

Bærekraftige betongkonstruksjoner

Reduksjon av klimagassutslipp ved bygging av
Statens Vegvesens betongkonstruksjoner

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 428



Tittel

Bærekraftige betongkonstruksjoner

Undertittel

Reduksjon av klimagassutslipp ved bygging av Statens Vegvesens betongkonstruksjoner

Forfatter

Norconsult, Ketil Søyland et al.

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

605066

Rapportnummer

Nr. 428

Prosjektleder

Lise Bathen

Godkjent av

Hedda Vikan

Emneord

Betong, klimagassutslipp, bærekraft

Sammendrag

Rapporten omhandler hvilken effekt konstruksjonsvalg har på klimagassutslipp. Det er foretatt sammenligninger av dagens klimagassutslipp med 1990-nivå. Rapporten gjennomgår konsekvenser av forskjellige valg. Det er konkludert med at det er mulig å påvirke et prosjekts klimagassutslipp i alle planfaser.

Title

Sustainable concrete structures

Subtitle

Reduction of greenhouse gas emissions from constructin of concrete structures in NPRA.

Author

Norconsult, Ketil Søyland et al.

Department

Roads Department

Section

Tunnels and Concrete

Project number

605066

Report number

No. 428

Project manager

Lise Bathen

Approved by

Hedda Vikan

Key words

Concrete, greenhouse gas emissions, sustainability

Summary

Impact of construction choices on greenhouse gas emissions are adressd in the report. Comparisons of today's greenhouse gas emissions have been made at the 1990 level.

Consequences of different choices are discussed . It has been concluded that it's possible to influence greenhouse gas emissions in all phases.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Bærekraftige betongkonstruksjoner

Reduksjon av klimagassutslipp ved bygging av
Statens vegvesens betongkonstruksjoner



Oppdragsnr.: 5176077 Dokumentnr.: NO-RAPP-001 Versjon: B
2017-12-21

Oppdragsgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Oppdragsgivers kontaktperson: Hedda Vikan og Lise Bathen
Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder: Ketil Søyland
Fagmedarbeidere: Christer Wolden, Christopher Garmann, Daniela Bosnjak, Oliver Berget Skjølsvik, Trygve Isaksen og Martin Hallberg.

B	2017-12-21	Endelig	Ketil Søyland	Christopher Garmann	Ketil Søyland
A	2017-12-01	Til gjennomlesning hos oppdragsgiver	Ketil Søyland	Christopher Garman	Ketil Søyland
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

Norconsult AS har på oppdrag fra Vegdirektoratet sett på hvilken effekt konstruksjonsvalg har på klimagassutslipp. Det er også gjort vurderinger med sammenligninger av dagens klimagassutslipp med 1990-nivå. Vurderingene ser spesifikt på klimagassutslipp som en del av miljø- og bærekraftsbegrepet, selv om en rekke andre miljøpåvirkninger kan påvirkes av valgene som gjøres.

Nasjonal Transportplan 2018-2029 spesifiserer en målsetning om å redusere utslippet av klimagasser med 40 %, fra bygging av samferdselsinfrastruktur. En vesentlig del av dette vil kunne oppnås ved å stille krav til bygningsmaterialene, som i hovedsak er betong, stål og asfalt, men det er også store besparelser å hente ved å redusere materialbruken i prosjektene.

Rapporten gjennomgår konsekvenser av forskjellige valg som gjøres i et prosjekts liv, med hovedvekt på betongkonstruksjoner. Det tas utgangspunkt i Håndbok N400 *Bruprosjektering*, men mye av det som er beskrevet i rapporten vil være gyldig for all prosjektering som gjøres i Statens vegvesens regi. Det er konkludert med at det er mulig å påvirke et prosjekts klimagassutslipp i alle planfaser, men at størst effekt oppnås dersom prosjektet har en klar målsetning om å vekte klimagassutslipp og energiforbruk ved valg av løsninger helt fra konseptfase til detaljprosjektering og bygging.

I rapporten gis det eksempler på hvordan klimagassutslipp kan vurderes i tidligfase/forprosjekter, og at slike vurderinger vil være verdifulle ved evaluering og valg av endelig konsept. Rapporten oppsummerer hvilke systemgrenser og forutsetninger som ligger til grunn for vurderingene. Det er også utarbeidet utkast til en liste over definisjoner som Vegdirektoratet kan bruke i sitt videre arbeid.

I rapporten er det viet mye oppmerksomhet til lavkarbon-betonger og aspekter knyttet til bruken av disse. Forutsatt god planlegging i forkant og underveis i byggeprosjektene, vil det være mulig å anskaffe lavkarbonklasse B med SV-Standard betong i alle regioner. Det er også konkludert med at det i store deler av landet vil være mulig å produsere lavkarbonklasse A med SV-Standard betong uten å spesifisere en lavvarmebetong.

Nest etter betong er stål, og spesielt armeringsstål, den største kilden til klimagassutslipp i forbindelse med byggearbeider. Det vil utgjøre et vesentlig bidrag til reduksjon av klimagassutslippene dersom det spesifiseres at det skal benyttes resirkulert stål. I dag er det mulig å stille krav om 99% resirkuleringsgrad på armeringsstålet.

Et annet vesentlig bidrag vil være å redusere mengdene av de forbrukte byggematerialene. Tverrsnittdimensjoner og armeringsmengder kan optimaliseres ved at det legges mer arbeid i dimensjoneringsarbeidet, og ved at mer avanserte beregningsmetoder tas i bruk. I rapporten er det konkludert med at mengdene kan reduseres betydelig. Det er gitt et eksempel på en portalkonstruksjon der det er gjort en sammenligning av en typisk rammeberegning med en mer avansert beregningsmetode. I eksempelet dokumenteres det en innsparing på 33% armering i tillegg til fordeler knyttet til enklere armeringsføring og bedre utstøpning.

Det er en generell konklusjon at både det å stille krav til byggematerialene og å optimalisere/reducere mengdene normalt vil gi god kost-nytteeffekt for vanlige prosjekter. Bruk av prefabrikkerte konstruksjoner eller annen optimalisering av tverrsnitt vil normalt gi kostnadsbesparelser for prosjektet.

Sammenligninger av dagens utslipp med utslippene i 1990 er forbundet med stor usikkerhet, spesielt på grunn av mangel på dokumentasjon for utslippsfaktorer for referanseåret. Det kan dokumenteres relativt store besparelser på enkelte områder, og det viktigste er reduserte utslipp ved stålproduksjon og bruken av resirkulert stål. Endrede krav til betongoverdekning, større trafikklast, større vekt på drift og vedlikehold samt endrede krav til veggeometri gjør direkte sammenligninger vanskelig.

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Generelt	6
1.2	Systemgrenser	6
1.3	Potensiale for redusert klimagassutslipp	7
1.3.1	Utslipp fra materialbruk	7
1.3.2	Mengdeavhengige utslipp	8
1.3.3	Målsetting og arbeidsmetode	8
1.4	Klimagassberegninger	9
1.5	Generelt om levetid	10
1.6	Utvikling av utslippsfaktorer over tid	10
1.7	Definisjoner	11
2	Planfaser og konstruksjonsvalg	14
2.1	Planfaser	14
2.2	Konstruksjonsvalg	14
2.2.1	Klimagassutslipp som del av beslutningsgrunnlaget	14
2.2.2	Plasstøpte og prefabrikkerte konstruksjoner	20
2.3	Konstruksjonsutforming	30
2.3.1	Bruer og arkitektoniske betraktninger	30
2.3.2	Portaler og landskapsmessige betraktninger	38
2.4	Tiltak i byggefasen	44
3	Optimalisering av løsning og metode	46
3.1	Konstruksjonsoptimalisering	46
3.1.1	Bruk av avanserte beregningsverktøy	46
3.1.2	Vektreduserende utsparinger	48
3.1.3	Utnyttelse og detaljering av armering	49
3.2	Forskalingsystem og byggemetode	50
3.3	Dimensjonerende brukstid	51
3.3.1	Bruer	51
3.3.2	Kaier	52
3.4	Levetidsforlengelse og rehabilitering av eksisterende konstruksjoner	52
3.5	Industrialisering	54
3.6	Redusere mengde overbetong	55
3.7	Resirkulering av materialer	56
4	Materialvalg	57

4.1	Betong	57
4.1.1	SVV betong- og karbonklasser	58
4.1.2	Materialsammensetning for å redusere klimagassavtrykket	60
4.1.3	Framtidig utvikling	62
4.1.4	Beregnet utslippsfaktor for betong i 1990 og ekstrapolert frem i tid	63
4.2	Stål og armering	64
4.2.1	Resirkulert stål	64
4.2.2	Beregnet utslippsfaktor for stål i 1990, samt diverse grader av resirkulert stål i dagens marked	64
4.2.3	Alternativer til armering i stål	65
4.3	Beregnet utslippsfaktor for asfalt i 1990 og i dag	65
4.4	Sensitivitet ved materialvalg	66
4.5	Effekt av endrede materialutslipp på et brusystem	66
5	Vurdering av kost-nytte-effekt	67
5.1	Forventede kostnader og utslipp	67
5.2	Betong	68
5.3	Armering	68
5.4	Materialforbruk	68
6	Muligheter for endringer i regelverket med tanke på reduksjon av klimagassutslipp	69
7	Anbefalinger	71
7.1	Målsetting og planfaser	71
7.2	Materialer og konstruksjonsvalg	71
7.3	Dokumentasjon og verktøy	72
7.4	Dokumentasjon og vurdering av utslippsfaktorer for 1990 og fremover i tid	72
8	Referanser	74

1 Innledning

1.1 Generelt

Samferdselssektoren bidrar med en betydelig andel av Norges samlede utslipp av klimagasser. For å nå nasjonale mål og innfri internasjonale forpliktelser, har inntil nå først og fremst tiltak for å redusere utslippene fra person- og godstrafikken vært vektlagt: elektrifisering av kjøretøy, innfasing av biodrivstoff etc. I den siste nasjonale transportplanen (NTP) er det satt som mål å redusere utslippene fra bygging og drift/vedlikehold av samferdselsinfrastrukturen med henholdsvis 40 % og 50 % innen år 2030.

Arbeidet med klimabudsjetter for bygge- og driftsfasen for samferdselsprosjekter viser at det er de store mengdene betong og armering som utgjør den største delen av klimagassutslippene. For å nå bransjens mål til klimagassreduksjon, er det viktig å velge materialer som er produsert så klimavennlig som mulig. Særlig er bruk av lavkarbonbetong og resirkulert stål viktig. Men for å nå de ambisiøse målene må det også gjøres tiltak for å redusere materialforbruket. Dette kan gjøres gjennom forbedrede planprosesser, optimaliserte løsninger med mer avanserte beregningsmetoder og bedre drift av byggeplassen. Vedlikehold og utskiftninger må ses i et livsløpsperspektiv.

Norconsults oppgave var ifølge kontrakten med Statens vegvesen (Vegdirektoratet) delt i to: Del 1 skulle omhandle konstruksjonsvalg, og del 2 reduksjon av klimagassutslipp. Ved kontraktsinngåelse ble de to delene sett under ett. Det falt derfor også naturlig å behandle begge temaene under ett i den foreliggende rapporten, uten en egen oppdeling.

Det er lagt vekt på helheten i valgene som gjøres for de enkelte konstruksjonene. I rapporten gjennomgås muligheter for optimalisering av konstruksjonene med tilhørende byggemetoder for å redusere klimagassutslippet. Det er vurdert hvilke kilder som bidrar til klimagassutslipp, og det er forsøkt kvantifisert hvilken klimagassreducerende effekt de enkelte tiltak kan ha. Rapporten skal også synliggjøre hvilke forutsetninger som ligger til grunn for beregninger av klimagassutslipp, og gi en sammenligning av dagens klimagassutslipp med 1990-nivå.

Basert på erfaring fra tidligere veg- og jernbaneprosjekter ser vi at det er et stort potensiale for å redusere klimagassutslippet. Det kan først og fremst oppnås ved å benytte mer bærekraftige materialer, samt å optimalisere løsningene slik at materialforbruket reduseres.

1.2 Systemgrenser

Vurderingene omfatter byggefase inkludert tilvirkning og transport av materialer, samt vedlikehold/utskiftninger i levetiden. Det er kun konstruksjoner omtalt i Håndbok N400 *Bruprosjektering* som drøftes: bruer, tunnelportaler, støttemurer og kaier. Avhending av materialer fra vedlikehold/utskiftninger omtales der dette er mulig å beskrive, for eksempel i forbindelse med asfalt. Re-prosessering av asfalt og stål vurderes som en del av materialets neste livsløp. Det inkluderes ikke maskinarbeid/transport og andre aspekter forbundet med rivning av konstruksjonene, fordi det er umulig å vite noe om gjenbruk av konstruksjoner eller materialer 100 år frem i tid.

For å kunne belyse den relative forskjellen mellom ulike alternativer, vil det i beregning av klimagassutslipp inkluderes:

- Masseflytting/transport
- Fundamentering
- Konstruksjoner med byggematerialer (betong, armering)
- Tilpasning til veg
- Rekkverk, asfalt og andre poster som kan variere mellom alternativene

Lysmaster, skilt, ventilasjon og el/tele er holdt utenfor klimagassregnskapet, da dette er faktorer som i hovedsak ikke påvirkes av konstruksjonenes omfang.

Vi har valgt regneeksempler som belyser forskjeller i de valgene vi studerer. Vi må avgrense til hovedposter for innsatsfaktorer. Vi har ikke brukt eksempler med spesielle grunnforhold, for eksempel med behov for unormal grunnforsterkning (K/S-peling osv.), da dette ville ta oppmerksomheten bort fra forholdene vi ønsker å undersøke. Dette er imidlertid relevant i forbindelse med konseptvurderingene i tidlige planfaser.

Klimagassberegningene danner grunnlag for å dokumentere klimagassutslippet fra alternative materialer og anleggsutførelser. De skal i første rekke benyttes til å estimere den relative forskjellen mellom alternativer, og må derfor ha vide nok systemgrenser til å omfatte støttesystemer som påvirkes av valgene. Vi inkluderer derfor alle relevante forgrunnssystem, dvs. uttak av råvare, prosessering, transport, innbygning, vedlikehold/utskiftning. Bakgrunnssystemer som bygging av fabrikk, bygging/vedlikehold av maskiner og lastebiler osv. er normalt ikke med da de påvirker totalen lite.

Dimensjoneringsgrunnlaget for konstruksjonene er fastsatt gjennom gjeldende håndbøker og standarder. Fravik fra dette grunnlaget er ikke vurdert som et mulig klimatiltak i denne rapporten.

1.3 Potensiale for redusert klimagassutslipp

1.3.1 Utslipp fra materialbruk

Byggematerialer genererer klimagassutslipp ved råvareuttak, bearbeiding, transport og innbygging i anlegget. I driftsfasen vil vedlikehold av materialene og utskiftninger gi utslipp, og i avhendingsfasen vil riving, sortering, bearbeiding, transport, sluttavhending og eventuell resirkulering gi utslipp.

For materialer som stål, betong og asfalt er det store utslipp knyttet til energibruk ved uttak av malm og berg, og fra oppvarming og smelting, og videre bearbeiding i mange ledd. Transport kan kreve bruk av fossilt brennstoff både på sjøen, på veg og bane. Utslippene ved pumping, heising, bolting, tørking og andre prosesser på byggeplassen kan også være signifikante. Materialene kan i tillegg utgjøre en begrenset ressurs.

For knuste steinmaterialer er det gjerne energibruk til knusing, transport og utlegging som står for utslippene. Generelt kan det sies at bruk av fossil energi i form av diesel gir høyere utslipp av klimagasser enn elektrisk drevne maskiner, gitt at elektrisiteten er basert på fornybar energi.

Gjenbruk av materialer kan gi store besparelser av klimagassutslipp. Det gjelder både internt i prosjektet og ut over prosjektets systemgrenser. Gjenbruk kan spesielt redusere utslipp fra transport, men også fra energibruk og prosessrelaterte utslipp som oppstår under tilvirking av materialer. Lokal knusing av stein til bruk i asfalt og som tilslag i betong og til fundamentering kan gi besparelser i kostnader, og dessuten redusere behovet for deponier. Gjenbruk reduserer også forbruket av begrensede ressurser.

Riving og gjenbruk av betong kan også gi et negativt klimagassutslipp ved at CO₂ tas opp. Det skjer i form av karbonatisering dersom betongen knuses og legges ut med tilgang til luft. Eksempelvis kan knust betong brukes i gabioner (trådkurver fylt med stein) eller i støttemurer og liknende.

Rivematerialer som ikke kan gjenbrukes på anlegget kan med fordel leveres til videre resirkulering. For eksempel kan leveranse av armeringsstål eller konstruksjonsstål gi et lavere utslipp på systemnivå, ut over det enkelte prosjektet, i og med at gjenbruk av stålet reduserer behovet for nyvunnet stål i markedet.

1.3.2 Mengdeavhengige utslipp

Målene for klimagassreduksjon vil ikke bli nådd uten at forbruket av materialer reduseres. Eksempelvis vil en reduksjon i veggtykkelse på en støttemur fra 500 mm til 400 mm gi et større bidrag til reduksjon av klimagassutslipp, enn å endre fra en Lavkarbon klasse C til klasse B. Enda større bidrag vil kunne oppnås om støttemuren kan byttes ut med en steinmur utført med «kortreist» stein, eller en kombinasjon av disse.

Tilsvarende kan enkle tiltak for bedre utnyttelse av armeringen redusere mengden armeringsstål med ytterligere noen prosent; optimal plassering av armering i tverrsnittet, beregning av omfarings skjøter, minst mulig bruk av løpemeterarmering.

Det kommer videre fram i rapporten at det må en helhetsvurdering til for å se effekten av de enkelte tiltakene. I tillegg gir rapporten en oversikt over hvilke enkelttiltak som kan gjøres for å redusere materialforbruket.

1.3.3 Målsetting og arbeidsmetode

Valg av byggematerialer, forbrukte mengder og konstruksjonstype må ses i sammenheng for å forstå den totale effekten på klimagassutslippet. Det gjøres valg som påvirker klimagassutslippet gjennom hele prosjektets levetid (krybbe til død).

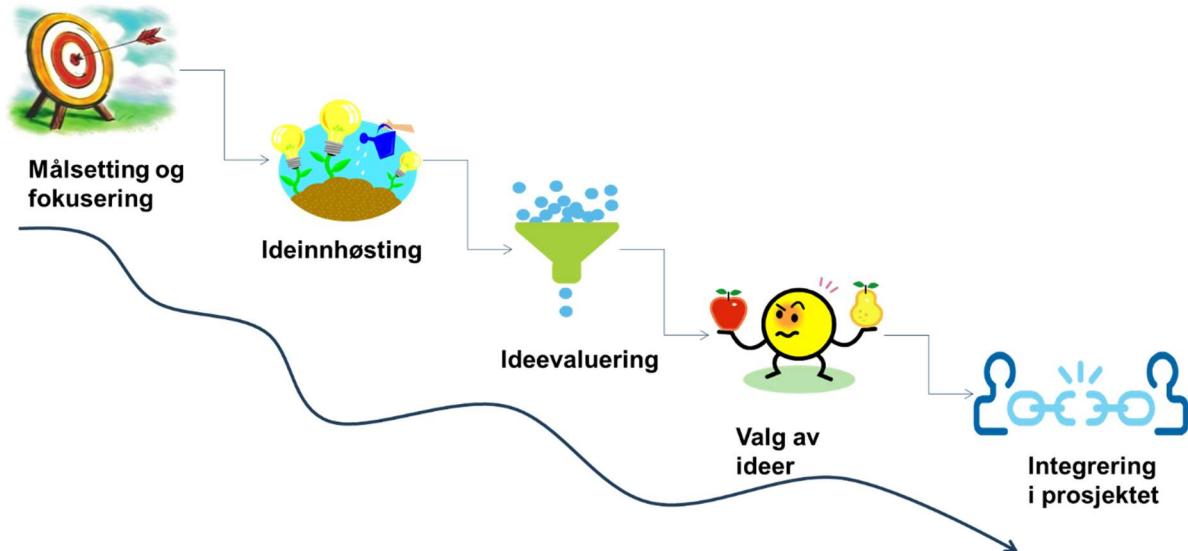
I et prosjekts tidligfase bør prosjekteringsprosessen utfordres med en målsetting om reduksjon av klimagassutslipp. NTP 2018-2021 har nasjonale mål om å redusere klimagassutslippene fra bygging med 40% og utslippene fra drift og vedlikehold med 50% innen år 2030. Dette er mål de fleste prosjekter vil måtte strekke seg langt etter for å klare. Det er viktig at eventuelle tiltak for å redusere klimagassutslippene fra et prosjekt har forankring i prosjektets overordnede mål. Finnes det ikke et overordnet mål om bærekraft og størrelse på klimagassutslippene, vil andre faktorer som kostnad, fremdrift og føringer gitt i håndbøker, standarder osv. alltid ende opp som avgjørende for valg av løsninger.



