna fog används på längre broar med hög trafikbelastning och är ganska mycket dyrare än övriga fogar. Fogen kan användas mellan olika material men det är ganska böikigt och dyrt. Fogen behöver egen ritning



Figur 130 a ribbad matta (Mageba) b ribbad matta vid montage (Mageba)

7.4.3 Klassisk fog typ Tensa-lastic

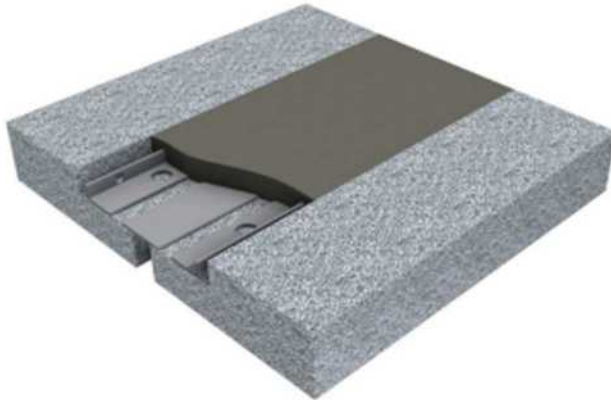
Denna fogen används normalt på broar med betong överbyggnad och beläggning av asfalt. Fog typen finns i enkel och dubbel variant beroende på brolängd. Fog typen är väldigt vanlig på vägbroar och finns nästan alltid på broar som är kombinerade bil och gång och cykelbroar.



Figur 131 a bild (maurer)enkelfog, b foto (Spennteknik) dubbelfog i bro, c skiss(Spennteknik)dubbelfog

7.4.4 Fogar med elastiskt material typ Thormajoint

Denna fog används normalt inte i Sverige på gång och cykelbroar. Fog typen används internationellt och är bra på kortare längder med hög slitstyrka och jämnhet borde vara idealisk som fog i en gång och cykelbro. Detta borde vara ett bra SBUF projekt att titta på användning för fogar med elastiskt material inför våra stora järnvägsbygge i Sverige med till exempel stations broar.



Figurer 132 a (Mageba) skiss, b (Mageba) verklighet

7.4.5 Egen unik fog

Många gånger är det svårt att hitta en standard fog som faktiskt passar det man önskar sig. Då får man helst enkelt bygga en egen fog rörelsen på den rörligasidan är ca brolängden x 0,6mm plus 30mm dvs då blir fogrörelsen på en 20m bro . $20 \times 0,6 = 12\text{mm}$ plus 30 dvs 42mm. Naturligt vis krävs detta konstruktör med man kan börja tänka lite själv. Naturligt vis måste den var nedsänkt 3mm



Figur 133(foto Oskar Bruneby) a, b, c och d, Från vänster a Nedföst i ädelträ tullportsbron Ängelholm. b Ned frästa enkelplåtar i vinkeländring Bro Sölvesborg. c hel vik plåt med gångjärn under Sofias broa Helsingborg, d Delade vikplåtar på rörlig gcbro Gdansk.

7.4.6 Enklaste fogen en bockad durkplåt

Ibland gör man det bara enkelt och struntar i normkrav på att den skall vara nedsänkt 3mm. Man tar en durkplåt svetsar en läpp på undersidan så att man kan fästa den och låter den sedan sicka upp och det fungerar men man får gupp. Detta passar mindre träbroar som har lågtrafik.



Figur 134 a och b Foto (Oskar Bruneby) Bro Pomona Ängelholm b Travllgravsbron Köpenhamn

7.4.7 Avancerade fogar

Det finns massor av fogar som används väldigt sällan i gång och cykelbroar om det inte är en större kombinerad gång och cykelbro här ett axplock



Figur 135 a,b,c och d foto (Mageba) a Fectt fog, b swivvel fog, c sinus fog, d finger fog