Figur 1-1 Faktorer og krav som skal ivaretas ved valg av løsninger

Videre i rapporten vil forskjellige tiltak som kan påvirke klimagassutslippene bli diskutert. Det er opplagt at valg som foretas tidlig i prosjekteringsprosessen vil kunne påvirke utslippene positivt eller negativt i større grad enn valg sent i en byggeprosess. Det endelige resultatet er påvirket av valg som gjøres gjennom alle ledd i hele prosessen fra kommunedelplan, reguleringsplan og byggeplan til bygging, drift og vedlikehold. Hver planfase må derfor ha en plan om hvordan prosjektet skal nå

målene om reduksjon av prosjektets klimagassutslipp. Typisk vil hvert prosjekt måtte utvikle tiltak for å nå disse, slik som illustrert i Figur 1-2:



Figur 1-2 Prosess for generering, evaluering og implementering av idéer

Det er viktig å forstå at tiltak som spesifiseres i en tidligfase ikke vil få ønsket effekt uten omforent medvirkning fra andre relevante aktører i prosjektet. Det gjelder for eksempel entreprenører, kommuner osv.

1.4 Klimagassberegninger

Klimagassberegninger kan brukes til å identifisere de viktigste bidragsyterne til klimagassutslipp og til å dokumentere effekten av tiltak som endrede materialer, mengder eller byggemetoder. Beregningene kan følge prosjektene i alle plan- og byggefaser i et anleggsprosjekt.

Beregningenes nøyaktighet vil bedres gjennom planfasene. I tidligfase er det mulig å gjøre overordnede klimagassberegninger som kvantifiserer den relative forskjellen mellom alternative utførelser. I detaljplanfaser med prosjekterte mengder kan det lages et mer nøyaktig budsjett som kan brukes for å stille krav til materialer og anleggsutførelse. Detaljerte klimabudsjett kan også brukes som en del av kontrakten, på lik linje med økonomiske budsjetter. Budsjettet kan gjøres om til et sombygget klimagassregnskap med faktiske mengder og materialer.

Det finnes flere verktøy for å beregne miljøpåvirkninger og klimagassutslipp fra samferdselsprosjekter. Bane NOR har utarbeidet en tidligfasekalkulator som raskt belyser den relative forskjellen ved linjeføring, konstruksjonsalternativer og transportlengder. Statens vegvesen har utarbeidet VegLCA for mer nøyaktig beregning av klimagassutslipp og andre miljøeffekter fra detaljplanfase til byggefase. Verktøyet er basert på prosesskoden. Det har et sett med predefinerte utslippsfaktorer for en rekke materialer, men brukerne kan også definere egne utslippsfaktorer basert på prosjektets dokumentasjon eller lokale forhold. VegLCA er for detaljert for tidligfase, der mengder ikke foreligger på riktig detaljnivå, men er et effektivt verktøy for senere faser. De predefinerte utslippsfaktorene for materialer, transport og maskinarbeid bør revideres fortløpende etter hvert som bransjenes miljøprestasjon og dokumentasjon forbedres.

De forskjellige byggherrene kan med fordel fortsette samarbeid om standarder og verktøy for klimagassberegninger.

Klimagassberegningene i denne rapporten er overordnede og egnet til å belyse relative forskjeller mellom løsningene som diskuteres. Beregningene er ikke basert på detaljerte masseoppsett og har en del avgrensninger som har innvirkning på nøyaktigheten. De bør derfor ikke benyttes i detaljerte beregninger uten vurdering av anvendbarheten.

Klimagassutslipp fra etablering av samferdselsinfrastruktur samt større vedlikehold og utskiftninger kan i prinsippet beregnes slik:

Klimagassutslipp for en innsatsfaktor = mengde innsatsfaktor x utslippsfaktor for innsatsfaktoren

Sum klimagassutslipp = klimagassutslipp for alle innsatsfaktorer over alle livsløpsfaser

I utregningene brukes mengder av innsatsfaktorer i kostnadsark for eksempelkonstruksjoner. Utregningene struktureres slik at utslipp kan estimeres isolert per innsatsfaktor, per livsfase, og samlet i innsatsfaktorgrupper og over alle livsfaser.

Det utledes utslippsfaktorer avhengig av mengdeenheten for hver enkelt innsatsfaktor. Faktorene er basert på siste versjon av EPD'er for relevante materialer fra EPD-Norge og Environdec. Utslippsfaktorer brukt på aktuelle prosjekter innen veg og bane benyttes der de er relevante. Det brukes også data fra EPD-generatorer for bransjeorganisasjoner for betong og asfalt.

Ut over EPD refereres det også til produktkategoriregler (PCR) som beskriver systemgrenser, datakilder og utregningsmetoder for EPD'er.

Der EPD'er ikke er tilgjengelige, benyttes data fra EcoInvent. Disse dataene er ofte generelle, lite geografisk avgrensede og utdaterte, og må derfor brukes med skjønn.

Mengder og utslippsfaktorer som er benyttet i eksemplene er videre spesifisert i hvert tilfelle.

Rapporten retter søkelyset på funksjonen konstruksjonen har som veg, og den «servicen» denne vegen yter til samfunnet. Funksjonell enhet er derfor ett stk. konstruksjon over 100 år. Utslipp per arealenhet, lengdeenhet eller kostnadsenhet kan også beregnes der grunnlag for dette foreligger.

1.5 Generelt om levetid

I følge håndbok N400 *Bruprosjektering* er teknisk levetid for et brusystem 100 år. Det skal ikke være behov for noen utskiftninger i hovedkonstruksjonen i løpet av levetiden, så vi regner ikke med betongrehabilitering eller endret bruk/modifikasjon av konstruksjonen. For andre konstruksjoner kan teknisk levetid være kortere.

Ikke-konstruksjonsmessige elementer som asfalt, rekkverk og annet vil ha kortere levetid. I utgangspunktet bruker vi en utskiftningshyppighet på 15 år for asfalt. Levetid for rekkverk og andre detaljer skal være i henhold til håndbok N101 *Rekkverk*.

1.6 Utvikling av utslippsfaktorer over tid

Det er vanskelig å fremskrive utslippsfaktorer i hele konstruksjonens levetid 100 år frem i tid, men det kan i enkelte tilfeller gjøres tilpasninger dersom vi vet at utslippsfaktorene vil endre seg drastisk. Dette kan også gjøres som del av en sensitivitetsanalyse.

Klimagassberegningene skal sammenliknes med referanseåret 1990. Det er derfor tilbakeskrevet utslippsfaktorer for 1990 for betong, stål og asfalt. Det foreligger lite dokumentasjon på

klimagassutslipp for disse materialene tilbake i tid og på et format som er direkte anvendbart. Det gjøres derfor en del antakelser og tilpasninger for å kunne estimere utslippsfaktorene.

For denne analysen er det imidlertid trenden over tid, og utviklingen fra et troverdig utgangspunkt, som er viktig. Det er tilstrekkelig å anslå faktorer som belyser utviklingen på en god måte.

Tilbakeskrevne utslippsfaktorer må derfor ikke benyttes direkte i andre beregninger uten å vurdere om forutsetningene også gjelder disse beregningene.

1.7 Definisjoner

Bransjen har foreløpig ikke etablert et sett med omforente definisjoner som kan brukes i rapporter og standarder knyttet til temaet for denne rapporten. I tabellen under er det listet opp en del ord som kan være aktuelle å benytte i Statens vegvesens publikasjoner fremover. Definisjonene er i hovedsak hentet fra høringsutgave til ny norsk standard prNS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger og Store norske leksikon.

Denne listen er foreløpig, og den er ikke ment å være komplett. Listen illustrerer behovet for at Statens vegvesen sammen med sine partnere utarbeider et begrepsapparat som kan forstås og brukes likt i bransjen.

Tabell 1-1 Definisjoner for bruk i arbeid med klima og bærekraft i infrastrukturprosjekter

Begrep	Definisjon
avfall	stoff eller gjenstand som innehaveren kaster, har til hensikt å kaste eller som det kreves at innehaveren kaster i henhold til det til enhver tid gjeldende lovverk
beregningsperiode	tidsperioden som klimagassberegningen skal referere til
byggeprosess	steg eller faser i planlegging, framstilling og bruk av en konstruksjon
byggeplass	bestemt landområde der en konstruksjon er plassert, eller der det er bestemt at en konstruksjon skal plasseres, og der byggearbeid for konstruksjon av konstruksjonen og opparbeidelse av uteområder foregår eller skal foregå
bygge vare	gjenstand som er framstilt eller bearbeidet for å inngå i en <i>konstruksjon</i>
bærekraft	er et begrep som brukes for å karakterisere økonomiske, sosiale, institusjonelle og miljømessige sider ved menneskelige samfunn.
CO₂	karbondioksid er en kjemisk forbindelse. CO ₂ er en viktig del av det globale karbonkretsløpet, samt en naturlig bestanddel av atmosfæren. CO ₂ er en viktig drivhusgass.
CO₂-e	CO ₂ -ekvivalent er en enhet som brukes i klimagassregnskap. Enheten tilsvarer den effekten en gitt mengde (som regel et tonn) CO ₂ har på den globale oppvarmingen over en gitt tidsperiode (som regel 100 år).
EcolInvent-data	en database som gir miljødata for en rekke produkter (non-profit)
EPD	EPD (Environmental Product Declaration, miljøvaredeklarasjon) er et kortfattet tredjepartsverifisert og registrert dokument med transparent og sammenlignbar informasjon om produkters miljøprestasjon gjennom hele livssyklusen.
estimert levetid	tidsrommet som en konstruksjon eller del av en konstruksjon forventes å tjene formålet sitt under et sett av bestemte bruksforhold

Begrep	Definisjon
flyveaske	pozzolansk materiale som er et restprodukt fra rensing av røykgassene i kullfyrte varmekraftverk. Kan både males sammen med sementen og tilsettes direkte på blandeverket.
fornybar ressurs	betegnelse på en ressurs som utvikler seg og opprettholdes ved naturlig fornying eller rensing i løpet av menneskehetens tidsskala.
funksjonell enhet	ett stk konstruksjon over 100 år
klimagasser	påvirker klimaet ved å virke inn på jordens og atmosfærens strålingsbalanse
klimatiltak	tiltak for å redusere utslippet av klimagasser
klimabudsjett	anslag på utslipp av klimagasser i planleggingsfasene av et prosjekt
klimaregnskap	oppgrening av faktisk utslipp av klimagasser fra bygging, evt også drift, vedlikehold, avhending mv av et anlegg/prosjekt
KraKK	Krav om Klimakutt i Konkurransesgrunnlag
LCA	Life Cycle Analysis / Assessment – livsløpsanalyse/-vurdering beregner og vurderer miljøpåvirkning fra et produkt eller en prosess gjennom hele livsløpet, med påvirkninger fra alle relevante forgrunns- og bakgrunnsystemer. Allokeringanalyse vurderer produktets påvirkning isolert sett mens en konsekvensiell analyse vurderer produktet i større perspektiv der både direkte og indirekte effekter som følge av endret konsum inkluderes på systemnivå
LEIV	Lavere Energiforbruk I statens Vegvesen
lavkarbonbetong	betong der det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippet (Norsk Betongforening, 2015)
lavkarbonklasse	definerte klasser av betong med maksimalt utslipp av klimagasser per mengdeenhet
levetid	tidsrommet etter at konstruksjonen eller del av konstruksjonen er ferdig og oppfyller de tekniske og funksjonelle kravene, og fram til konstruksjonen rives.
livsløp	tidsrommet fra objektets råvarer utvinnes til objektet blir avfall
miljøaspekt	aspekt ved en konstruksjon, del av konstruksjon, prosesser eller tjenester knyttet til deres livsløp, som kan forårsake endring i miljøet
miljøprestasjon	en kvantifisert sum av miljøpåvirkninger forårsaket av alle <i>miljøaspekter</i> ved en konstruksjon
miljøpåvirkning	endring i miljøet, uansett om den er ugunstig eller gunstig, som helt eller delvis er et resultat av miljøaspekter
ombruk	gjenbruk av konstruksjon i sin opprinnelige form og utførelse
PCR	produktkategoriregler (PCR) er et obligatorisk forarbeid før utarbeidelse av miljødeklarasjoner for et produkt.
påkrevd levetid	levetid som kreves av byggherren eller gjennom forskrifter
regnskaps - LCA	miljøpåvirkning fra et produkt eller en prosess basert på fysiske gjennomsnittsdata for produksjon, bruk og avhending
rehabilitering	endring og forbedringer av en eksisterende konstruksjon for å heve tilstanden til et akseptabelt nivå

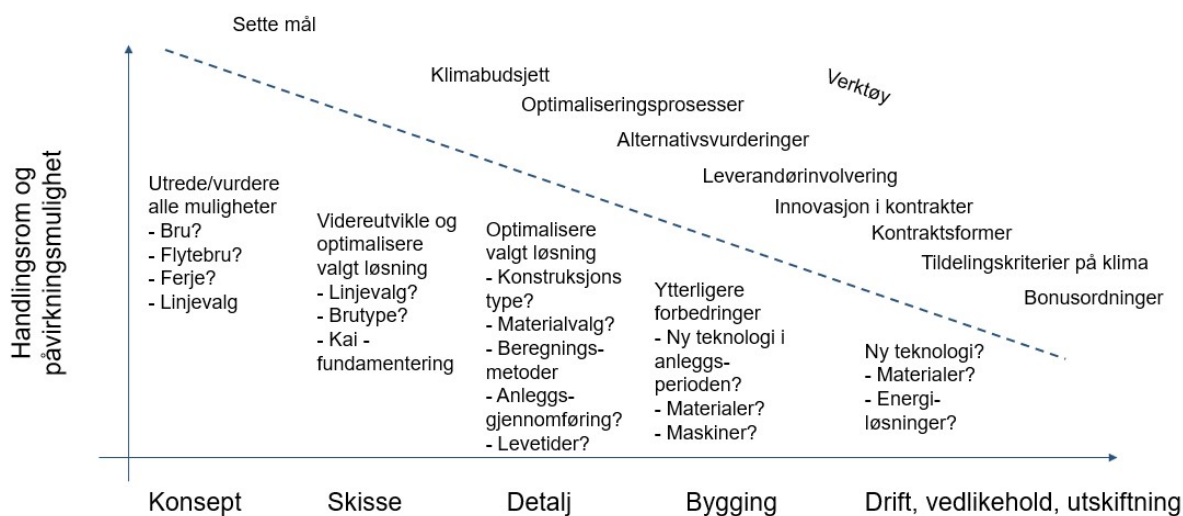
Begrep	Definisjon
resirkulering	operasjon med gjenvinning der avfallsmaterialer produseres om til produkter, materialer eller stoffer som kan anvendes for det opprinnelige formålet eller for andre formål
systemgrense	grensesnitt mellom det som omfattes og hva som ikke omfattes av beregningen
slag	latent hydraulisk materiale som er et restprodukt fra smeltingen av råjern. Er normalt malt sammen med sementen og er ikke tilgjengelig som egen vare i Norge per nå.
tilsetningsmaterialer	pozzolane og latent hydrauliske materialer som tilsettes betongen som erstatning for deler av sementen. Flygeaske, kalkmel, silikastøv og slag benyttes som tilsetningsmaterialer i Norge.
vedlikehold	kombinasjon av alle tekniske og tilhørende administrative tiltak i løpet av levetiden for å holde en konstruksjon i en slik tilstand at de påkrevde funksjonene kan ivaretas.

2 Planfaser og konstruksjonsvalg

2.1 Planfaser

Muligheten til å kunne påvirke klimagassutslippet vil variere avhengig av hvilken planfase arbeidene befinner seg i. Alle planfaser har sine utfordringer og muligheter til å påvirke det endelige resultatet.

I Figur 2-1 er det illustrert hvilke valg og muligheter som ligger i de enkelte planfasene.



Figur 2-1 Handlingsrom, verktøy og mulighet for påvirkning i ulike planfaser, Norconsult Teknologidagene oktober 2017.

Figur 2-1 illustrerer at handlingsrommet blir mindre og mindre dess nærmere bygging prosjektet beveger seg. I drifts- og vedlikeholdsfasen vil det kun være mulig å gjøre mindre endringer for å redusere prosjektets samlede utslipp. På den annen side er detaljeringsnivået høyere og usikkerheten i klimagassberegningene og forutsetningene reduseres.

2.2 Konstruksjonsvalg

I kapittel 4 diskuteres det materialvalg og hvilken effekt valg av resirkulert stål, asfalt og betong kan ha på klimagassutslippene. Det ligger i hovedsak ingen konflikt mellom valg av materialer og konstruksjonstyper, da endringer på både materialer og løsninger vil påvirke konstruksjonens klimagassutslipp. Vi ser at konstruksjonsvalg potensielt kan redusere både klimagassutslippet og kostnader ved at mengdene reduseres. Videre i kapittel 4 diskuteres hvilken effekt konstruksjonsvalg vil ha på klimagassutslippet.

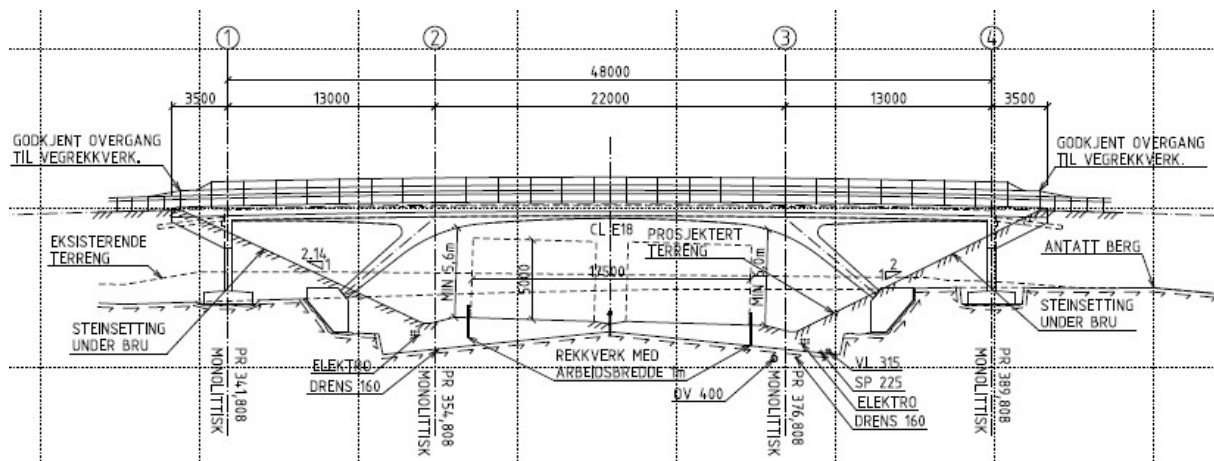
2.2.1 Klimagassutslipp som del av beslutningsgrunnlaget

For at klimagassutslipp skal kunne inkluderes som en design-parameter ved prosjektering av konstruksjoner, må det totale klimagassutslippet benyttes som del av beslutningsgrunnlaget ved konstruksjonsvalg. Detaljeringsgraden vil avhenge av hvilken planfase det jobbes med, og må dessuten tilpasses behovet. Det understrekes at isolerte enkelttiltak for å redusere klimagassutslipp ikke vil være tilstrekkelig dersom bærekraft skal benyttes som en del av dimensjoneringsgrunnlaget. Norconsult AS har et verktøy som brukes til betraktninger i tidligfase av konstruksjoner. Dette er brukt

for å illustrere det etterfølgende eksempelet. Eksempelet er ment som et forslag for å vise hvordan en overslagsberegning av klimagassutslipp for en bruløsning kan utføres, her også i kombinasjon med et kostnadsoverslag. Fremgangsmåten, forutsetninger og verktøyet som benyttes i de videre eksemplene i dette kapitlet er også presentert.

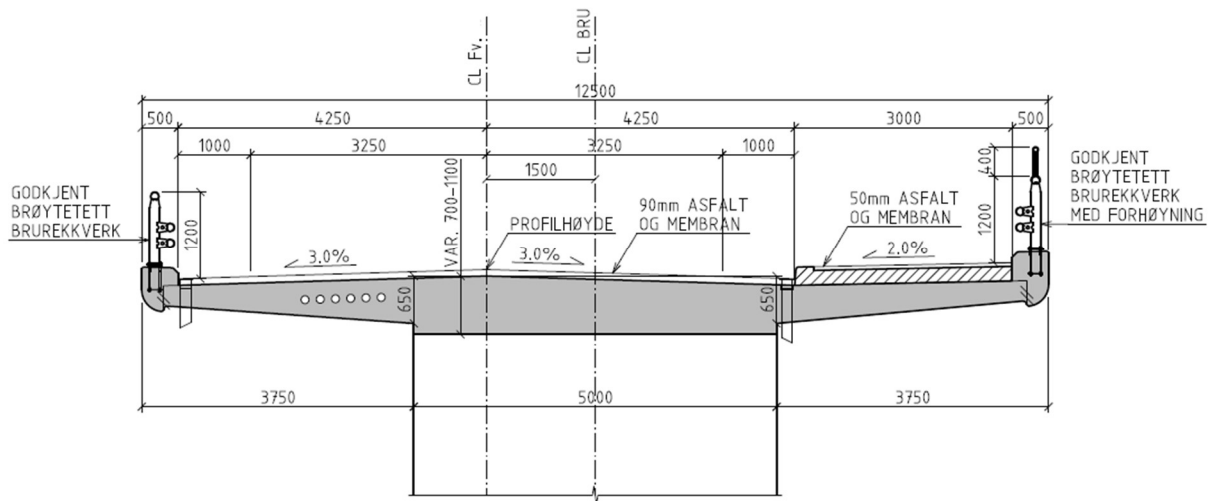
2.2.1.1 Eksempel overslagsberegning av klimagassutslipp

Eksempelet omhandler en tre-spenns, slakkarmert overgangsbru over motorvei, utført som sprengverksbru med bjelketverrsnitt. Se Figur 2-2 og Figur 2-3. Løsning utnytter bergforholdene og muligheten til å lage et sprengverk for å redusere lengden på hovedspennet. Slik lengdesnittet også viser, er det lite rom for søyler i midtdeler mellom vegbaner. Det vil derfor være naturlig å undersøke en slik løsning.



Figur 2-2 Lengdesnitt, eksempel sprengverksbru

Det kunne også vært vurdert en ett-spenns forspent betongbru ved denne kryssingen. Da måtte det vært utført tiltak for å lande bruene tidligere, for å begrense total lengde på brua. Dette ville medført redusert mengde materialer for bygging av brukonstruksjonen, men tilsvarende større andel tilbakefylling og eventuelle tiltak for oppstøtning av masser i bruene. Formålet med dette eksempelet er å presentere en tankegang, fremgangsmåte og et mulig verktøy for å inkludere bærekraft i beslutningsprosessen for konstruksjonsvalg. Andre konstruksjonsløsninger betraktes derfor ikke.



Figur 2-3 Tverrsnitt, eksempel sprengverksbru

I et skisse- eller forprosjekt for en brukonstruksjon vil det være naturlig å gjøre et overslag av hovedmengder for konstruksjonen, basert på konstruksjonsmessige overslagsberegninger av forslaget eller erfaringstall fra tilsvarende brukonstruksjoner. Videre utføres typisk et kostnadsoverslag for de ulike alternativene, basert på overslagsberegningen av hovedmengdene.

For å inkludere klimagassutslippet i prosessen ved konstruksjonsvalg, kan hovedmengdene benyttes til å beregne utslippet forbundet med materialene og arbeidene som inngår i bygging av konstruksjonen. Dette gjøres ved å knytte utslippsfaktorer til de beregnede mengdene. Utslippsfaktorer for materialer og arbeidsprosesser som er benyttet i dette og etterfølgende eksempler tar utgangspunkt i tallene som angitt i kapittel 2 og erfaringstall Norconsult har fra utarbeidelse av klimagassbudsjetter i gjennomførte prosjekter. Se også hvilke systemgrenser som er angitt i innledningen av rapporten. I slike vurderinger er det viktig å være seg bevisst hvilke begrensninger som ligger i overslagene.

Figur 2-4 viser en overslagsberegning av kostnad og klimagassutslipp for eksempelet med sprengverksbrua ved bruk av Norconsults verktøy for slike beregninger. Andre rådgivere har sannsynligvis utviklet tilsvarende verktøy. Overslaget er inndelt etter hovedprosesser iht. håndbok R762 Prosesskode 2, angitt i venstre kolonne. Klimagassutslippet for de ulike prosessene beregnes som vist i kapittel 1.6.

Følgende begrensninger legges til grunn for overslagsberegningen:

- Overslagsberegningen tar utgangspunkt i hovedinnsatsfaktorene ved bygging av en konstruksjon (betong, slakkarmering, forspenning, stål, belegning, graving, sprengning og massetransport)
- Reis/stillas og forskaling medtas i kostnadsoverslag, men ikke i beregning av klimagassutslipp for konstruksjonen. Utslipp for disse prosessene er kompliserte å beregne, og en stor grad av gjenbruk gjør at forbruket må fordeles på mange prosjekter.
- Rigg og drift inkluderes i kostnadsoverslaget, men utelates ved beregning av klimagassutslipp.
- Materialer og arbeidsprosesser mengdes i nivå for hovedprosess.
- Kostnader som benyttes i overslagsberegningen er basert på erfaringsdata og vil avvike fra reelle priser i enkelt prosjekter. Det tas derfor forbehold om nøyaktigheten av disse. Formålet er først og fremst å eksemplifisere prosessen med konstruksjonsvalg.

Disse forutsetningene og begrensningene gjelder generelt for alle de etterfølgende betraktningene og eksemplene. Ytterligere forenklinger er også innført der dette er relevant, eksempelvis ved å utelate løsmassearbeider og sprengning ved sammenligning av brutyper.

Spesifikke forutsetninger og begrensninger for eksempelet med sprengverksbru:

- Det benyttes vanlige utslippsfaktorer for betong og armering, uten angivelse av resirkuleringsgrad for armering eller spesifikasjon av lavkarbonbetong.
- Som eksempel på systemgrenser, mengdes sprengning av berg kun som ytterligere utsprenning for fundamenter utover det generelle sprengningsprofilen for underliggende motorveg.

Eksempel - overgangsbru

Prosess	Hovedprosess	Materiale		Kostnad		Karbonavtrykk byggefase		Karbonavtrykk livsløp					
		Materiale	Enhet	Mengde	[kr ekskl mva]	Sum kost	Utslippsfaktor Type	Utslippsfaktor Emnett[...]	Utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggefase [kg CO2-ekv]	Levetid [år]	Sum utslipp livsløp [kg CO2-ekv]	
09.9 UFORUTSETT, 10%						605 020							
12 RIGG OG DRIFT, 20%						1 210 040							
81 LØSMASSEARBEIDER													
Graving løsmasser		Løsmasser	m ³	350	150	52 500	Graving over vann - løsmasser	kg CO2/m ³	0,80	280		280	
Graving sprengt berg		Løsmasser	m ³	250	150	37 500	Graving over vann - sprengt berg	kg CO2/m ³	1,28	320		320	
Utleiing løsmasser		Løsmasser	m ³	1 500	250	375 000	Utleiing løsmasser over vann	kg CO2/m ³	0,80	1 200		1 200	
82 BERG													
Sprengning alse 1 og 4		Berg	m ³	250	200	50 000	Sprengning over vann	kg CO2/m ³	1,76	440		440	
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN													
Endekasser													
Middakser													
84 BETONGARBEIDER													
Underbygning													
Fundament og søyler		Reis	m ²	100	1 500	150 000	Direkte fra bakken	kg CO2/m ²	0,00	0,00		0,00	
Sillas fra bakken		Forskaling	m ²	250	1 000	250 000	Valøft hud	kg CO2/m ²	0,00	0,00		0,00	
Forskaling		Armering	tonn	35	15 000	525 000	B500NC værlig	kg CO2/tonn	2000,00	70 000		70 000	
Armering		Betong	m ³	200	1 600	320 000	B45 Hf40 - ingen krav (C)	kg CO2/m ³	360,00	72 000		72 000	
Betong													
Overbygning		Reis	m ²	610	1 500	915 000	Direkte fra bakken	kg CO2/m ²	0,00	0,00		0,00	
Sillas fra bakken		Forskaling	m ²	900	900	810 000	Bord	kg CO2/m ²	0,00	0,00		0,00	
Forskaling		Armering	tonn	70	15 000	1 050 000	B500NC værlig	kg CO2/tonn	2000,00	140 000		140 000	
Armering		Betong	m ³	435	1 600	696 000	B45 Hf40 - ingen krav (C)	kg CO2/m ³	360,00	156 600		156 600	
Betong													
87 BRUBELÆGNING, UTSTYR OG SPESIALARB.													
Lager endekasser													
Elektro, drenasje, etc.		Membran	m ²	0	20 000	-	Fuktsikling A3-4 - topeka	kg CO2/m ²	0,00	0,00		0,00	
Membran		Asfalt	tonn	560	450	252 000	AGB 11	kg CO2/tonn	56,00	31 360		31 360	
Slette, asfalt		Rekkverk	m	108	4 000	432 000	Burtekkverk H2 - tung	kg CO2/m	180,00	19 440		19 440	
Kjøresterkt ytterkverk													
Telling for membranlægning RundSum						56 000						38 880	
SUM						7 865 280				463 976		504 350	
Fri bredde bru				11,5	m								
Lengde overbygning				49,0	m								
Areal bru				563,5	m ²								
Kostnad[m ²] og kg kg CO2-ekv/m ²						13958	kr/m ²			823	kg CO2-ekv/m ²	895	
Fornold utslipp-kost						58,991	[tonn CO2-ekv / mill.kv] etablering						
						64,125	[tonn CO2-ekv / mill.kv] levetid						

Figur 2-4 Overslagsberegning kostnad og utslipp, eksempel sprengverksbru

Nedenfor gis en kort forklaring av de ulike kolonnene, inndata og utdata som vist i regnearket for overslagsberegningen, Figur 2-4:

1. Inndata for type materialer og prosesser, mengder og enhetspriser. Sum kostnad er gitt i kolonnen til høyre for enhetspris for hver prosess.

84 BETONGARBEIDER					
Underbygning					
Fundament og søyler					
Stillas fra bakken	Reis	m2	100	1 500	
Forskaling	Forskaling	m2	250	1 000	
Armering	Armering	tonn	35	15 000	
Betong	Betong	m3	200	1 600	
Overbygning					
Stillas fra bakken					
Forskaling					
Armering					
Betong					

Figur 2-5 Kolonner for inndata mengder og enhetspriser

2. Inndata for type utslippsfaktor innenfor en spesifikk prosess, eksempelvis betong B45, MF40, Lavkarbon B. Enhet og verdi for utslippsfaktoren er gitt i de neste to kolonnene.

150 000	Direkte fra bakken	kg CO2/m2
250 000	Valgfri hud	kg CO2/m2
525 000	B500NC vanlig	kg CO2/tonn
320 000	B45 MF40 - ingen krav (C)	kg CO2/m3
	B45 MF40 - lav (ny)	
	B45 MF40 - middels (A)	
	B45 MF40 - høy (B)	
9	B45 MF40 - ingen krav (C)	g CO2/m2
81		g CO2/m2
1 08	B35 MF40 - lav (ny)	g CO2/tonn
	B35 MF40 - middels (A)	
69	B35 MF40 - høy (B)	g CO2/m3

Figur 2-6 Kolonne for inndata utslippsfaktor

3. Inndata for lengde og fri bredde av bru, flateareal bruoverbygning. Benyttes for beregning av kostnad og utslipp pr. m² bruoverbygning.
4. Egne faner som inneholder utslippsfaktorer for ulike materialer og prosesser, som igjen hentes fra en linket samlefil for utslippsfaktorer.

Løsmasser	Berg	Peler	Spunt	Reis	Forskaling	Armering	Spennarmering	Betong	Prefab	Stål	Membran	Asfalt	Rekkverk
-----------	------	-------	-------	------	------------	----------	---------------	--------	--------	------	---------	--------	----------

Figur 2-7 Utslippsfaktorer fordelt på materiale og prosess

5. Utslippsfaktorer og enheter, samt utdata for klimagassutslipp i byggefase og livsløp. Beregnet utslipp for livsløp baseres her på antallet utskiftninger over levetiden (eksempelvis 100 år for bru), og for øvrig som angitt i kapittel 1.7.

Karbonavtrykk byggefase				Karbonavtrykk livsløp	
Utslippsfaktor Type	Utslippsfaktor Enhet [...]	Utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggefase [kg CO2-ekv.]	Levetid [år]	Sum utslipp livsløp [kg CO2-ekv.]
Fuktisolering A3-4 - topeka	kg CO2/m2	0,00	-	100	0
AGB 11	kg CO2/tonn	56,00	3 696	15	24 640
Brurekkverk H2 - tung	kg CO2/m	180,00	19 440	50	38 880

Figur 2-8 Utdata, utslipp byggefase og livsløp for hvert materiale og prosess

6. Utdata, total kostnad og klimagassutslipp i byggefase og livsløp.
Utdata, beregnet kostnad pr. kvm. konstruksjon og klimagassutslipp pr. kvm. konstruksjon.

Kostnad		Karbonavtrykk byggefase			Karbonavtrykk livsløp	
Enhetspris [kr ekskl mva]	Sum kost [kr ekskl mva]	Utslippsfaktor Type	Utslippsfaktor Enhet [...]	Utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggefase [kg CO2-ekv.]	Sum utslipp livsløp [kg CO2-ekv.]
	7 865 260				463 976	504 360
	13958 kr/m2				823 kg CO2-ekv./m2	895

Figur 2-9 Utdata, kostnader og klimagassutslipp

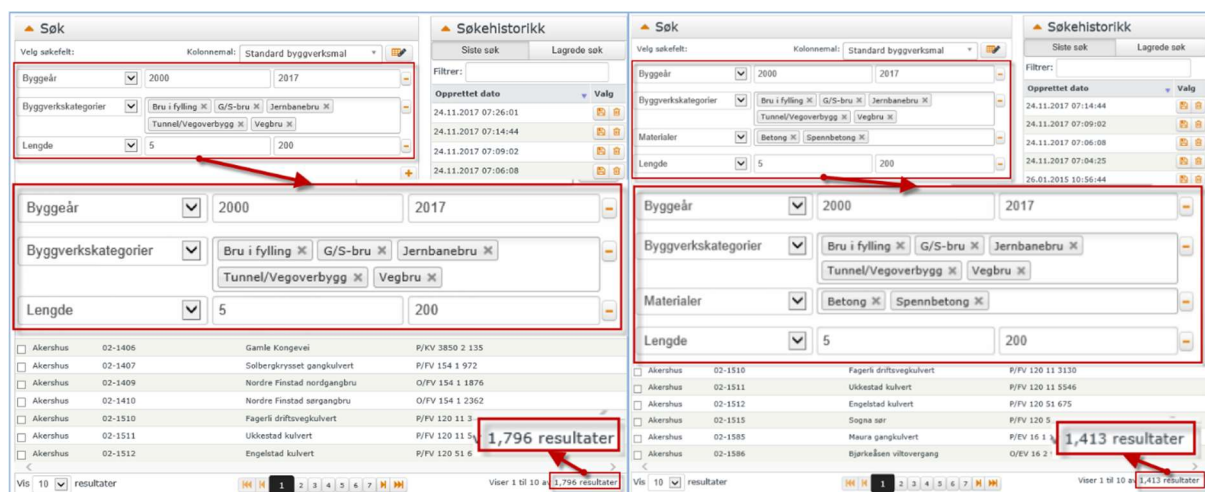
2.2.1.2 Konklusjon overslagsberegninger

Resultatet fra en slik vurdering som vist i kolonne 6 i eksempelet over gir data for klimagassutslipp sett opp mot kostnad. Her er det tatt ut tall som viser utslipp pr. arealenhet. Det kan også vises verdier pr. løpemeter konstruksjon eller volum dersom det er ønskelig. Uansett vil slike vurderinger være nyttige dersom et mål om klimagassreduksjon skal kunne nås.

2.2.2 Plasstøpte og prefabrikkerte konstruksjoner

Hovedandelen av små til mellomstore brukonstruksjoner som bygges er plasstøpte betongkonstruksjoner. Plasstøpte betongbruer er robuste konstruksjoner som ofte kjennetegnes av lite vedlikeholdsbehov i løpet av levetiden.

Et utdrag fra BRUTUS (Statens vegvesen, 2017) viser at for bruer med spennlengde 5 – 200 meter bygd mellom 2000 og 2017, tilsvarer andelen betongbruer ca. 1400 av totalt 1800, altså nesten 80 %. Søket er utført på veg-, jernbane- og g/s-bruer, bruer i fylling og tunnel/vegoverbygg. Søket inkluderer også prefabrikkerte konstruksjoner, men hovedvekten av utdraget kan trygt sies å være plasstøpte betongkonstruksjoner.



Figur 2-10 Utdrag fra BRUTUS

I senere år er det observert hyppigere bruk av bruer med større eller mindre grad av prefabrikkerte elementer. Prefabrikkerte elementer benyttes ofte når forhold som fremdrift, kostnader, anleggsgjennomføring, tilgjengelighet til brustedet, utfordringer med oppsetting av reis osv. spiller en større rolle. I et klimaperspektiv er det også viktig å belyse mulige fordeler ved bruk av prefabrikkerte elementer i konstruksjoner.

I dag finnes det så langt ingen prosedyre for klassifisering av prefabrikkerte elementer iht. lavkarbonklasser, selv om betongen som benyttes i elementet i seg selv kan tilfredsstillende lavkarbonklasser. Det er dog ikke utbredt blant leverandører å tilby elementer med større andel flyveaske enn vanlig for å oppnå de høyeste klassene av lavkarbonbetong, slik som f.eks. klasse A iht. Norsk Betongforening Publikasjon 37.

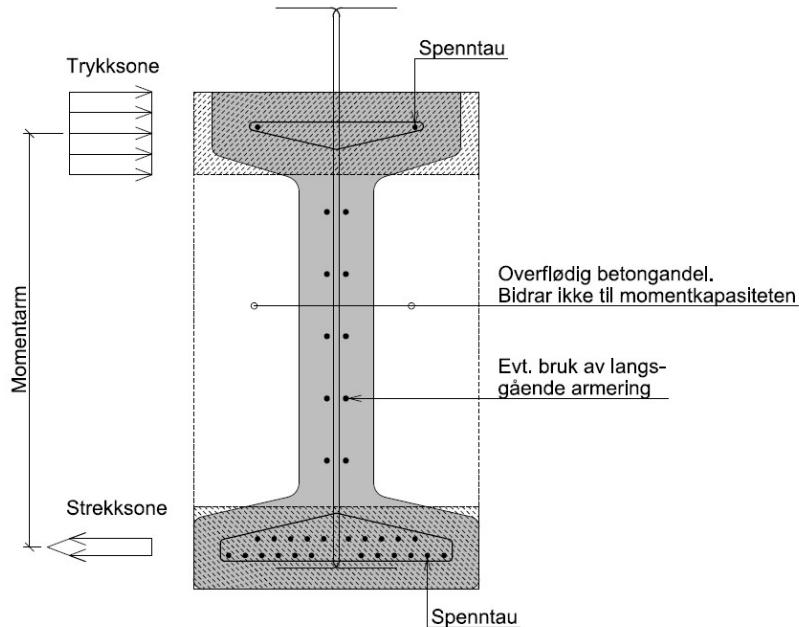
Bruk av store andeler flyveaske for å oppnå Lavkarbonklasse A for prefabrikkerte elementer vil vanligvis ikke være mulig. Det er hovedsakelig grunnet forhold knyttet til hydratiseringstid, tidligfasthet, avformingstid og steinmengde med maksimal kornstørrelse D_{max} . I tillegg er reseptene ofte testet og optimalisert over lengre tid, slik at det vil være en langvarig prosess dersom egenskaper og delmaterialer skal endres for å oppnå eksempelvis Lavkarbonklasse A. Fabrikasjonen er som oftest lagt opp med et fast antall støpeoperasjoner pr. døgn. Tiltak på betongen som medfører at disse syklusene endres og forlenges, vil bety redusert produksjonshastighet for leverandøren og følgelig økte priser. Det anses derfor ikke som praktisk gjennomførbart å benytte de høyeste klassene av lavkarbonbetong i prefabrikkerte elementer for en leverandør i dagens marked. Det må dog bemerkes at betongen i prefabrikkerte elementer i flere områder i Norge vil kunne tilfredsstillende Lavkarbonklasse B eller C. Det finnes også leverandører som tilbyr prefabrikkerte bjelker med egen EPD, hvorav betongen selv har egen EPD som tilfredsstillende klasse B eller C.

Videre er det viktig å understreke at prefabrikkerte elementer er optimaliserte i større grad enn plasstøpte konstruksjoner. Med dette menes økonomisk utformede tverrsnitt der unødvendig egenvekt unngås, større grad av forspenning, redusert overdekning (toleranser) mm. Disse endringer i tverrsnitt gir også klare fordeler sett i klimasammenheng, idet reduserte mengder som regel betyr reduserte utslipp. Følgelig vil det totale klimagassutslippet for en prefabrikkert konstruksjon eller konstruksjonsdel kunne være på størrelse med eller mindre enn for plasstøpt konstruksjon, selv om det benyttes mer flyveaske i plasstøpt betong enn i prefabrikkert betong.