7.5 Belysning

Gång och cykelbroar brukar vara lite landmärke och förses ganska ofta med funktions och effektbelysning. Belysningen behöver matchas för hur det lyser på övrig miljö. En bro som ligger i en stad behöver mer effekt för att inte upplevas som mörk och farlig och en bro i ett mörkare område behöver mindre effekt. Vid lite längre broar är det kostnadseffektivt att sätta in sensorer som slår av och på belysningen för att spara ström. Broar som har bänkar behöver speciell belysning för att man skall kunna utnyttja den bra. Belysning som är svår att byta bör ha två armaturer så att man kan byta med ett snabbt ingrepp i elskåpet. Naturligtvis har man begränsade möjligheter med mörka färger och cortenstål. Man har stora möjligheter att styra mycket med dagens LED teknologi med APP styrningar som möjliggör att man kan göra bron röd till jul.

Men enkelt kan man dela upp belysning i tre grupper.

- Stolpar eller punkter
- Belysning i ränna
- Effektbelysning

7.5.1 Belysning stolpar

Normalt belyser man gång och cykelvägar med stolpar ca vart 40de meter och så kan man naturligtvis göra på broar med, Ibland föredrar man att ljuset kommer uppifrån. Normalt har kommuner egna system och regler för belysningsstolpar. Det finns hur många leverantörer som helst och man kan bygga en egen lampa eller tillsammans med en leverantör.



Figur 136 (foto Oskar Bruneby) Visar standardbultinfästning Carolibron Malmö Belysnings stolpe som är lite hög Sölvesborg. Lysande kuber på bro i Düsseldorf.

7.5.2 Belysning i räcke



Figur 137 (foto Oskar Bruneby) Broar som är mer lampor än broar. Överst bro entré Malmö live. Under bro i Duisburg Tyskland som har belysning under slasskivorna som lysas upp, tänds och släcks medan man går var dock svårt att fotografera.



Figur 138 (foto Oskar Bruneby) räckesbelysning HLS LED puckar. Till vänster LED puck i handledare i en ganska ljus miljö och de bländar inte rullstol och barn. Till höger i en mör miljö där har man en lägre effekt och sätter LED puck i toppföljaren 1400mm upp.

7.5.3 Effektbelysning

Det finns många kreativa sätt att förgylla tillvaron som ljusdesignen men generellt är det bra att sätta ljuskällor på servicvänliga ställe. Det är trevligt att belysa långa och höga saker som pelare, bågar och pyloner underifrån. Det ger en lyftande känsla. Man vill sedan sätta pricken på i för att få helheten. Just denna lampa brukar var dyr och svår att serva och ha fågelbekymmer.



Figur 139 (foto Oskar Bruneby) Belysning i toppen på Varvsbron är det dyrt att byta lampa och har problem med måsars spillning, detta löstes med dubbla lampor med dubbel matning och fågelskydd.



Figur 140 (foto Oskar Bruneby) Kaptensbron förena effektbelysning och funktionsbelysning på ett trevligt sätt.



Figur 141 (foto Oskar Bruneby) Bro över Sölvesborgsviken har ett trevligt system men med lägre effekt som passar där.

7.6 Avvattning

Alla broar utom broar med trä beläggning behöver avvattning. Korta plattramar i betong lager med horzontal radie kan ha vanliga brunnar i anslutning till bron. Broar i betong och bredare stål broar är det bra att utforma bron med bombering för att minimera kommande vattenpölar och begränsa risken för halka. Det viktigaste är att man har en klar idé hur man behandlar avvattningen innan man starar bygga. Ett dåligt placerat avlopp kan påverka både livslängd och gestaltning.



Figur 142 (foto Oskar Bruneby) Visar broar som inte haft tillfredställande plan för avvattning. Man kan säga att askkopparna kom lite lågt!

7.7 Bänkar

I stadsmiljö så skall vill man bänkar på broar för att man inser att det är en trevlig miljö, speciellt om bron är över vatten. Just bänkar på en bro blir nästan alltid dyrare än man tror då det skall inopereras i normsystem och belysning bro Malmö live har bänkarna till och med högtalare.