Figur 2-11 illustrerer optimalisering av trykk- og strekksone i et prefabrikkert bjelkeelement. Den overflødig betongandelen i den plasstøpte betongbjelken kan fjernes uten at dette medfører reduksjon av momentkapasitet. Den overflødig betongmengden innebærer blant annet:

- Direkte økning av betongmengder
- Økt egenlast, indirekte økning av mengder for overbygningen

- Økte laster på underbygningen, herunder søyler, fundamenter og eventuelle konstruksjoner i grunnen



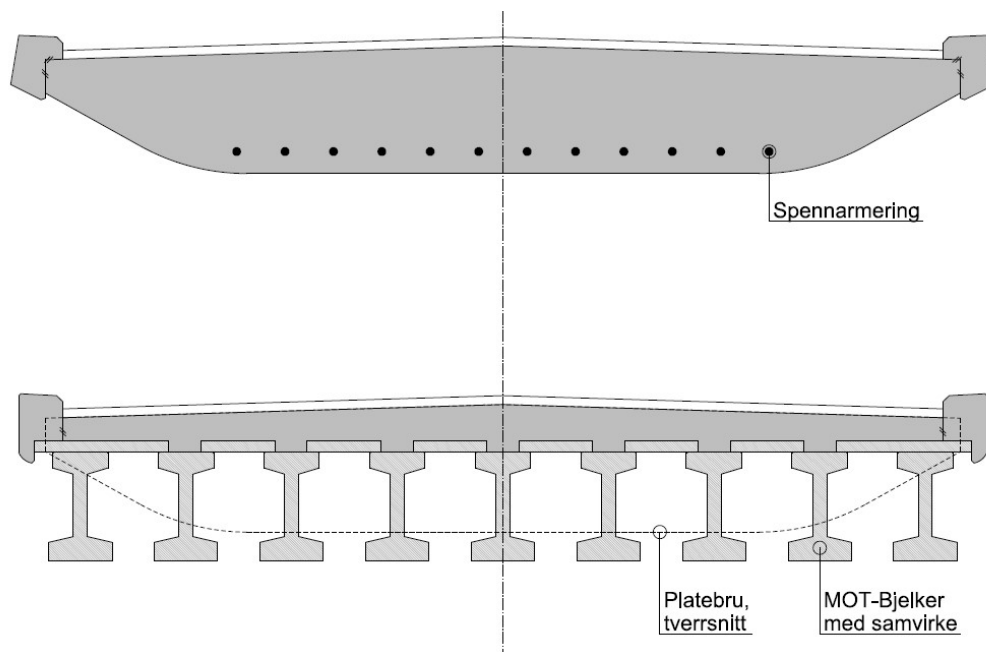
Figur 2-11 Plasstøpt kontra prefabrikkert bjelke

Det er også andre fordeler ved bruk av prefabrikkerte elementer, eksempelvis redusert eller intet behov for reis/stillas, redusert byggetid osv. Både redusert behov for reis og redusert byggetid bidrar til redusert klimagassutslipp. Dette vil dog ikke inkluderes i overslagsberegninger for klimagassutslipp grunnet kompleksiteten i en slik vurdering og den ekstra usikkerheten dette innfører.

Figur 2-12 viser to ulike løsninger for en bruoverbygning, hhv. en plasstøpt platebru og en bru av prefabrikkerte MOT-bjelker med plasstøpt dekke.

Det plasstøpte alternativet vil ha flere fortrinn, blant annet:

- Bedre bestandighet, mindre eksponert overflate
- Enklere inspeksjonsmulighet, gunstigere med hensyn til drift og vedlikehold
- Ofte mindre byggehøyde enn for det prefabrikkerte alternativet
- Estetikk, formingsmessig bedre uttrykk



Figur 2-12 Sammenligning, -av plasstøpt platebru og prefabrikkerte MOT-bjelker med plasstøpt dekke

I den videre betraktningen vil det fokuseres på de aspekter ved konstruksjonsløsningene som er direkte koblet til klimagassutslippet. Typiske vurderinger som tilgjengelighet, fremkommelighet, transport av elementer og lengdebegrensninger utelates. Dette er vurderinger som må gjøres i hvert enkelt tilfelle.

Det er viktig å betrakte konstruksjonen i et helhetlig perspektiv. Enkeltiltak som referert over kan i første omgang synes å bidra til å redusere konstruksjonens karbonavtrykk. I neste omgang kan de vise seg å innvirke negativt på andre faktorer som øker karbonavtrykket.

I eksempelet som følger gjøres en sammenligning av en plasstøpt konstruksjon og en prefabrikkert konstruksjon. I vedlegget er det vist en eksempelberegning med overslag av klimagassutslipp for to ulike brukonstruksjoner, hhv. en plasstøpt bjelkebru og en bru med prefabrikkerte MOT-bjelker. Begge løsningene er forspente konstruksjoner. Bruene som er benyttet i eksempelet er begge ferdigbygde.

Bruene er i stor grad sammenlignbare, med tilnærmet samme funksjon og lastforutsetninger. Begge bruene skal bære trafikk over elv/vassdrag, og de har omtrent samme spennlengde. Konstruksjonene er beregnet iht. gjeldende eurokoder. Prosjekterte mengder er hentet fra konkurranse-/arbeidsgrunnlaget og benyttet som grunnlag for overslaget.

Det er gjort visse antagelser og forenklinger for å kunne få et bedre sammenligningsgrunnlag, blant annet:

- Det er kun betraktet utslipp fra hovedinnsatsfaktorer som betong, armering, forspenning, asfalt, rekkverk osv.
- Utslipp og kostnader i forbindelse med utgraving, sprengning og tilbakefylling av masser er sett bort fra. Mengdene er ikke relevante i denne sammenligningen.
- Peler og evt. andre konstruksjoner og fundamenter i grunnen er ikke medtatt i sammenligningen.
- Forskaling og reis er medtatt i kostnadsbildet, men ikke i beregning av karbonavtrykk, jfr. tidligere omtale. Inkludering av reis/forskaling i utslippsoverslaget ville kunne bidratt i favør av prefabrikkert løsning.

Det er valgt å benytte reelle konstruksjoner som eksempel, fremfor å lage et idealisert eksempel. Dette er gjort for å få med alle de valg som gjøres ved prosjektering av en bruløsning og de konsekvenser dette fører med seg. Et idealisert eksempel vil kunne gi et enklere og mer transparent sammenligningsgrunnlag, men samtidig kunne viktige poenger og konsekvenser ved løsningen blitt neglisjert.

Det understrekes at de beregnede utslippstallene ikke vil være direkte sammenlignbare, men kan fungere som en indikasjon på løsningenes klimagassutslipp. Det er også ment som et eksempel på en øvelse som burde foretas ved valg av konstruksjonsløsning, eksempelvis under et forprosjekt. Ettersom ikke alle innsatsfaktorer er medtatt i overslagsberegningen, vil heller ikke det totale utslippet for bruene være av stor interesse, ei heller utslipp pr. kvadratmeter bru. Men, tallene vil likevel kunne gi en indikasjon på det totale utslippet, og de kan benyttes for å sammenligne løsningene.

Tabell 2-1 viser utslipps- og materialforutsetninger som er lagt til grunn for overslagsberegningene av karbonavtrykk:

Tabell 2-1 Forutsetninger for utslipp og materialer i overslagsberegning

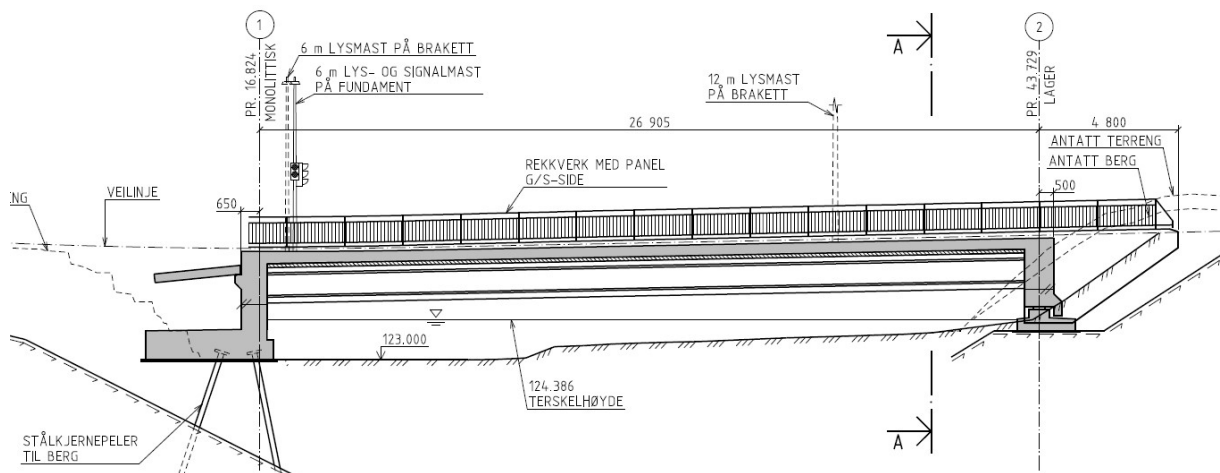
Hovedprosess - konstruksjonsdel	Utslippsfaktor type	Utslippsfaktor enhet	Materiale	Utslippsfaktor	Plasstøpt	Prefabrikkert
84 - Underbygning	Armering	Kg CO ₂ -e/tonn	Res. > 70 %	1500	x	x
	Betong	Kg CO ₂ -e/m ³	B45 MF40 (Lavk. B)	310	x	x
84 - Overbygning	Armering	Kg CO ₂ -e/tonn	Res. > 70 %	1500	x	x
	Spennstål	Kg CO ₂ -e/mMN	F _{p0,1k} = 1640 MPa (middels andel res)	8	X	- **
	Betong dekke/ overbygning	Kg CO ₂ -e/m ³	B45 MF40 (Lavk. B)	310	x	x
	Prefab MOT 1200	Kg CO ₂ -e/tonn	Armering res. > 70% B55 MF40 (Lavk. C)	275 *	-	x
	Prefab plattendekke	Kg CO ₂ -e/tonn	Armering res. > 70% B55 MF40 (Lavk. C)	200 *	-	x
87 – Belegning, utstyr	Slitelag, asfalt	Kg CO ₂ -e/tonn	Agb 11	56	x	x
	Rekkverk	Kg CO ₂ -e/m	H2 (tungt)	180	x	x

*: Sammensatt verdi (betong, armeringsstål, spennstål og tilvirkning).

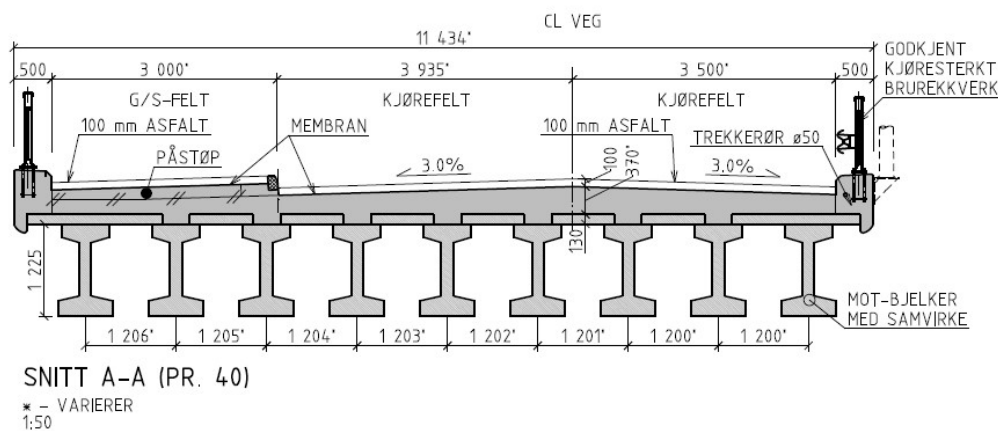
** : Utslippstall for spennstål benyttet i utregning av utslippstall for prefabrikkerte bjelker tilsvarende 8 kg CO₂-e/mMN.

Alternativ 2 – prefabrikkerte bjelker med plasstøpt dekke

Alternativ 2 viser en løsning med en prefabrikkerte MOT-bjelker og plasstøpt betongdekke i samvirke med bjelker, jmfør Figur 2-15 og Figur 2-16 for hhv. lengdesnitt og tverrsnitt av bru. Brukonstruksjonen har et spenn på ca. 27 m, og en total lengde på ca. 28 m fra bruende til bruende. (ekskl. vingemurer).



Figur 2-15 Lengdesnitt, alternativ 2 (prefabrikkert bjelkebru)



Figur 2-16 Tverrsnitt, alternativ 2 (prefabrikkert bjelkebru)

Overslagsberegning for bygging av alternativ 2 viser et totalt utslipp tilsvarende 282,1 tonn CO₂-e, jmfør Tabell 2-3. Dette utgjør et utslippstall på 826 kg CO₂-e/m², med utgangspunkt i flateareal av fri føringsbredde for brukonstruksjon.

Kostnadsoverslaget viser en total pris på ca. 4,4 mill.kr., tilsvarende en kostnad på ca. 13.000 kr/m² brukonstruksjon. Forholdstall for utslipp og kostnad forbundet med etablering av konstruksjonen tilsvarer 63,5 tonn CO₂-e/mill.kr.

Tabell 2-3 Overslagsberegning klimagassutslipp, alternativ 2 (prefabrikkert bjelkebru)

Prosess	Materiale			Kostnad		Karbonavtrykk byggefase		Karbonavtrykk livsløp			
	Materiale	Enhet	Mengde	[kr eksl mva]	Sum kost [kr eksl mva]	Utslippsfaktor Type	Utslippsfaktor Enhet	Utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggefase [kg CO ₂ -ekv.]	Levetid [år]	Sum utslipp livsløp [kg CO ₂ -ekv.]
Hovedprosessen											
09.9 UFORUTSETT, 10%					341 300						
12 RIGG OG DRIFT, 20%					682 600						
81 LØSMASSEARBEIDER											
Graving løsmasser											
Utlegging løsmasser											
82 BERG											
Pigging/Sprengning											
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN											
Endeaksær											
84 BETONGARBEIDER											
Underbygning											
Forskaling	Forskaling	m ²	190	1 000	190 000	Valgfri hud	kg CO ₂ /m ²	-	-	100	19 500
Armering	Armering	tonn	13	15 000	195 000	B500NC res > 70%	kg CO ₂ /tonn	1 500	-	100	31 000
Betong	Betong	m ³	100	1 600	160 000	B45 MF40 - HØY (Løvk B)	kg CO ₂ /m ³	310	-	100	31 000
Overbygning											
Fribærende stillas	Reis	m ²	35	1 500	52 500	Fribærende	kg CO ₂ /m ²	-	-	100	45 000
Forskaling	Forskaling	m ²	225	900	202 500	Bord	kg CO ₂ /m ²	-	-	100	45 000
Armering	Armering	tonn	30	15 000	450 000	B500NC res > 70%	kg CO ₂ /tonn	1 500	-	100	77 500
Betong	Betong	m ³	230	1 600	400 000	B45 MF40 - HØY (Løvk B)	kg CO ₂ /m ³	310	-	100	75 625
Prefab ILOT-bjelker	Prefab	tonn	275	3 000	825 000	ILOT 1200	kg CO ₂ /tonn	275	-	100	17 200
Prefab Plattendekker	Prefab	tonn	86	4 500	387 000	Plattendekke 150 mm	kg CO ₂ /tonn	200	-	100	17 200
87 BRUBELEGNING, UTSTYR OG SPESIALARB.											
Lager endeaksær			2	20 000	40 000						
Elektro, drenasje, etc.			0	20 000	-						
Membran	Membran	m ²	340	450	153 000	Fuktisolering A3-4 - topelka	kg CO ₂ /m ²	56	-	100	4 760
Sillings astått	Astått	tonn	85	1 200	102 000	AGB 11	kg CO ₂ /tonn	180	-	50	11 520
Kjøresteritt ytterdekkverk	Rekkverk	m	64	4 000	256 000	Brudekkverk H2 - tung	kg CO ₂ /m				
SUM					4 436 900				282 105		320 588
Fri bredde bru											
Lengde overbygning		m	12,2								
Areall bru		m ²	28,0								
Kostnad[m ²] og [kg CO ₂ -ekv./m ²]			341,6		12989	kr/m ²			826	kg CO ₂ -ekv./m ²	939
Fornøyd utslipp-kost											
63,582 [tonn CO ₂ -ekv. / mill.kr]											
72,257 [tonn CO ₂ -ekv. / mill.kr]											
Levetid											

Observasjoner knyttet til sammenligning av alternativ 1 og 2

Overslagsberegningen viser at det er liten forskjell i utslipp for de to løsningene, med et utslipp pr. kvm bru for alternativ 1 og 2 på hhv. ca. 921 og 826 kg CO₂-e/m². Dette utgjør en reduksjon på ca. 10 % for alternativ 2 med prefabrikkerte elementer i forhold til det plaststøpte alternativet.

Brukonstruksjonene som er benyttet i eksempelet er ikke identiske med hensyn til føringsbredde, spennlengde, fundamentering osv. Og selv om mengdene som er lagt til grunn er reelle, så vises heller ikke det totale bildet grunnet de begrensningene og forenklingene som er gjort i overslaget. Følgelig vil det være vanskelig å konkludere med at forskjellen mellom de to løsningene er signifikant.

Følgende observasjoner kan gjøres i forbindelse med betraktningen av de to bruløsningene:

- Det er viktig å betrakte forhold knyttet til drift og vedlikehold av konstruksjonsløsningene. For det prefabrikkerte alternativet presentert ovenfor vil det være vanskelig å utføre inspeksjon, og det vil sannsynligvis medføre større behov for vedlikehold enn det plaststøpte alternativet. Ved løsninger med tilnærmet likeverdig karbonavtrykk bør derfor primært den mest vedlikeholdsvennlige løsningen velges.
- På tross av skjerpede materialkrav, eksempelvis plaststøpt betong i lavkarbonklasse B, vil en løsning med bruk av prefabrikkerte elementer i betong B55 uten krav til lavkarbonklasse kunne gi et likeverdig eller bedre/mindre karbonavtrykk.
- «Estetiske» bruløsninger kan konkurrere med prefabrikkerte løsninger dersom det legges vekt på skjerpede materialkrav (bruk av lavkarbonbetong, resirkulert armering osv.).
- Klimagassberegningen viser ingen signifikant forskjell, men forskjellen ville blitt større dersom det ikke stilles krav til utslippsfaktor på betong og armeringsstål.
- Dersom reis og forskaling var inkludert i overslagsberegningen, ville forskjellen blitt noe større, i favør av prefabrikkert løsning. Utslipp i forbindelse med tilvirkning av prefabrikkerte elementer er medtatt i utslippsfaktor for elementene.
- Det finnes allerede EPD'er for prefabrikkerte bjelke-elementer med bruk av lavkarbonbetong klasse B og C (næringsbygg, utslipp ned til 175 kgCO₂/tonn). Dette kan være en fremtidig mulighet til ytterligere å redusere utslipp for prefabrikkerte løsninger, på tross av at dette normalt ikke tilbys i dagens marked.

2.3 Konstruksjonsutforming

Etter at overordnet brukonsept er valgt, vil det fortsatt være flere formingsmessige valg som kan påvirke konstruksjonens totale klimagassutslipp. Dette handler like mye om å optimalisere konstruksjonsløsningene som å arbeide spesifikt for å redusere klimagassutslippet, ettersom dette som oftest henger tett sammen.

For store brukonstruksjoner med lange spenn og omfattende konstruksjonselementer er det generelt nødvendig med en stor grad av optimalisering for å skape en økonomisk og gjennomførbar løsning. Konstruksjonene er derfor i utgangspunktet også optimaliserte med hensyn til bærekraft ved at den best mulige konstruktive løsningen med så små materialmengder som mulig er utarbeidet.

Denne graden av optimalisering utføres ikke i like stor grad for små og mellomstore betongkonstruksjoner. Der har andre funksjoner og formingsmessige ønsker ofte prioritet fremfor optimalisering av materialforbruk.

Som tidligere nevnt er hovedandelen av bruer som bygges små og mellomstore konstruksjoner. Derfor vil en optimalisering av disse konstruksjonene kunne gi en stor gevinst i form av reduserte klimagassutslipp.

I dette kapittelet vil vi belyse konsekvenser ved noen av de formingsmessige og arkitektoniske valgene som gjøres i et prosjekt, og gi noen eksempler på hvordan hensynet til bærekraft kan inkluderes i beslutningsprosessene og konstruksjonsvalgene.

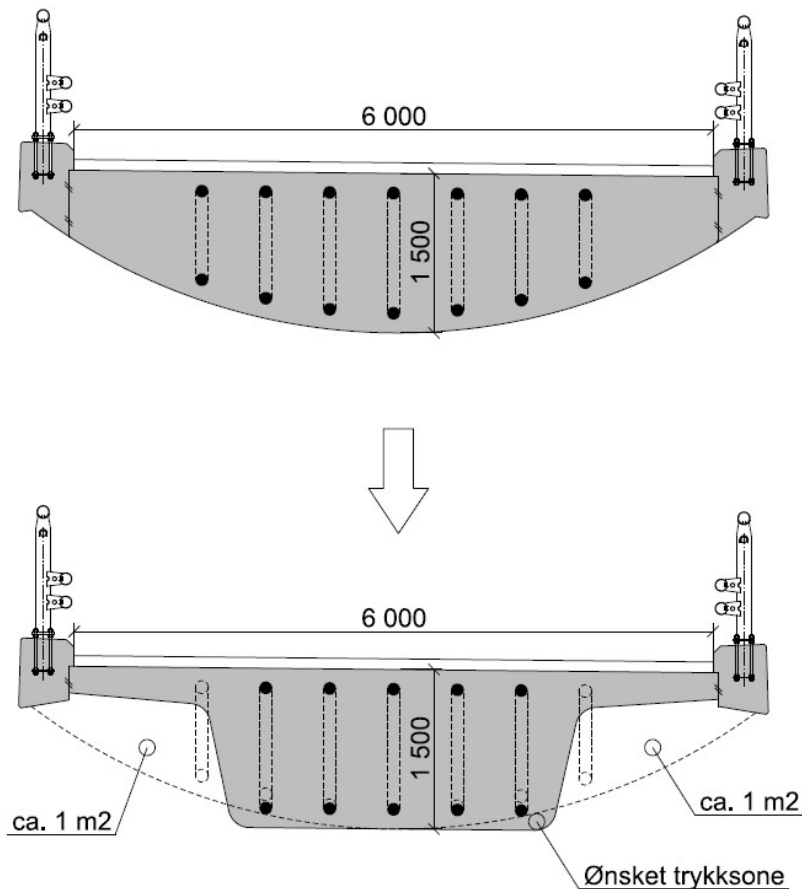
2.3.1 Bruer og arkitektoniske betraktninger

Ved utformingen av en bru vil den prosjekterende bl.a. stå overfor valget av brutverrsnitt. Valget gjøres som regel i samråd med arkitekt slik at det blir tatt hensyn til estetiske vurderinger knyttet til forhold som *glatte linjer og flater*, og lysforhold for publikum under bruer eller i underganger. Det er viktig å vurdere brustedet og i hvilken grad det er viktig å ta estetiske hensyn før brutverrsnitt bestemmes. En nøktern konstruksjonsutforming kan ha signifikant besparende effekt på konstruksjonens totale utslippstall.