Figur 144 (foto Oskar Bruneby) Visar 3d fräst form, färdig bänk i betong. Bänk i återbruk material Kockums Malmö.



Figur 145 (foto Oskar Bruneby) Visar bänk med högtalare och bänk med geometrier, lampor, elskåp och wifi.

8.

Design

Framtid digitalisering, industrialisering och slutsatser

Gångbroar är och förblir nog den brotypen med mest tyckande och vilja i och saker som tillhör en gång och cykelbron och man kanske bör diskutera lite mera ur en ingenjörns synvinkel. En ingenjörns huvudtanke är hur, hur gör man, hur dimensionerar man, hur optimerar man och hur prissätter man, Inte vad, Vad är beställaren och arkitekten vill ha.

- Arkitektur
- Digitalisering produkter
- Möjlig prefabricering
- Modeller och mock-ups

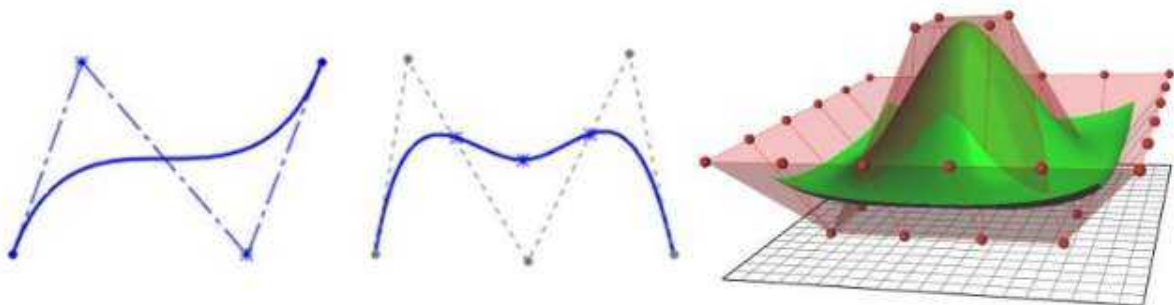
8.1 Arkitektur

Det blir så väldigt mycket enklare om man kan hålla sig till byggbranschens grundgeometrier som har ganska enkel matematisk beskrivning

- Raklinje
- Radie
- Klotoid (övergångsradie)

Det blir lätt idag att man använder sig av datorer som handlar att man använder datorgenererade geometrier som gör det enkelt i datorn men svårt i verkligheten. Dubbel och trippel kurvat skall man också försöka undvika om man inte vill ha extrema kostnader. Det finns säkert broar där arkitekten kräver detta men då detta är mycket kostnadsdrivande bör man som beställare undvika detta, problem med produktion och underhåll är nästan omöjligt att undvika på dessa geometrier. Det är även väldigt stökigt att hantera överhöljningar i olika broar som inte har grundgeometrier

- Splines (punktgenererad linje)
- Curves (punktgenererad kurva)
- Nurbs (punktgenererad yta med hjälp av några punkter)
- Dubbelkrökt (ett båtskrov)
- Trippelkrökt (en buckla)



Figur 146(wikipedia)Enkelt beskrivning att man med punkter och låter en dator skapar geometriska former som man har väldigt svårt att tillverka. Det finns liksom inga mallar eller enkelt sätt att till exempel beskriva eller kontroll mäta. Till vänster splines, i mitten curves och till höger nurbs.

Det går naturligtvis att bygga med datagenererade ytor till exempelvis form och plåtarbete. Det är svårt att fånga komplexiteten i kalkyl och anbudsfasen. Det är även svårt att få med sig kravlutningar och radier som finns i normer.