Eksempelet i Figur 2-17 under viser en spennarmert plate/bjelkebru med avrundet underside. Et slikt brutverrsnitt vil vanligvis bære laster mindre effektivt enn et bjelketverrsnitt som vist nederst i den samme figuren. Estetiske virkemidler kan ofte innebære økt uønsket egenvekt. Dette vurderes som regel opp mot økonomi og fremdrift, men burde også vurderes opp mot bærekraft og økt klimagassutslipp.

Ikke optimal konstruksjonsutforming kan føre til ugunstig spennkabelføring og dårligere utnyttelse av spennkabler. I eksempelet vil en økning av konstruksjonshøyden med formålet å øke eksentrisiteten til kablene og dermed momentkapasiteten, også medføre større andel unødvendig egenvekt. Avrundede tverrsnitt må i utgangspunktet også bære mer overflødig egenvekt. Avrundede tverrsnitt har en mindre effektiv trykksone over støtter. Det kan være til hinder for full utnyttelse av forspenningen og medføre behov for ekstra trykkarmering.

Som vist i Figur 2-17 utgjør endringen i utforming fra sirkulær underside til et bjelketverrsnitt en reduksjon i betongmengde på 2 m³/m. Det tilsvarer en egenlast på 50 kN/m. En slik endring vil følgelig redusere betongforbruket og totalt oppspenningsbehov, og i tillegg føre til en mindre komplisert kabelgeometri.



Figur 2-17: Valg av konstruksjonsutforming og brutversnitt

Dersom nødvendig konstruksjonshøyde er tilgjengelig og forholdene på stedet tillater det, anbefales det derfor å benytte bjelke- eller ribbe-bruer fremfor platebruer når bæringen i hovedsak går i lengderetning av konstruksjonen.

En fordel med avrundede platteversnitt kontra bruer med bjelker/ribber eller prefabrikkerte bjelker er en totalt sett mindre overflate. Følgelig vil det være mindre eksponert overflate og potensielt bedre bestandighet. Det vil også medføre mindre andel overflatarmering.

Bruk av vektreduserende utsparinger/rør i platebruer vil kunne gi en lettere løsning samtidig som konstruksjonen utformes med «rene», bestandige overflater. Dette er omtalt i kapittel 3.1.2.

I det følgende betraktes et enkelt eksempel med en to-spenns, forspent betongbru. Eksempelet er ment å illustrere hvor signifikant forskjellen i klimagassutslipp for hhv. bjelkebru og platebru kan være.

Det er valgt å benytte reelle, ferdigprosjekterte brukonstruksjoner i eksempelet. Etersom formålet med betraktningen er å sammenligne en platebru med en bjelkebru, er det foretatt noen forenklinger for å gi et bedre sammenligningsgrunnlag. Dette innebærer:

- Det er benyttet like mengder for underbygningen (fundamenter og søyler) på begge konstruksjonene. Forenklingen vurderes å være uproblematisk, da mengdene for underbygningene er tilnærmet like.
- Stålkjernepeler for alternativ 1 er ikke medtatt. Forutsetter at alle akser er direktefundamentert på berg.

- Prosesser for utgraving, sprengning og tilbakefylling er ikke medtatt.
- Det er kun medregnet ytterrekkverk for begge bruene, H2 type brurekkverk. Midtrekkverk og G/S-rekkverk er følgelig neglisjert.

Det benyttes like materialparametere for begge brukonstruksjonene. Nedenfor gis en kort oppsummering av valgte materialparametere og utslippsfaktorer:

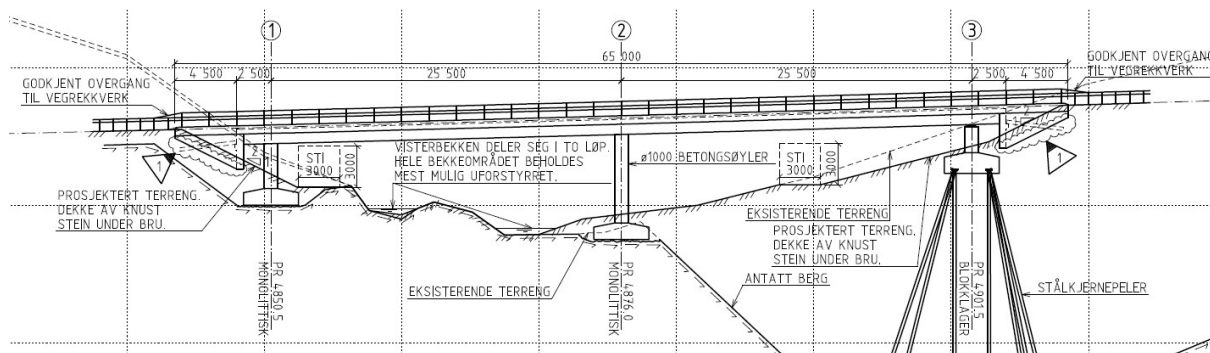
Tabell 2-4 Forutsetninger for utslipp og materialer i overslagsberegningene

Hovedprosess - konstruksjonsdel	Utslippsfaktor type	Utslippsfaktor enhet	Materiale	Utslippsfaktor
84 - Underbygning	Armering	Kg CO ₂ -e/tonn	Res. > 90 %	1000
	Betong	Kg CO ₂ -e/m ³	B45 MF40 (Lavk. A)	240
84 - Overbygning	Armering	Kg CO ₂ -e/tonn	Res. > 90 %	1000
	Spennstål	Kg CO ₂ -e/mMN	F _{p0,1k} = 1640 MPa (middels andel res)	7
	Betong dekke/overbygning	Kg CO ₂ -e/m ³	B45 MF40 (Lavk. B)	310
87 – Belegning, utstyr	Slitelag, asfalt	Kg CO ₂ -e/tonn	Agb 11	56
	Rekkverk	Kg CO ₂ -e/m	H2 (tungt)	180

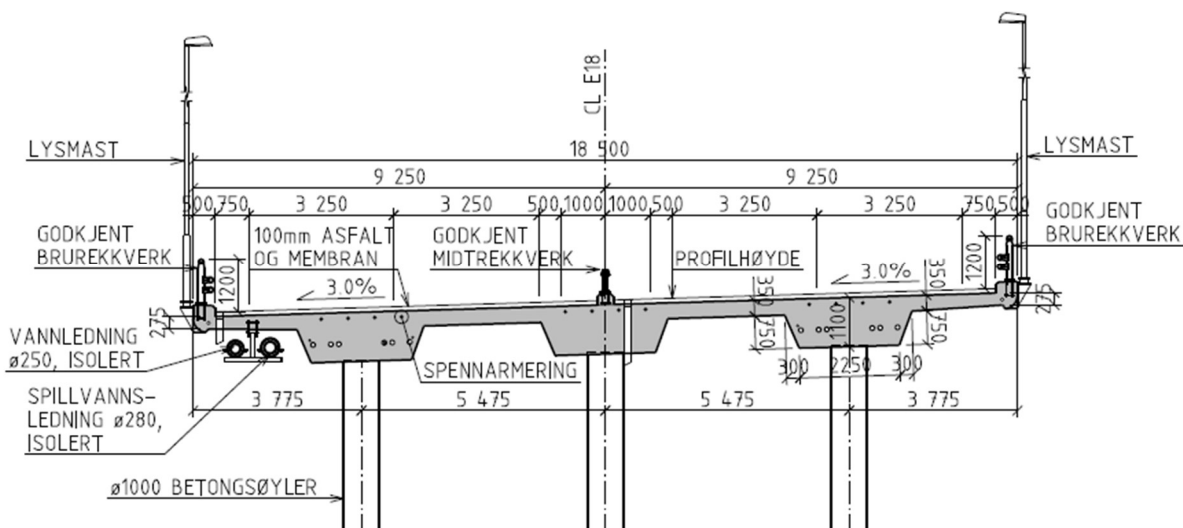
Lastforutsetninger for bruene er noe forskjellige, ved at alternativ 2 er delvis belastet av kjøretøyer og delvis av gangtrafikk. Brukonstruksjonen i alternativ 1 er på sin side belastet med kjøretøyer i hele føringsbredden. Følgelig vil de påførte lastene være noe større for alternativ 1 enn for alternativ 2.

Alternativ 1 – Etteroppspent bjelkebru

Figur 2-18 og Figur 2-19 viser hhv. lengdesnitt og tverrsnitt av brukonstruksjonen for alternativ 1. Alternativet består av en 2-spenns etteroppspent bjelkebru, bygd opp av tre bjelker med betongdekke som spenner mellom bjelkene. Hver bjelke er forspent med 4 stk. spennkabler, totalt 12 stk. spennkabler tilsvarende en total oppspenningskraft på 56100 kN og en spennarmeringsmengde på ca. 3000 mMN. Spennkablene inneholder 19 lisser á 0,62”.



Figur 2-18 Lengdesnitt, alternativ 1 (etteroppspent bjelkebru)



Figur 2-19 Tverrsnitt, alternativ 1 (etteroppspent bjelkebru)

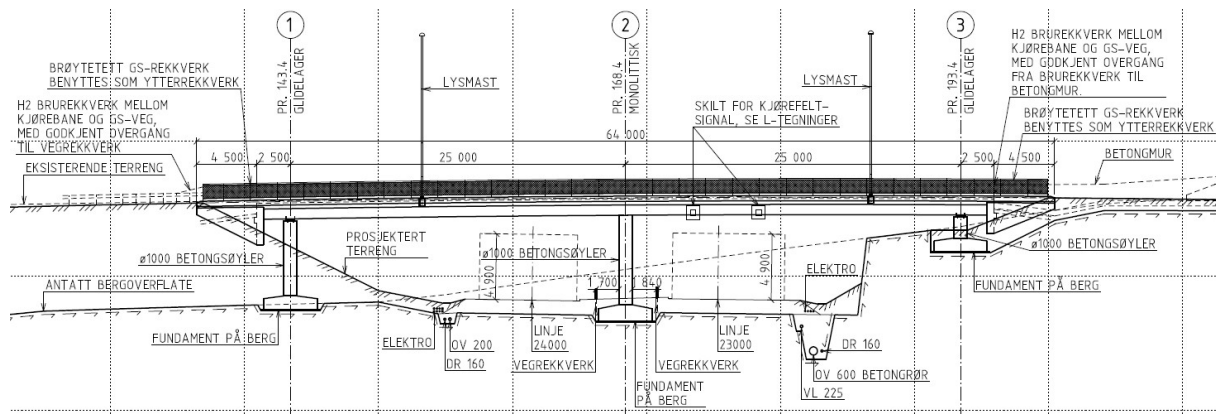
Overslagsberegningen av klimagassutslipp for alternativ 1 viser et totalt utslipp tilsvarende 490 tonn CO₂-e for etablering av konstruksjonen, jmfør Tabell 2-5. Dette utgjør et utslippstall på ca. 500 kg CO₂-e/m², med utgangspunkt i flateareal av fri føringsbredde for brukonstruksjon. Det observeres at betongen står for ca. 60 % av det totale utslippet i forbindelse med bygging av konstruksjonen.

Dersom mildere krav stilles til betongen, eksempelvis Lavkarbonklasse C for både underbygning og overbygning, ville dette medført et totalt utslipp på 557 tonn CO₂-e og et utslipp pr. flateareal bru på 569 kg CO₂-e/m². Utslippet i forbindelse med betongen vil da utgjøre omtrent 65 % av det totale utslippet.

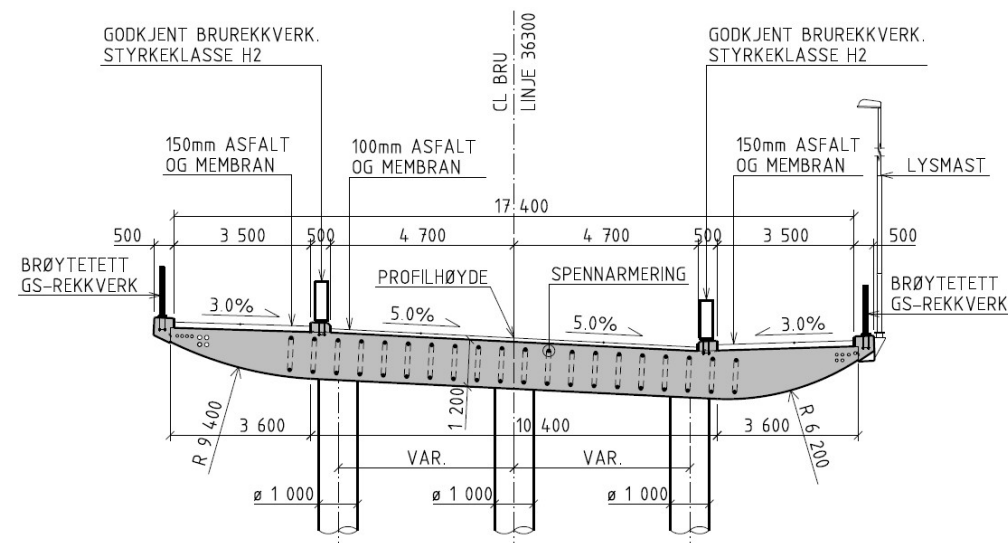
Kostnadsoverslaget viser en total pris på ca. 11,4 mill.kr., tilsvarende en kostnad på ca. 11.700 kr/m² brukonstruksjon. Forholdstall for utslipp og kostnad forbundet med etablering av konstruksjonen tilsvarer 42,8 tonn CO₂-e/mill.kr.

Alternativ 2 – Etteroppspent platebru

Figur 2-20 og Figur 2-21 viser hhv. lengdesnitt og tverrsnitt av brukonstruksjonen for alternativ 2. Alternativet består av en 2-spenns etteroppspent platebru, med delvis flat og delvis buet underside. Brua er spent opp med totalt 20 stk. spennkabler tilsvarende en total oppspenningskraft på 110200 kN og en spennarmeringsmengde på ca. 6000 mMN. Spennkablene inneholder 24 lisser á 0,6".



Figur 2-20 Lengdesnitt, alternativ 2 (etteroppspent platebru)



Figur 2-21 Tverrsnitt, alternativ 2 (etteroppspent platebru)

Overslagsberegningen av klimagassutslipp for alternativ 2 viser et totalt utslipp tilsvarende 670 tonn CO₂-e for etablering av konstruksjonen, jmfør Tabell 2-6. Dette utgjør et utslippstall på ca. 670 kg CO₂-e/m², med utgangspunkt i flateareal av fri føringsbredde for brukonstruksjon. Betongen utgjør ca. 65 % av det totale utslippet i forbindelse med bygging av konstruksjonen.

Dersom den samme øvelsen gjøres med mildere utslippskrav på betongen (Lavkarbonklasse C) gjøres for alternativ 2, medfører dette et totalt utslipp på 735 tonn CO₂-e og et utslipp pr. flateareal bru på 764 kg CO₂-e/m². Utslippet i forbindelse med betongen vil da utgjøre omtrent 69 % av det totale utslippet.

Kostnadsoverslaget viser en total pris på ca. 12,9 mill.kr., tilsvarende en kostnad på ca. 13.400 kr/m² brukonstruksjon. Forholdstall for utslipp og kostnad forbundet med etablering av konstruksjonen tilsvarer 57,2 tonn CO₂-e/mill.kr.

Tabell 2-5 Overslagsberegning klimagassutslipp, alternativ 1 (etteroppspent bjelkebru)

Prosess	Hovedprosess			Kostnad		Karbonavtrykk byggetfase			Karbonavtrykk livsløp		
	Materialer	Enhet	Mengde	[kr ekskl mva]	Sum kost [kr ekskl mva]	Utslippsfaktor Type	Utslippsfaktor Enhet [..]	Utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggefase [kg CO2-ekv.]	Levetid [år]	Sum utslipp livsløp [kg CO2-ekv.]
09.9 UFORUTSETT, 10%					879 100						
12 RIGG OG DRIFT, 20%					1 758 200						
81 LØSMASSEARBEIDER	Løsmasser	m3		-							
	Graving løsmasser	m3		-							
	Utleiing løsmasser	m3		-							
82 BERG	Berg	m3		-							
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN											
Endeakser											
Middakser											
84 BETONGARBEIDER											
Underbygning											
Fundamenter og søyler											
Forskaling	Forskaling	m2	350	1 000	350 000	Valgfri hud	kg CO2/m2	0,00	-		0
Armering	Armering	tonn	35	15 000	525 000	B500NC-res > 90%	kg CO2/tonn	1000,00	35 000	100	35 000
Betong	Betong	m3	250	1 600	400 000	B45 MF40 - middels (A)	kg CO2/m3	240,00	60 000	100	60 000
Overbygning											
Flåteberende stallas	Platt	m2	1 000	1 500	1 500 000	Direkte fra bakken	kg CO2/m2	0,00	-		0
Forskaling	Forskaling	m2	1 500	900	1 350 000	Bord	kg CO2/m2	0,00	-		0
Armering	Armering	tonn	105	15 000	1 575 000	B500NC-res > 90%	kg CO2/tonn	1000,00	105 000	100	105 000
Spennarmering	Spennarmering	mmN	3 000	160	480 000	PK 1860 - medium	kg CO2/mmN	7,00	21 000	100	21 000
Betong	Betong	m3	750	1 600	1 200 000	B45 MF40 - høy (B)	kg CO2/m3	310,00	232 500	100	232 500
87 BRUBELEGNING, UTSTYR OG SPESIALARB.											
Lager endeakser											
Elektro, drainage, etc.											
Membran	Membran	m2	900	20 000	120 000	Fultsøbering A3-4 - toppeks	kg CO2/m2	0,00	-		0
Støtst. asfalt	Asfalt	tonn	225	450	405 000	AGB T1	kg CO2/tonn	56,00	12 600	100	12 600
Kjøreskilt/yterrekkeverk	Rekkeverk	m	130	4 000	270 000	Brurekkeverk H2 - tung	kg CO2/m	180,00	23 400	50	46 800
Tehing for membranlegging											
			960	100	96 000						
SUM					11 428 300				489 500		584 300
Fri bredde bru	17,5	m									
Leiløpe overbygning	56,0	m									
Areall bru	960	m ²									
Kostnad/m ² og [kg CO2-ekv/m ²]					11662	kr/m ²			499	kg CO2-ekv/m ²	596

Tabell 2-6 Overslagsberegning klimagassutslipp, alternativ 2 (etteroppspent platebru)