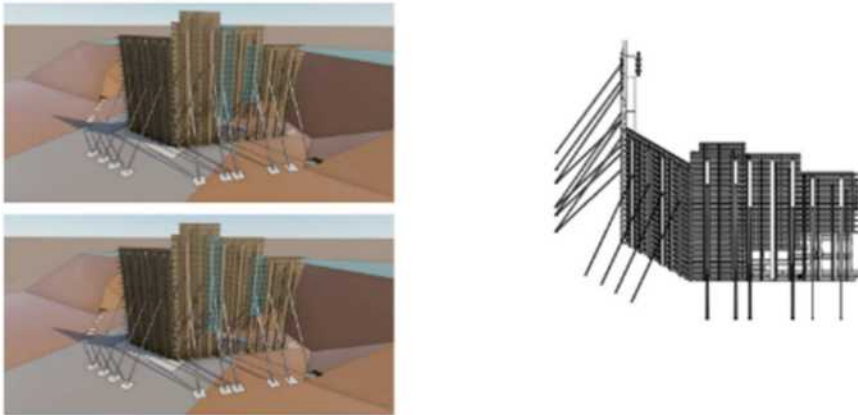
Figurer 147 skisser från Varvsbron hanterade plåtar som var datogenererade med avancerade plåt förändringar från verkstad till montage och sedan uppspanning. Först den datogenererade geometrin sedan kompensera för deformationer i montage och uppspanning. Detta genererade en knepig geometri som vi bröt ned till mått från ett vridet plan och sedan mätpunkter varje 500mm för tillverkning och kontroll.



Figurer 148 (foto Oskar. Bruneby) Visar koniskt elliptiskt fundament som krävde stor insats att bygga och ca dubbel kostnad per m³ mot ett fundament som kunnat beskrivits med normal geometri. Det blir fint men man bör se över geometrin för kostnadseffektiviteten.

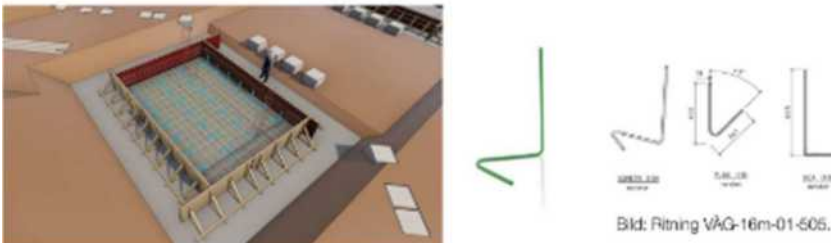
8.2 Prefab och industrialisering

Just nu pågår ett projekt inom funktionell gestaltning (Trafikverket centralt och Norrbottenabana) med standardbroar som utgår från järnvägens extrem låsta geometri. Det är förkontrollerade broar som har en checklista på tex geoteknik och laster mm denna möjlig gör standardkomponenter i form och armering vilket skall vara lätt att applicera på plattor för gc-trafik för kommande stora järnvägsbygge. Det skulle var möjligt att ta fram ett standard landfäste för lätta broar också med vissa tillägg så att man ha samma form och armeringskomponenter för en träbro eller i balks bro.



Figurer 148 Visar formsystem i lösform med kompletta ritningar till Standardbro VÄG 16m 01. Med detta kan man flytta produktionen från gruset till en fabrik med hydrauliskt arbetsbord där man kan duscha dag 1.

Monteringsarmering, typ kråkfötter/norskar.



Figurer 149 (foto Oskar. Bruneby) Visar enklaste armeringsdetaljen som skulle kunna komma direkt från armeringsleverantör och på det sättet minska etableringskostnaden. Skall man verkligen behöva ha klipp och bock på en arbetsplats med bra handlingar.

8.3 Modeller och mock-ups

Vid olika former av lite mer avancerad gestaltning kan det vara bra med lite olika former av mock-ups det är ju svårt att prissätta vid anbud vilket man löser med att sätta pris. Det kan vara en god ide för beställaren att skriva i anbudet att mock-up för tex bänkar för 50 000kr och sedan reglerar man och man får med den i tidplanen.