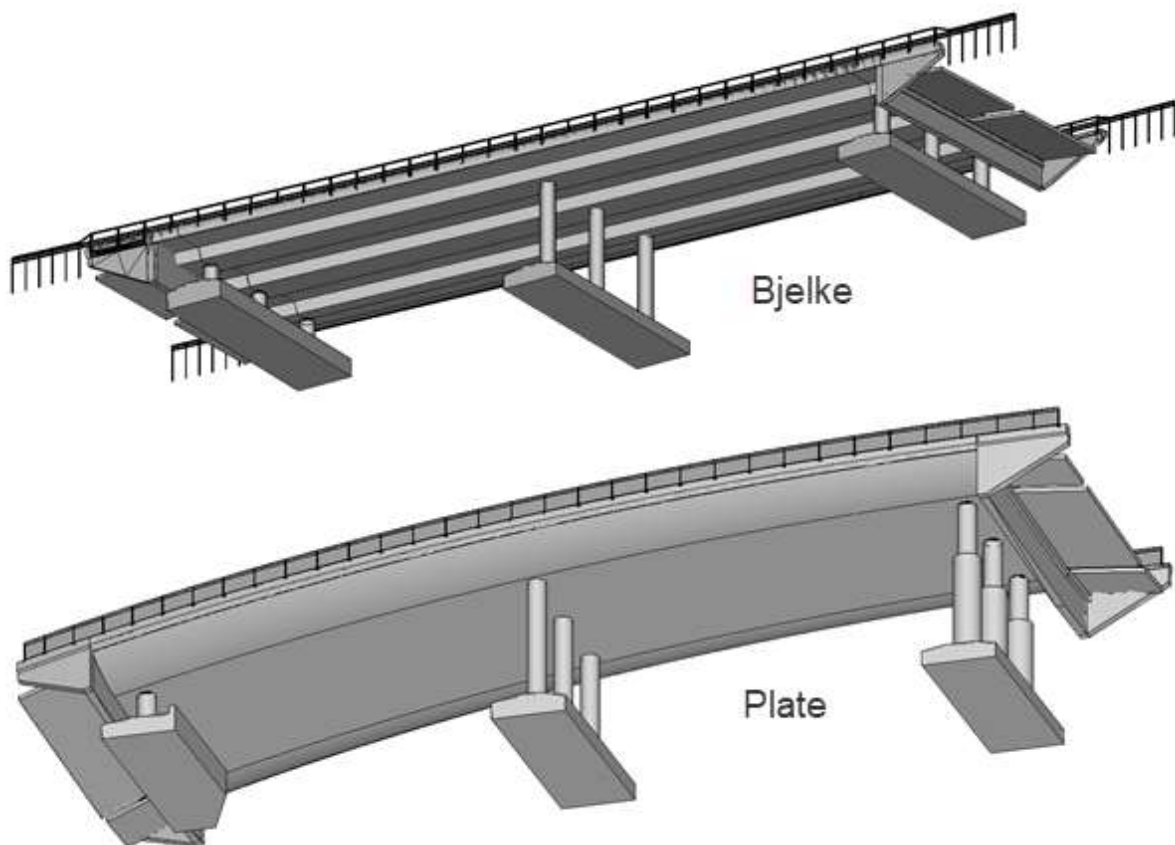
Prosess	Materiale	Enhet	Menge	Kostnad		Utslippsfaktor Type	Karbonavtrykk byggefase		Karbonavtrykk livsløp	
				[kr/ekst mva]	Sum kost [kr/ekst mva]		Utslippsfaktor Enhet [..]	Utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggefase [kg CO2-ekv]	Løvetid [år]
Hovedprosess										
09.9 UFORUTSETT, 10%					988 900					
12 RIGG OG DRIFT, 20%					1 977 800					
81 LØSMASSEARBEIDER										
Graving løsmasser	Løsmasser	m3		-	-					
Graving sprengt berg	Løsmasser	m3		-	-					
Utleiing løsmasser	Løsmasser	m3		-	-					
82 BERG										
Sprengning	Berg	m3		-	-					
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN										
Endekser										
Middakser										
84 BETONGARBEIDER										
Underbygning										
Fundamenter og søyler										
Forskaling	Forskaling	m2	350	1 000	350 000	Valgfri hud	kg CO2/m2	0,00		0
Armering	Armering	tonn	35	15 000	525 000	B500NC res > 90%	kg CO2/tonn	1000,00	35 000	35 000
Betong	Betong	m3	250	1 600	400 000	B45 MF40 - middels (A)	kg CO2/m3	240,00	60 000	60 000
Overbygning										
Frøbærende stallas	Reis	m2	1 000	1 500	1 500 000	Direkte fra bakken	kg CO2/m2	0,00		0
Forskaling	Forskaling	m2	1 300	900	1 170 000	Bord	kg CO2/m2	0,00		0
Armering	Armering	tonn	115	15 000	1 725 000	B500NC res > 90%	kg CO2/tonn	1000,00	115 000	115 000
Spennering	Spennering	mmN	6 000	180	960 000	fpk 1860 - medium	kg CO2/mmN	7,00	42 000	42 000
Betong	Betong	m3	1 160	1 600	1 856 000	B45 MF40 - høy (B)	kg CO2/m3	310,00	359 600	359 600
87 BRUBELEGNING, UTSTYR OG SPESIALARB.										
Lager endekser			6	20 000	120 000					
Elektr, utdrasje, etc.										
Montan	Montan	m2	900	430	405 000	Fullsøsering A3.4 - topelka	kg CO2/m2	0,00		0
Sleibg, asfalt	Asfalt	tonn	1 225	1 200	270 000	AGB T1	kg CO2/tonn	56,00	12 600	12 600
Kjørestred, ytterrekkverk	Rekkverk	m	128	4 000	512 000	Brurekkverk H2 - tung	kg CO2/m	180,00	23 040	23 040
Tehing for membranlegging			960	100	96 000					
SUM					12 855 700				647 240	741 680
Fri bredde bru		m	17,5							
Lengde overbygning		m	55,0							
Areaal bru		m ²	962,5							
Kostnad/m ² og [kg CO2-ekv/m ²]					13357	kr/m²			672	kg CO2-ekv/m²
										771

På tross av noe ulike lastforutsetninger viser overslagsberegningene at alternativ 1 har lavest klimagassutslipp. Det tas forbehold om at resultatene kan være påvirket av ulike valg som foretas i detaljprosjekteringen. Det kan uansett konstateres at den beregnede forskjellen i klimagassutslippet for de to alternative konstruksjonsløsningene er signifikant.

Av overslagsberegningene framgår det at total spennarmeringsmengde er dobbelt så stor for platebruen som for bjelkebruen. Dette skyldes blant annet at betongmengden i overbygningen for platebruen utgjør en økning på omtrent 55 % sammenlignet med alternativ 1.

Alternativ 1 har et noe større forskalingsareal enn alternativ 2 grunnet bjelkeformene. Det antas at den signifikante økningen i betongvolum for alternativ 2 vil medføre en betydelig økning i mengder relatert til reis/stillas.

Det understrekes at dette er to brukonstruksjoner med tilnærmet samme funksjon og rammebetingelser. Figur 2-22 viser 3D-skisser av de to bruløsningene, hvor ulikhetene i det estetiske uttrykket tydeliggjøres. En jevn og avrundet underside vil skape mindre skygger og totalt sett bedre lysforhold under bruoverbygningen. Det foregående eksempelet illustrerer prisen for et slikt tiltak, i form av både kostnader og klima, og nødvendigheten av bevisste valg under konstruksjonsutformingen.



Figur 2-22 3D-skisse, underside overbygning, bjelke- og platebru

2.3.2 Portaler og landskapsmessige betraktninger

Ved prosjektering av portalkonstruksjoner blir det som oftest valgt en sirkulær tunnelportal som følger tunnelens profil/tverrsnitt, eksempelvis tunnelprofil T10,5. Det vil på den måten være færre valgmuligheter ved utforming av portaler enn ved bruer. Det er dog flere valg som må foretas i prosjekteringen som vil påvirke totalt utslipp for portalkonstruksjonen, og som det kan være nyttig å belyse.

En sirkulær portalkonstruksjon vil i de fleste tilfeller foretrekkes fordi det er den beste konstruktive formen for å bære jordlaster på en effektiv måte. Rektangulære kulvertkonstruksjoner benyttes gjerne i situasjoner hvor det er liten tilgjengelig høyde og/eller hvor stedlige forhold og tilpasning er viktig, eksempelvis i bynære strøk.

Det gjøres en vurdering av to alternative konstruksjonsløsninger i en portalsone for å illustrere konsekvensene av valg som blir gjort ved utforming av en portalkonstruksjon. Eksempelet er ment å vise konsekvensene av landskapsmessige grep med istandsetting og formgivning av portalsoner. Dette er noe som vil måtte vurderes i hvert enkelt tilfelle, og som vil være avhengig av stedlige forhold, publikumstetthet eller spesielle funksjoner for portalområdet.

Det forutsettes i eksempelet at portalkonstruksjonen ligger i landlige omgivelser, uten trafikk eller annen tilrettelegging over konstruksjonen. Videre er konstruksjonen antatt direkte fundamentert på berg, og det er benyttet et standard tunnelprofil T10,5 som utgangspunkt. Portalens viktigste funksjoner er sikker innføring av trafikk til tunnelen samt sikring mot ras. Dette er krav som legger føringer for aktuelle utforminger av portalen.

Det er gjort en rekke forenklinger i eksempelet. I betraktningen mengdes blant annet kun tilbakefylte masser rundt portalen. Det vurderes ikke sprengning og bortgraving av løsmasser og sprengt stein. Det antas at mengdene for utgraving og sprengning av forskjæring for portalkonstruksjoner vil være omtrent de samme, ettersom veganlegget skal føres videre i landskapet. Det kan argumenteres for at en lengre portal nødvendigvis gjør dypere sprengning for fundamenter i en lengre avstand ut fra påhugg enn en kortere portal, men dette neglisjeres i denne sammenligningen. Kontaktstøpen er ikke medtatt i eksempelet, ettersom denne regnes å være lik for begge løsningene.

Det er kun hovedinnsatsfaktorene som mengdes og medtas i betraktningen, herunder betong, armering, reis og forskaling, tilbakefylling av masser samt noen mindre faktorer som rekkverk og membran. Det er heller ikke regnet utslipp for reis og forskaling. Det er ofte en stor grad av gjenbruk av reis og forskaling, og det gjør det komplisert å beregne tilhørende utslippsmengder for det enkelte prosjekt.

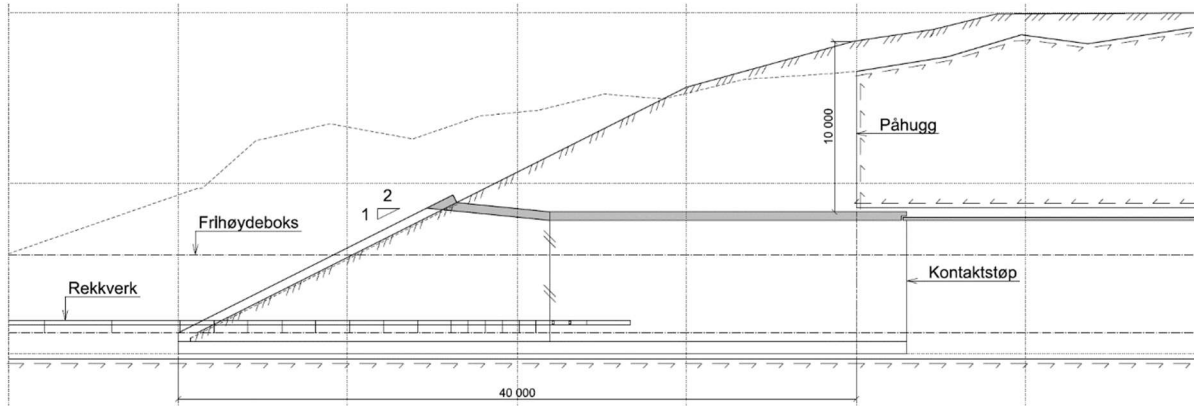
Det er åpenbart at en slik betraktning med ulike forutsetninger gir et skjevt sammenligningsgrunnlag med hensyn til utslippsmengder. På den annen side vil eksempelet illustrere konsekvenser av valg som gjøres under prosjekteringen. Innsyn i slike konsekvenser bør utgjøre en del av beslutningsgrunnlaget når bærekraftige valg skal tas.

Det bemerkes at resultater i overslagsberegningene kun er orienterende og i stor grad forenklede. Det er flere elementer som er utelatt i betraktningen, og resultatene har følgelig ikke like stor relevans sett utenfor denne sammenhengen. Innlagte kostnader betegnes som grove, og det tas derfor forbehold om beregnede kostnadsoverslag og utledede forholdstall.

Alternativ 1 – istandsetting med tilpasning til eksisterende terreng

Alternativ 1 representerer en relativt tradisjonell portalkonstruksjon, se Figur 2-23. Terrenget over konstruksjonen legges til eksisterende nivå bak påhugg, og føres i skråning 1:2 til vegnivå og avslutning av portalåpning. I eksempelet er det lagt til grunn 10 m overfylling over portalen ved påhugg. Dette er en løsning der inngrepene som er gjort ved utsprengning av forskjæringen er forsøkt skjult ved å istandsette portalområdet.

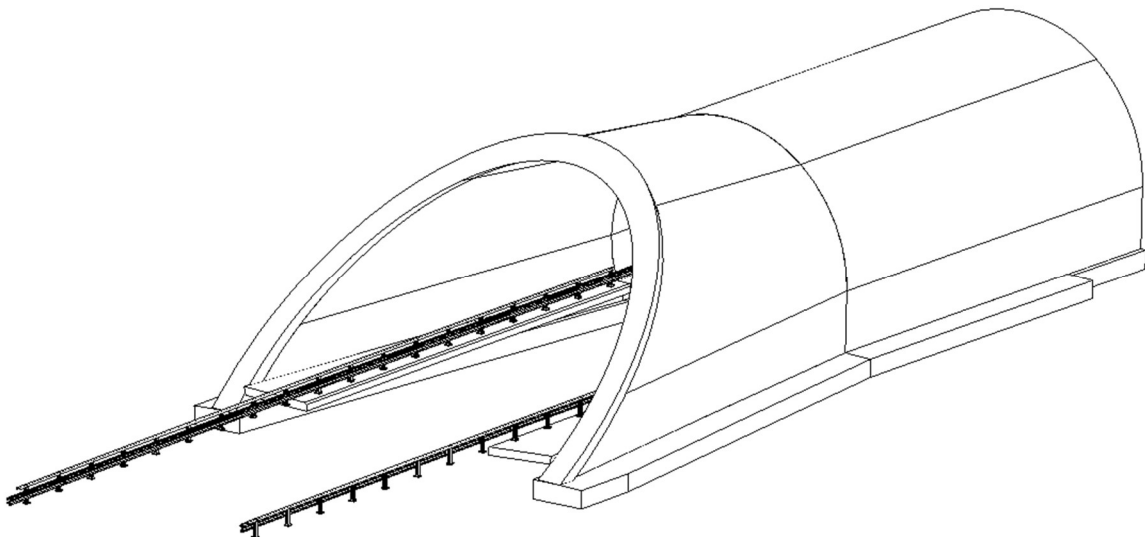
Som figuren viser innebærer dette en betydelig overfylling over og på sidene av portalkonstruksjonen, i dette eksempelet over en lengde på ca. 40 meter. Tilbakefyllingshøyden over portalen vil avgjøre lengden av portalen og belastningen på konstruksjonen.



Figur 2-23 Lengdesnitt, alternativ 1 (lang portal)

Det er gjort en overslagsberegning av totalt klimagassutslipp for alternativ 1 og 2 med utgangspunkt i de forutsetninger og begrensninger som er gitt ovenfor, se Tabell 2-7. Overslaget for alternativ 1 viser et totalt utslipp tilsvarende 361,8 tonn CO₂-e for etablering av konstruksjonen. Dette utgjør et utslippstall på ca. 750 kg CO₂-e/m² (prosjisert flateareal) for konstruksjon.

Kostnadsoverslaget viser en total pris på ca. 6,7 mill.kr., tilsvarende en kostnad på ca. 14.000 kr/m² portalkonstruksjon. Forholdstall for utslipp og kostnad forbundet med etablering av konstruksjonen tilsvarer 54 tonn CO₂-e/mill.kr.

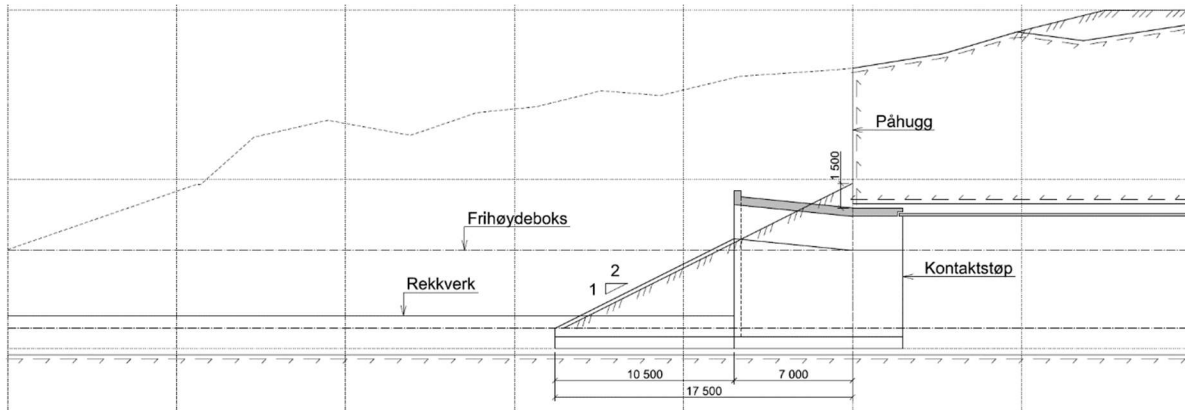


Figur 2-24 3D-skisse, alternativ 1 (lang portal)

Alternativ 2 – minimert portallengde med utgangspunkt i trafikkinnføring og rassikring

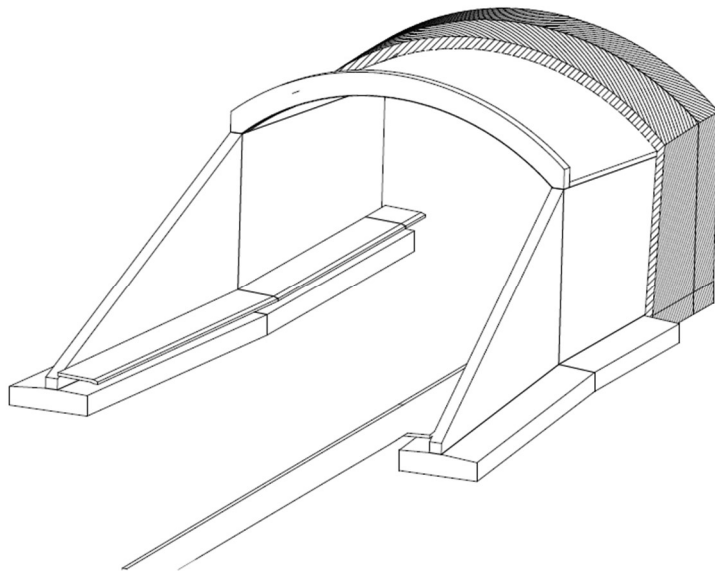
Alternativ 2, som vist på Figur 2-24, illustrerer en løsning hvor portalkonstruksjonen er forsøkt minimert. Løsningen søker kun å ivareta krav i henhold til konstruksjonens funksjon, der

formingsmessige grep er redusert betraktelig. Portalkonstruksjonen er begrenset til 7 m overbygg, med ca. 10 m lange vingemurer som føres videre for å lande terrenget. Terrenget på toppen av forskjæringen renskes for å forhindre mulig nedrasing av masser. Avhengig av bergkvalitet vil dette alternativet muligens ha behov for større grad av bergsikring enn alternativ 1, hvor utfall av berg er sikret i permanent situasjon ved bruk av tilbakefylte masser. Dette er ikke hensyntatt i overslagsberegningene.



Figur 2-25: Lengdesnitt, alternativ 2 (kort portal)

Overslagsberegning forbundet med bygging av alternativ 2 viser et totalt utslipp tilsvarende 121,8 tonn CO₂-e, se Tabell 2-8. Dette utgjør et utslippstall på 580 kg CO₂-e/m² (projsert flateareal) for konstruksjonen. Kostnadsoverslaget viser en total pris på ca. 2,2 mill.kr., tilsvarende en kostnad på ca. 10.300 kr/m² portalkonstruksjon. Forholdstall for utslipp og kostnad forbundet med etablering av konstruksjonen tilsvarer 56 tonn CO₂-e/mill.kr, og samsvarer godt med alternativ 1.



Figur 2-26 3D-skisse, alternativ 2 (kort portal)

Overslagsberegningene viser at de formingsmessige grepene, utført for alternativ 1 utover den minimerte løsningen i alternativ 2, medfører en tredobling av utslippet forbundet med bygging av konstruksjonene. Beregningene viser videre at de landskapsmessige grepene som er foretatt for alternativ 1 også medfører økt utslipp pr. kvm portalkonstruksjon, hhv. 750 og 580 kg CO₂-e/m² for alternativ 1 og 2. Eksempelet viser at alternativ 1 gir et tillegg i utslipp fra bygging på ca. 240 tonn

CO₂-e. I mange tilfeller vil portalsonen bestå av to portalkonstruksjoner, hhv. for inngående og utgående trafikk. Den totale forskjellen i utslippsmengde vil altså dobles.

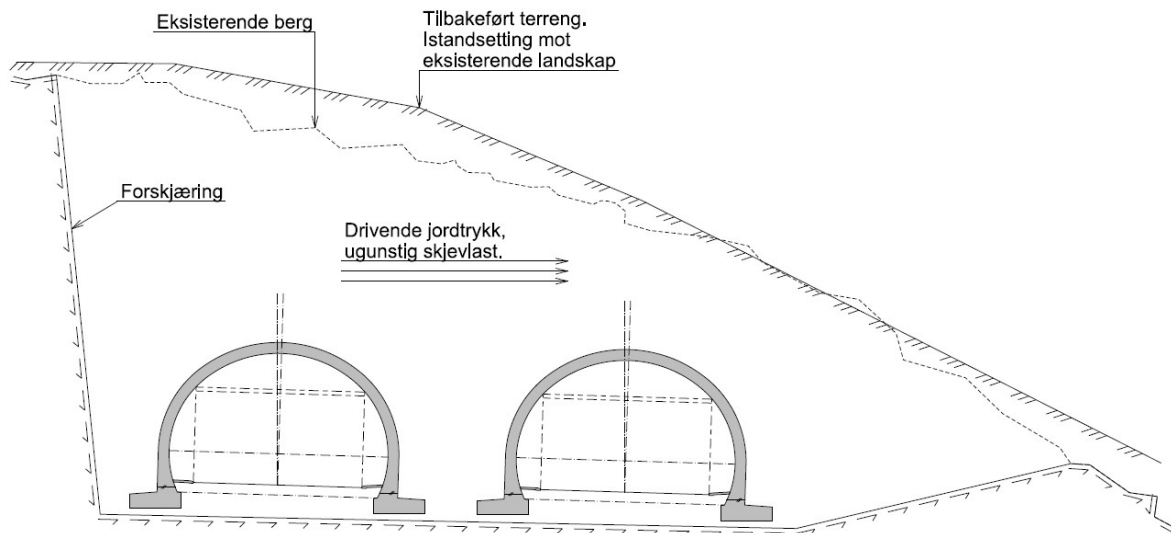
Eksempelet viser at det er viktig at portalløsningen også vurderes med tanke på bærekraft. Formingsmessige tiltak i prosjekteringen må veies opp både mot kostnader og utslipp for å kunne fatte en bærekraftig beslutning. Eksempelet er ikke ment å peke på hvordan estetiske og landskapsmessige tiltak kan bidra til økt utslipp og kostnad, men å illustrere konsekvensene av de valgene som tas. Bærekraft må være en del av beslutningsgrunnlaget dersom klimakrav skal innfris.

Tabell 2-8 Overslagsberegninger, alternativ 2 kort portal

Prosess	Hovedprosess	Måltid	Materiale	Mengde	Kostnad		Utslippsfaktor	Karbonavtrykk byggetase		Karbonavtrykk livsløp	
					Enhet	Sum kost		Enhet	Verdi	Sum utslipp	Enhet
					[kr ekskl mva]	[kr ekskl mva]	Type	Enhet	Verdi	[kg CO ₂ -ekv.]	[kg CO ₂ -ekv.]
09.9 UFORUTSETT, 10%						166 600					
12 RIGG OG DRIFT, 20%						333 200					
81 LØSMASSEARBEIDER											
Graving løsmasser (ikke mediant)		Løsmasser	m ³	0	150	-					
Graving sprengt berg (ikke mediant)		Løsmasser	m ³	0	150	-					
Utleieg løsmasser		Løsmasser	m ³	750	250	187 500	Utleieg løsmasser over vann	kg CO ₂ /m ³	0,80	600	600
82 BERG											
Sprengning (ikke mediant)		Berg	m ³	0	500	-					
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN											
84 BETONGARBEIDER											
Underbygning fundamenter											
Forsikling		Forsikling	m ²	40	1 000	40 000	Valgfri hud	kg CO ₂ /m ²	0,00	0,00	0
Armering		Armering	tonn	8	15 000	120 000	BESONC-verlig	kg CO ₂ /tonn	2000,00	16 000	16 000
Betong		Betong	m ³	70	1 600	112 000	B45 WF-40 - middels (A)	kg CO ₂ /m ³	240,00	16 800	16 800
Overbygning og vinger											
Sillas fra bakken, forsiklingsvegn		Pis	m ²	75	1 500	112 500	Frittsvevende	kg CO ₂ /m ²	0,00	0,00	0
Forsikling		Forsikling	m ²	420	900	378 000	Bent	kg CO ₂ /m ²	0,00	0,00	0
Armering		Armering	tonn	14	15 000	210 000	BESONC-verlig	kg CO ₂ /tonn	2000,00	28 000	28 000
Betong		Betong	m ³	110	1 600	176 000	B45 WF-40 - ingen krav (C)	kg CO ₂ /m ³	390,00	39 000	39 000
87 BRUBELEGNING, UTSTYR OG SPESIALLAB.											
Menntan		Menntan	m ²	220	300	66 000	Edukisering A2-2 - prefabrikkert	kg CO ₂ /m ²	8,00	1 760	1 760
Kjøpersterki rekkverk		Rekkverk	m	66	4 000	264 000	Bruttekkverk H2 - betong	kg CO ₂ /m	288,00	19 008	38 016
SUM						2 168 800				121 768	140 776
Frt bredde bru		12,0	m								
Lengde overbygning		17,5	m								
Areal bru		210	m ²								
Kostnad/m ² og kg CO ₂ -ekv./m ²						10013	kr/m ²			580	kg CO ₂ -ekv./m ²
Forhold utslipp-kost						56,223	[tonn CO ₂ -ekv. / mill.kr]	etablering			
						65,000	[tonn CO ₂ -ekv. / mill.kr]	leved			

Noen betraktninger i forhold til konstruksjoner i fylling.

Eksempelet over viser den materialreducerende effekten av å redusere portallengden og overfyllingshøyden. I mange tilfeller vil dette også gi mindre skjevfilling mot konstruksjonene. Sirkulære tunnelportaler er godt egnet til å bære jevnt fordelte og symmetriske laster. Det burde derfor legges vekt på utforming av terreng over portaler slik at lastene i størst mulig grad blir jevnt fordelte og symmetriske. Ved stor skjevfilling mot portalene vil ikke den buede formen lenger være optimal, og dette vil gi økte dimensjoner og armeringsmengder.



Figur 2-27: Eksempel på ugunstig skjevlast på portalkonstruksjoner

2.4 Tiltak i byggefasen

Ved overgang fra planleggingsfase til byggefase skjer det ofte utskiftninger i prosjektorganisasjonen som vanskeliggjør erfaringsoverføring fra planleggingsfasen til byggefasen. Vurderingene knyttet til klimagassreducerende tiltak og oppmerksomheten rundt dette kan bli skadelidende som en følge av dette.

I byggefasen er det viktig at de forutsetninger som er lagt til grunn i kontrakten/byggeplanen beholdes. Bruk av andre materialer, løsninger eller bruk av annen utførelse kan ha stor innvirkning på sluttresultatets karbonavtrykk. Hvis prosjekteierens miljøambisjoner skal etterleves, er det viktig at søkelyset på dette holdes ved like både gjennom planleggings- og byggefasen. For å oppnå dette er det viktig å kreve EPD'er på de materialene som inngår i klimaregnskapet. Da kan det kontrolleres at prosjektets miljømål vil bli nådd før byggearbeidene iverksettes.

I byggefasen vil andre og tilsynelatende mer presserende problemstillingen kunne ta oppmerksomheten bort fra aktuelle klimatiltak. Byggeledelsen kan tenkes å ville overstyre miljøkrav/forutsetninger i kontrakten grunnet blant annet:

- Fremdrift
- Økonomi
- Mangel på historikk, forutsetningene fra prosjekteringen er ikke viderekommunisert godt nok.
- Mangel på kontroll og oppfølging av utførelse.

Ved utførelse av betongarbeider vil en rekke valg i utførelsesfasen kunne gi økte utslipp av klimagasser som følge av en eller flere av følgende faktorer:

- Det bestilles betong med høyere synkmål, redusert steinmengde eller redusert steinstørrelse for å lette arbeidet med utstøpning.
- Betong med høyere andel sement bestilles for å redusere ventetiden før riving av forskalling.
- Tegninger og beskrivelse stemmer ikke overens ; klimakrav i kontrakten reflekteres ikke på tegninger.

Det anbefales at byggherren krever at entreprenørens betongreseptlister skal forhåndgodkjennes av byggherren. Slik kan det sikres at gjeldende krav til kvalitet og dokumentert miljøbelastning bli ivaretatt. Endringer i reseptlistene må selvfølgelig også godkjennes av byggherren.

3 Optimalisering av løsning og metode

3.1 Konstruksjonsoptimalisering

Med konstruksjonsoptimalisering menes tiltak i prosjekteringsfasen som kan gjøres for å redusere dimensjoner og på den måten redusere forbrukte mengder. Dette punktet vil i all hovedsak gjelde det store flertallet av konstruksjoner med lengder opp til 200 meter. Når det gjelder de større bruene som hengebru, skråstagsbru, fritt frembyggsbru, flytebru etc, vil disse normalt være optimalisert på grunn av utfordringer til spennvidder, kostnad for fundamentering, anleggsgjennomføring og annet.

Klimagassutslippet fra en konstruksjon er direkte proporsjonal med mengden materialer som er forbrukt. Det sier seg selv at reduseres mengden materialer, reduseres klimagassutslippet. Levetid er også en faktor i en optimalisering. Dersom løsning gir redusert behov for vedlikehold eller utskiftninger av konstruksjonselementer, reduseres klimagassutslippet også da det regnes ut fra total levetid på konstruksjonen.

Det er også viktig å merke seg at kun endring på ett av materialene ikke nødvendigvis gir lavere utslipp. For eksempel er mengden armering avhengig av mengden og typen betong.

3.1.1 Bruk av avanserte beregningsverktøy

I utgangspunktet skal det alltid i prosjekteringen tilstrebes å optimalisere konstruksjonene for å oppnå lavest mulig pris. Likevel er det ofte slik at de resulterende konstruksjonene ikke er så optimalisert som de kunne vært. Dette har ulike årsaker:

- Valg av etablerte løsninger
- For kort tid satt av til prosjektering (kalendertid, konkurransepress på antall prosjekteringstimer, korte frister ved totalentrepriser, m.m.)
- Mangel på kompetanse hos prosjekterende i bruk av avanserte verktøy og analyser
- Konservante antagelser i form av generalisering av laster og geometri for å forenkle prosjekteringen og ha mer transparent dokumentasjon, som kan forkorte godkjenningsprosessen
- Generalisering for å unngå variasjoner i tverrsnitt/armering/geometri eller konstruksjonstype for å forenkle og forkorte byggetid
- Ønske om en robust konstruksjon av prosjekterende eller byggherre, der robusthet forveksles med overdimensjonert konstruksjon
- Uklart og upresist regelverk som resulterer i altfor konservative antagelser i prosjekteringen (jordtrykk på nedgravde konstruksjoner er et typisk eksempel)

Det er potensiale for optimalisering av alle typer konstruksjoner. Likevel er det noen konstruksjonstyper som peker seg ut. Størst potensiale har konstruksjoner som det bygges mest av; støttemurer, kulverter, portaler og korte bru. For bru med lang spennvidde er det oftest bæreevne og statisk virkemåte som driver optimaliseringen. Dessuten utgjør lange bru kun en liten del av det totale mengde samferdselskonstruksjoner.

3.1.1.1 Eksempel portalberegning

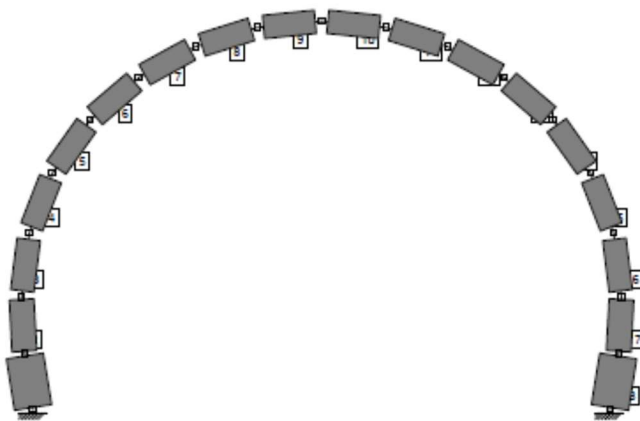
Under er det vist et eksempel på en enkel portal som er beregnet på to forskjellige måter. Portalen har et T10,5 tverrsnitt, 20 m lengde, 450 mm tykkelse og varierende oppfylling fra 0 m ved inngangen til 10 m ved kontaktstøpen. For enkelthets skyld er portalen regnet kun i *bruddgrensetilstand*.

Eksempelet er en teoretisk beregning brukt for sammenlikning av to beregningsmåter, og ikke en ferdig prosjektert portal.

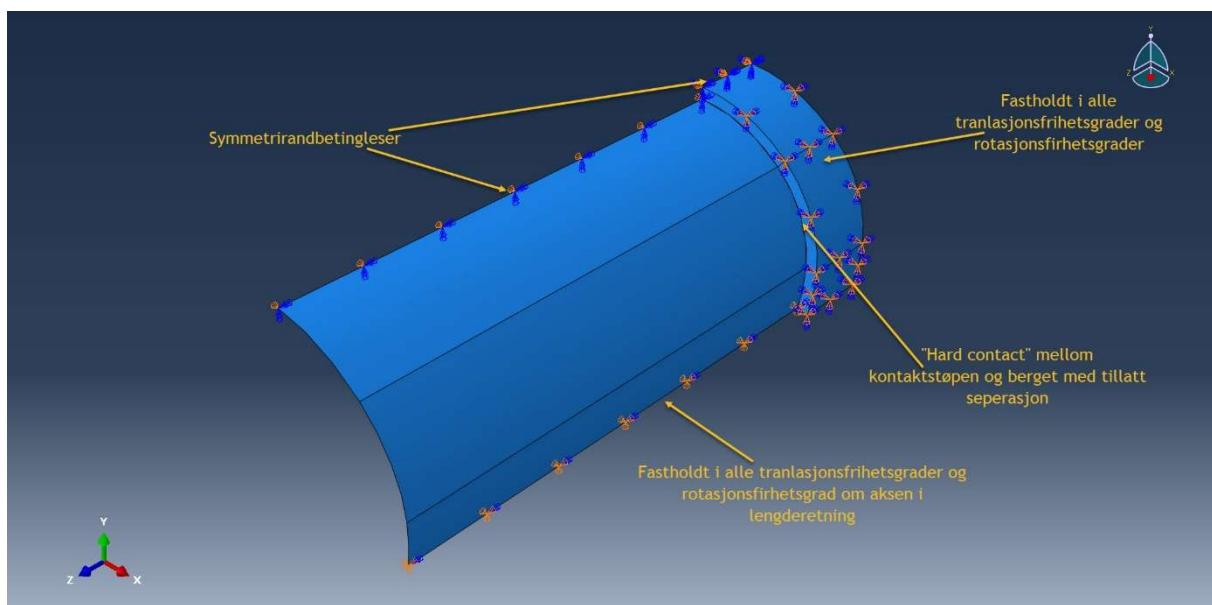
Beregningene baseres på:

1. 2D Rammeberegning i to snitt – med 5 m oppfylling og 10 m oppfylling. Armering er regnet for hånd, og det er valgt å føre konstant armering 0-10 m og 10-20 m. Elementer er rette og har konstant tykkelsen.
2. 3D beregning med FEM program Abaqus, med nøyaktig modellert sirkulærtverrsnitt og varierende tykkelse. Kontaktstøpen er modellert med kontaktelementer som tar trykk, men ikke strekk. Oppfylling er modellert med varierende høyde. Til dimensjonering er det brukt Process, som er et dimensjoneringsverktøy for armerte skallelementer. Process benytter en ikke-lineær materialmodell for betong.

Beregningsmodeller er vist under, resultater er gjengitt i vedleggene.



Figur 3-1 2D beregning, T10.5, 450mm



Figur 3-2: 3D beregning, T10.5, 450mm

Resultatene viser at det er en klar fordel med 3D-modellering. Modellering av kontaktstøpen gjør at en fanger opp bæring i to retninger i enden av portalen der oppfyllingen er størst. Dermed er bunnen av portalveggene i nærheten av kontaktstøpen kraftig avlastet og lastvirkningene er redusert. I tillegg er tykkelsen og geometri av portalveggene modellert mer nøyaktig. Nødvendig armering beregnet med Process tilsvarer hovedsakelig minimumsarmering. Det er ikke behov for skjærarmering.

2D-beregningene gir mer tverrarmering mot kontaktstøpen. Videre er det nødvendig med mye skjærarmering.

Besparelse i materialet er vist under. Det bør nevnes at fundamentene av portalen ikke er beregnet. Det vil være betydelig forskjell i fundamentstørrelse mellom to modeller ettersom forskjellen i reaksjonskrefter er ganske stor.

Armering med 2D beregninger: 30 tonn

Armering med 3D FEM beregninger: 22,5 tonn.

Dette betyr at reduksjon i armeringsmengder ved bruk av mer avanserte beregninger i dette tilfellet er ca 33% (gitt samme betongtverrsnitt)

Ved bruk av 2D-beregninger vil det være behov for skjærarmering. Dette er normalt ikke ønskelig og er tidskrevende for entreprenøren å legge. Derfor har det vært vanlig å øke tverrsnittstykkelsen for å redusere behovet for skjærarmering. Det er ikke uvanlig å ha 600-700 mm tykkelser for portaler med så stor overfylling. Sammen med økte fundamenter vil dette føre til betydelig økte mengder av betong, ca 50%. I det tilfellet vil ikke armeringsmengdene bli særlig påvirket av tykkere tverrsnitt.

3.1.1.2 Konklusjon eksempel beregning portaler

Vi mener at beregningseksemplet tydelig viser hvilke mulige besparelser det er mulig å oppnå ved å benytte mer avanserte beregnings- og modelleringsverktøy. Dette vil ikke bare spare samfunnet for klimagassutslipp, men det vil sannsynligvis også gi reduserte kostnader ved at forbrukte mengder blir mindre.

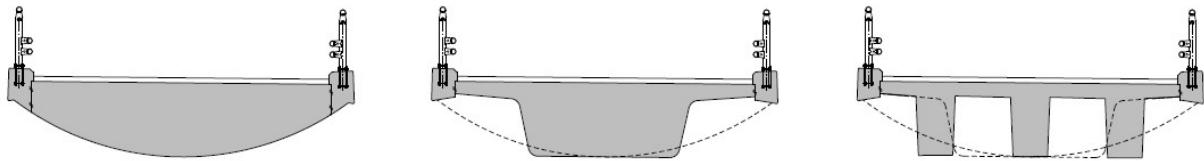
Det bør stilles krav til prosjekterende om optimaliserte konstruksjoner, og overlate til dem å velge metode og verktøy. Det som kan være aktuelt å bruke er:

- 3D FEM modellering med nøyaktig modellering av geometri og randbetingelser
- Ikke-lineære analyser eller dimensjonering med ikke-lineær betongmodell
- Samvirkeanalyser av nedgravde konstruksjoner,
- Bruk av lavere sikkerhetsfaktorer kombinert med strengere kontroll ved utførelse,

3.1.2 Vektreduserende utsparinger

Platebruer og tverrsnitt med avrundet underflate er ofte ansett til å være estetisk tiltrekkende. Dessuten er slike tverrsnitt mer fordelaktige med hensyn til bestandighet, fordi de gir minimal overflate i forhold til volum, dvs. flaten som er utsatt for miljøbelastning er mindre enn for en bjelkebru.

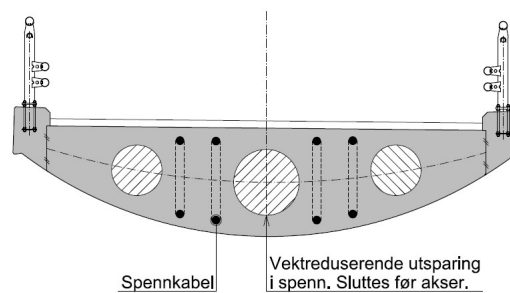
En ulempe med platebruer og avrundede tverrsnitt er at de ikke er økonomiske, og de gir mye unødvendig egen vekt. Den økte mengden betong i overbygningen har flere konsekvenser: tung overbygning fører til mer krevende fundamentering, mer reis, lengre byggetid. Alt dette gir høyere CO₂-e utslipp.



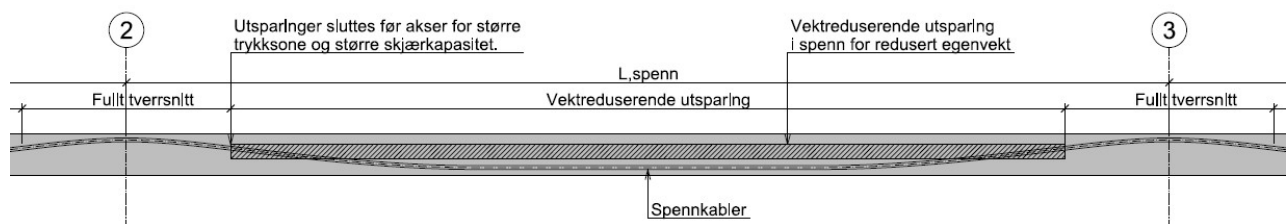
Figur 3-3: Utforming underside bru.

En mulig mellomløsning som kombinerer fordeler fra begge alternativer kan være bruk av vektreduserende utsparinger. Håndbok N400 *Bruprojektering* åpner for det (pkt. 7.9.1) og stiller krav til utforming av utsparinger slik at de ikke påvirker bestandighet og god utstøpning. Bruk av utsparinger er mye brukt i boligbygging (bubble deck, hulldekkeelementer osv.) Pr i dag er potensialet lite utnyttet i brubygging. Utsparingene kan også brukes i spennarmerte bruer. Utsparingene må da plasseres på en slik måte at spennkabler kan legges mellom dem.