Figurer 150 (foto Oskar. Bruneby) Visar mock-up bänk och räcke



Figurer 151 (foto Oskar. Bruneby) Visar modell och för bättrad veklighet Bro Malmö live

8.4 Nu, framtid och Inspiration

Med framtidens utmaningar med miljö och att främja cykeltrafik. Drömmen med co2 fritt stål och betong. Träbroar med långlivslängd, kolfiberbroar gjorda av ligninet i trä. En värld utan oljeberoendet. Under en lång tid har gångbroar studerats i detta projekt. Det enda som blir klart är att man bör välja gångbro efter situation underhåll samt tänkt livslängd. Det är där emot säkert att vi behöver titta lite utanför Sverige för att förbättra vår kompetens. Många resor och ett stort intresse 4 ställe identifierats i Europa som under lång tid jobbat för gång och cykelbroar. Det finns även en tysk hemsida som har engelsk version som man kan söka broar i geografi med. Medlem gratis men vill man ha extramaterial kostar den någon krona men är väldigt bra. www.structurae.net. Europas ledande seminarie på gång och cykelbroar heter footbridges och senast var i Madrid 2022 och nästa gång skall hållas i Chur, Switzerland in 2025. Det finns väldigt mycket information på Youtube då världens ledande tekniker och arkitekter på gång och cykelbroars seminarie från dessa konferenser. I slutändan handlar det om att förändra våra städer och landsbygd till en bättre och trevligare miljö.



General Information		
Other name(s):	Graaf Aardsingel Footbridge	
Beginning of works:	January 2012	
Completion:	December 2013	
Status:	in use	
Project Type		
Structure:	Rigid frame bridge with V-shaped legs	
Support conditions:	for registered users	
Function / usage:	Bicycle and pedestrian bridge	
Material:	Steel bridge Structurae Plus/Pro - Subscribe Now!	
Plan view:	Structurae Plus/Pro - Subscribe Now!	
Location		
Location:	Nijmegen, Gelderland, Netherlands	
Coordinates:	51° 51' 50.15" N 5° 51' 29.99" E	
<input type="button" value="Show coordinates on a map"/>		
Technical Information		
Dimensions	Cost	Materials
main span		60 m
total length		120 m
span lengths		30 m - 60 m - 30 m
number of spans		3
bridge surface		699 m²

Figurer 152 (Klipp från www.structurae.net) lite hur det ser ut när man söker på www.structurae.net man har läget och storleken på spannlängd mm lite som en bygg Wikipedia som alla hjälper till och bygga.

Plaster där man jobbat strukturerat med cykeltrafik.



Figurer 153 (foto Oskar. Bruneby) Ruhr området som representeras av Tiger and turtel bron som är som en berg och dalbana.



Figurer 154 (foto Dissig+Weitling) Köpenhamn Bicycle snake Nordens första cykelmotorväg.



Figurer 155 (foto Oskar. Bruneby) Amsterdam Världens första rostfritt 3d utskrivna bro



Figurer 156 (foto Oskar. Bruneby) Stuttgart Trump bridge

Litteraturföretäckning:

Förklaring:

Merparten av informationen kommer ifrån hantverket och dialoger med människor som varje dag arbetar med broar. Massor av studiebesök. Försök att få med all möjligheter en gångbro har och att det är svårt att gå utanför normen. Materialet är inte vetenskapligt verifierat via studier som man skall kunna göra och ganska populärvetenskapligt skrivet. Dessutom har det gjort djupdykningar var finns möjligheter att rätta till fel då vill man ha hjälp att få bra underlag men inte hänga ut någon.

Normsystem:

- Trafikverkets ändringar och tillägg till AMA Anläggning 23, TDOK 2023:0125
- AMA Anläggning 23
- Lokala teknikföreskrifter (just specifikt Malmö stads teknisk handbok har används mest)
- ECCS-Design-Guide-Weathering-Steel-Bridges
- Målningssystem C5 SIS-TS 44, SS EN ISO 12944-5

Böcker:

- Betong & Armeringsteknik. Thomas Almgren m.fl. Göteborg/Stockholm 2018. Version 2020-02-15.
- Pedestrian Bridges: Ramps, Walkways, Structures Andreas Keil 2013

Rapporter:

- Friktion VTI_2006 ANNA K

Hemsidor och nätinformation:

- www.structurae.net
- www.Wikipedia.com