Dette er forsøkt vist i figur 3-4 og 3-5, som illustrerer hhv. tverrsnitt med spennkabler og vektreduserende utsparinger samt lengdesnitt av et bruspenn med typisk spennkabelføring og området med vektreduserende utsparinger.



Figur 3-4: Tverrsnitt, bruoverbygning med spennkabler og vektreduserende utsparinger

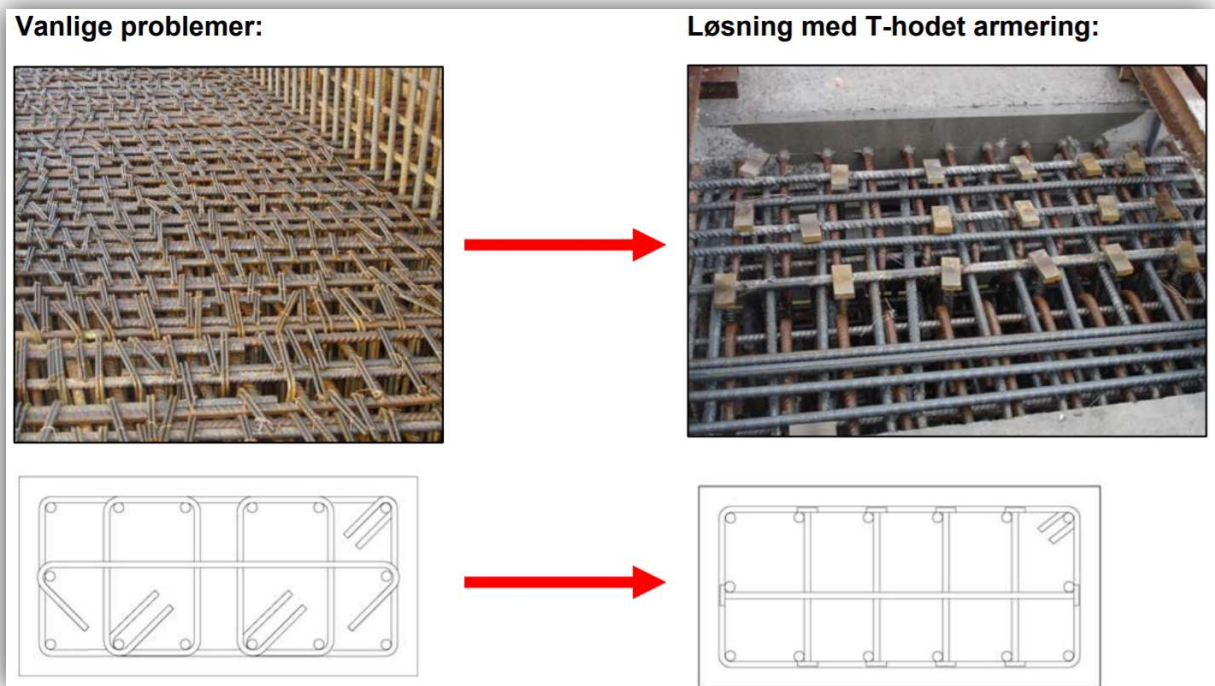


Figur 3-5: Lengdesnitt, bruspenn med spennkabler og vektreduserende utsparinger

3.1.3 Utnyttelse og detaljering av armering

I konstruksjoner med særlig tett armeringsføring kan det bli problematisk med utstøpning av betongen. Dette gjelder eksempelvis i områder med skjærbøyler eller rundt forankringen av spennarmering. I de lokale områdene kan dette føre til at entreprenøren velger en betong med redusert steinmengde,

høyere synk og redusert steinstørrelse. Disse resepttekniske tiltakene fører til økte klimagassutslipp på grunn av økt bindemiddelmengde i betongen. For å redusere armeringsmengden i områder med tett armering kan det benyttes smarte løsninger som skjøtearmering for reduksjon av omfar og t-hoder i stedet for bøylor. Et eksempel hvor skjærbøylor er erstattet av t-hoder er vist i Figur 3-6.



Figur 3-6 Eksempel på tett armeringsløsning ved bruk av skjærbøylor og hvordan dette kan løses ved bruk av t-hoder [<https://www.hrc-europe.com/pdf/info-HRC-TH-armering.pdf>]

Ved bruk av skjøtekoblinger kan det også være store besparelser i armeringsmengder pga. reduksjon i armeringsomfar. Ved bruk av $\varnothing 25$ armering vil omfarslengden normalt være $50\varnothing$. Dvs. 1,25 meter armeringsomfar per skjøt som vil veie $3,85 \text{ kg/m} \times 1,25 \text{ m} = 4,8 \text{ kg}$. Vekten av skjøtekoblingen minus lengden armeringsstang den erstatter gjør at innspart vekt blir i overkant av 4,5 kg per skjøt avhengig av produkt som velges.

Hvilken kostnad bruken av skjøtekoblinger har varierer mellom produktene og prosjektene, men Norconsult erfarer at kostnader til skjøtekoblinger dekkes inn i innspart stålmengde og spart tid i arbeid på byggeplassen ved dimensjoner fra $\varnothing 25$ og oppover.

Eksempelvis på Stubberudmyra bru i Oslo ble det brukt 2000 stk $\varnothing 25$ stenger med skjøtekoblinger. Dette ga en innsparing på ca. 9000 kg stål i tillegg til fordeler som i forbindelse med faseomlegging av trafikken.

3.2 Forskalingssystem og byggemetode

Byggemetode kan påvirke totalt utslipp av klimagasser ved at tiltak i anleggsfasen for sikker herdning og ønsket framdrift påvirker den endelige konstruksjonen.

Type forskalingssystem og byggemetode er normalt et entreprenørvalg. Deres valg avhenger ofte av følgende faktorer:

- Tilgjengelig utstyr
- Byggeplassens beliggenhet og tilgjengelighet
- Behov for støttekonstruksjoner i byggefasen sett i forhold til det konstruksjonen skal krysse over eller langs.

De fleste entreprenører som bygger bruer vil benytte systemforskaling som gjenbrukes mange ganger. I hvilken grad disse gjenbrukes er usikkert og vanskelig å skaffe opplysninger om. Vi vil anta at klimagassutslippet i mindre grad påvirkes av hvilken type forskalingssystem som brukes på byggeplassen. For eksempel kan bruk av metode for å krysse en elv enten gjøres ved midlertidig å fylle ut i vassdraget eller ved å bruke en forskalingsvogn. Hvilket alternativ som kommer best ut med hensyn til klimagassutslipp vil være helt prosjektavhengig. Vi har derfor ikke vurdert dette punktet nærmere enn å påpeke at valg i forbindelse med forskaling påvirker det endelige klimagassutslippet.

Som nevnt i kapittel 4 vil strenge krav til lave utslippstill påvirke betongens egenskaper:

- Betongens konsistens kan måtte endres for å innfri krav til utslipp. Betonger med bløtere konsistens har høyere innhold av bindemidler, noe som bidrar til høyere CO₂-utslipp knyttet til konstruksjonen. Lavkarbon klasse A krever lave konsistenser (160-180 mm) for mange betongblandeverk rundt om i landet.
- Betongens avbindingstid og herdeforløp endres ved bruk av tilsetningsmaterialer som slagg og flygeaske. Dette kan føre til lengre støpetid og lengre tid før riving av forskalling og belastning av konstruksjonen med f.eks. oppspenning av spennarmering.
- Ved tregere fasthetsutvikling kommer også krav til at herdetiltak skal vare lenger siden det tar lengre tid før betongoverflaten blir tett. Dette vil føre til at betongkonstruksjoner må tildekkes i lengre perioder enn med dagens praksis.
- Ved krav til lavere utslipp for konstruksjoner som produseres i fabrikk, kan dette føre til omlegginger i produksjonen. Dette kan resultere i at f.eks. prefabrikkerte elementer blir dyrere og fabrikkene får lavere kapasitet, evt. økte utgifter til oppvarming for å kompensere for betongens reduserte egenskapsutvikling.

3.3 Dimensjonerende brukstid

3.3.1 Bruer

Ved betraktning av konstruksjonenes levetid har håndbok N400 *Bruprosjektering* lagt til grunn en dimensjonerende brukstid på 100 år. Definisjonen på dimensjonerende brukstid er ifølge håndbok N400 *Bruprosjektering*:

Dimensjonerende brukstid: Den forutsatte tidsperioden en konstruksjon eller en del av denne, med et tiltenkt formål og med antatt vedlikehold, skal kunne brukes uten at det skal være nødvendig med omfattende reparasjon.

Det er sjelden slik at en vegkonstruksjon har behov for en dimensjonerende brukstid på 100 år. Det er et fåtall av dagens vegkonstruksjoner som ble bygget før andre verdenskrig. Historisk sett er det ingen ting som tyder på at de vegene vi bygger i dag vil være dimensjonert for trafikkveksten de neste 100 årene.

En endring av dimensjonerende brukstid til 70 eller 50 år ville teoretisk kunne gi lavere krav til overdekning av armering og dermed redusere det totale CO₂ avtrykket. Det er ut fra et drifts- og vedlikeholdshensyn likevel lite sannsynlig at det kan bli aktuelt å redusere dimensjonerende brukstid.

3.3.2 Kaier

Ferjekaier dimensjoneres for 50 års brukstid. I prosjekteringen blir dette innarbeidet ved at dimensjonerende trafikklast multipliseres med en faktor 0,8. Betongens bestandighetskrav er de samme som med 100 års brukstid, og det er også overdekningskravene. Alle ferjekaier i saltvannsmiljø er i miljøkategorien som gir $C_{min, dur}$ på 100 mm.

Utskiftingsfrekvensen av ferjene på en ferjestrekning kan være stor. Konesjon for ferjedrift gis vanligvis for en period på 10 år, men ofte vil samme ferjeselskap kunne tildeles driften i flere påfølgende perioder. Behovet for tilpasninger og ombygginger av en ferjekai kan være stort. Økt trafikkmengde kan i løpet av kort tid gi behov for en større ferjelem. Nye behov kan også dukke opp som følge av endringer i trafikk sammensetningen (person- eller tungraffikk), og det kan være store sesongvariasjoner.

Man ser også forskjell i brukstid på brubåsen og tilleggskai. Ofte kan tilleggskai bli brukt i opptil 100 år, mens brubåsen med bevegelig bru samt hydraulikk kan bli skiftet ut før oppnådde 50 års brukstid, ofte bare etter 15-20 år. Dette gjøres for å tilpasse seg til økt trafikkmengde, nye typer ferjer og for å innarbeide teknologiutvikling. Tilleggskai kan enkelt forlenges eller utvides for å tilpasses nye behov. Derfor anbefales det å skille mellom brubåsen og tilleggskai med hensyn til dimensjonerende brukstid.

Innføringen av el-ferjer og hydrogen de siste årene har skapt nye behov for infrastruktur. I hovedsak går det ut på å etablere løsninger for automatisk fortøyning og ladestasjon. Dette krever en del mer plass på kai, og det genererer mange kaiombygginger. Dette vil vi se mer av i årene som kommer.

En ferjekai er utsatt for skader på grunn av påkjørsler. I den sammenheng kan det være farlig å optimalisere konstruksjonen for mye. Det er sannsynlig at man har unngått store skader på mange ferjekaier fordi konstruksjonen har vært noe overdimensjonert. Håndbok N400 Bruprosjektering stiller krav om en duktil oppførsel av tilleggskai ved en påkjørsel. Det er også spesifisert krav til maksimal reaksjonskraft ved en angitt ulykkesituasjon. Dette er for å øke sikkerheten og redusere potensielle skader på ferje, mannskap og reisende.

For ferjeleier er det svært mange faktorer som påvirker valget av materialer, brukstid, robusthet og utskiftingstakt. Vi anbefaler derfor at det i en tidlig fase av prosjektet alltid gjøres en grundig vurdering av alle forholdene omtalt over, og at klimagassutslipp også inkluderes i dette arbeidet.

3.4 Levetidsforlengelse og rehabilitering av eksisterende konstruksjoner

Selv om alle bruer dimensjoneres for 100 års levetid er det på grunn av endrede bruksforutsetninger sjelden at de vil ha en så lang levetid i praksis. I vurderingene gjort i denne rapporten er det forutsatt at alle konstruksjoner skal ha en levetid på 100 år. I tilfeller der eksisterende konstruksjoner skal utvides, vil ny brukstid måtte vurderes som en del av dimensjoneringen.

Gjenbruk av eksisterende konstruksjoner kan gi betydelige besparelser i et klimagassbudsjett. Noen av ulempene ved å rive en eksisterende konstruksjon kan reduseres ved at all betong knuses opp og tillates å karbonatisere i friluft. Da kan 20-25% av CO₂'en hentes tilbake over tid. Dette forutsetter god spredning av de knuste massene. Det oppnås ved f.eks. å bruke dem i gabioner eller legge dem ut i vegoverbygninger. Det kan også stilles krav til resirkulering av armeringsstål og gjenbruk av andre materialer fra riveprosessen.

Ofte er det krav til oppetid i et eksisterende veganlegg som gir behov for å beholde og/eller modifisere en eksisterende konstruksjon.

Prosjekteringen av en slik løsning kan ofte være komplisert, og løsningen kan bli kostbar. I tillegg vil også eksisterende løsning måtte gjennomregnes og kontrolleres. Tegninger og beregninger finnes som regel for konstruksjoner som har vært gjennom Vegdirektoratets kontroller. Grunnlagsdataene for

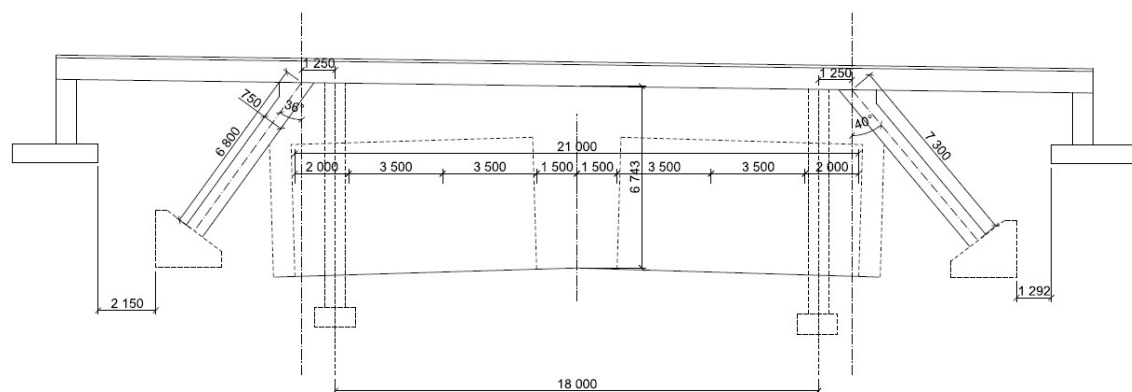
andre konstruksjoner langs kommunale vegger er ofte mangelfulle. Det vil da være behov for å gjøre konservative antakelser. Omprosjektering og gjenbruk av en eksisterende konstruksjon vil etter vår erfaring normalt ikke gi noen besparelse sammenlignet med å prosjektere og bygge en ny, men klimagassregnskapet vil kunne være positivt.

Ved gjenbruk av eksisterende konstruksjonsdeler må det gjøres en totalvurdering av alle relevante faktorer. Faktorer knyttet til en levetidsforlengelse vil bl.a. være:

- Kostnad for prosjektering
- Drift og vedlikehold
- Tekniske utfordringer forbundet med å bygge sammen gammelt og nytt
- Kompromiss i løsninger
- Restlevetid i eksisterende komponenter
- Faseplaner og anleggsgjennomføring

Under er det gitt et par eksempler på ombygging av konstruksjoner som følge av oppgraderte veganlegg.

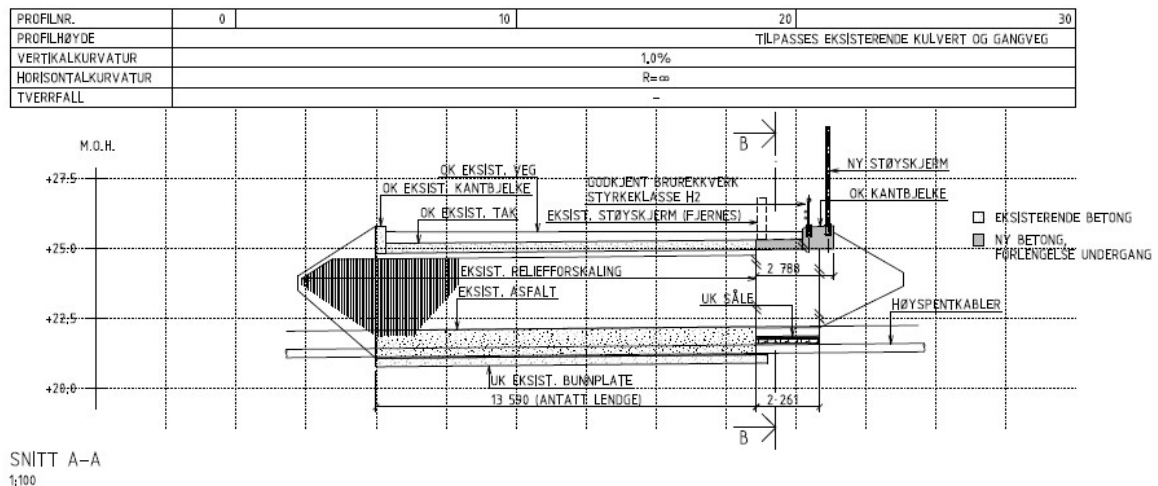
Figur 3-2 viser et eksempel på ombygging av eksisterende bru for å gi plass til flere kjørefelt under brua ved å flytte eksisterende søyler (stiplet) vekk fra ny vegbane.



Figur 3-7 Ombygging av eksisterende slakkarmert bru.

I et slikt tilfelle kan eksisterende bruoverbygning og landkar gjenbrukes. Kun to pilarer må rives og nye må etableres. Rivemasser fra eksisterende pilarer vil kunne brukes i et deponi for å gi mulighet for karbonatisering av rivemassene og resirkulering av stålet. Effekten av resirkulering av stål kan ikke tilgodeskrives prosjektet, da det må legges til grunn at dette stålet kommer tilbake til prosjektet som nytt resirkulert stål der effekten er innkalkulert. Når det gjelder knust betong og karbonatisering av dette, vil det kunne tilgodeskrives prosjektet dersom det gjøres spesifikke tiltak for å få en slik prosess i gang.

Figur 3-3, viser et annet eksempel med forlengelse av en eksisterende kulvert. Forlengelsen var kun 2 meter. Eksisterende kulvert var ca 14 meter. Kulverten ble forlenget av hensyn til anleggsgjennomføring og den ble forlenget for å bli brukt i en periode på mindre enn 10 år.



Figur 3-8 Eksempel, forlengelse av kulvert

Det er ikke uten videre enkelt å konkludere med at gjenbruk av eksisterende konstruksjoner sett i et 100 års perspektiv er en fordel i forhold til klimagassutslipp. Det vil nok stemme i noen tilfeller, men i andre vil kostnader til økt innsats i prosjektering, fremtidige drifts- og vedlikeholdsutgifter og ulemper med ikke-optimale løsninger overstige fordelene og gi en dårlig kost-nytte-verdi i prosjektet.

3.5 Industrialisering

Industrialisering av byggeplasser er et virkemiddel som kan være aktuelt for større prosjekter med lange bruer eller store kaikonstruksjoner. Med industrialisering menes at en stor andel av konstruksjonselementene prefabrikeres eller masseproduseres. Dette kan gjøres på byggeplass eller i fabrikk. Et typisk eksempel er prefabrickerte brubjelker. Hvilken effekt en industrialisering av byggeprosessen vil ha på klimagassutslippene vil variere fra prosjekt til prosjekt. Kravene til nominell armeringsoverdekning i prefabrickerte elementer er lavere på grunn av egne krav til oppfølging og nøyaktighet i byggeprosessen. Dette bør det være mulig å nyttiggjøre seg også på byggeplass, dersom viljen er tilstede.

Det kan være flere grunner for å iverksette industrialisering i byggeprosessen. Hensynet til fremdrift har sannsynligvis så langt vært hovedgrunnen, men også sikkerhet og ytre miljø kan spille inn i slike beslutninger. I tillegg bør det i fremtiden gjøres vurderinger om industrialisering kan bidra til lavere (eller høyere) klimagassutslipp. Det er imidlertid også eksempler der industrialisering har ført til økte dimensjoner, f. eks. der byggemetoden har økt antall lasttilfeller på grunn av midlertidige situasjoner og byggefaser (f.eks økt moment ved støtte på grunn av midlertidig diskontinuitet i en bjelke). Det er kjent at lansering av bruer øker behov for spennarmering med en faktor på minst 2.

Håndbok N400 Bruprosjektering skiller ikke mellom konstruksjoner produsert i fabrikk og på byggeplass. Det er omfanget av kontroll og toleranser som styrer hvilke muligheter som ligger i å redusere overdekningskrav eller tverrsnittdimensjoner generelt. Her kan det i hvert enkelt prosjekt vurderes hvilken effekt dette kan få for klimagassutslippet. Normalt vil dette kun være aktuelt i prosjekter der det skal bygges mange konstruksjoner.

3.6 Redusere mengde overbetong

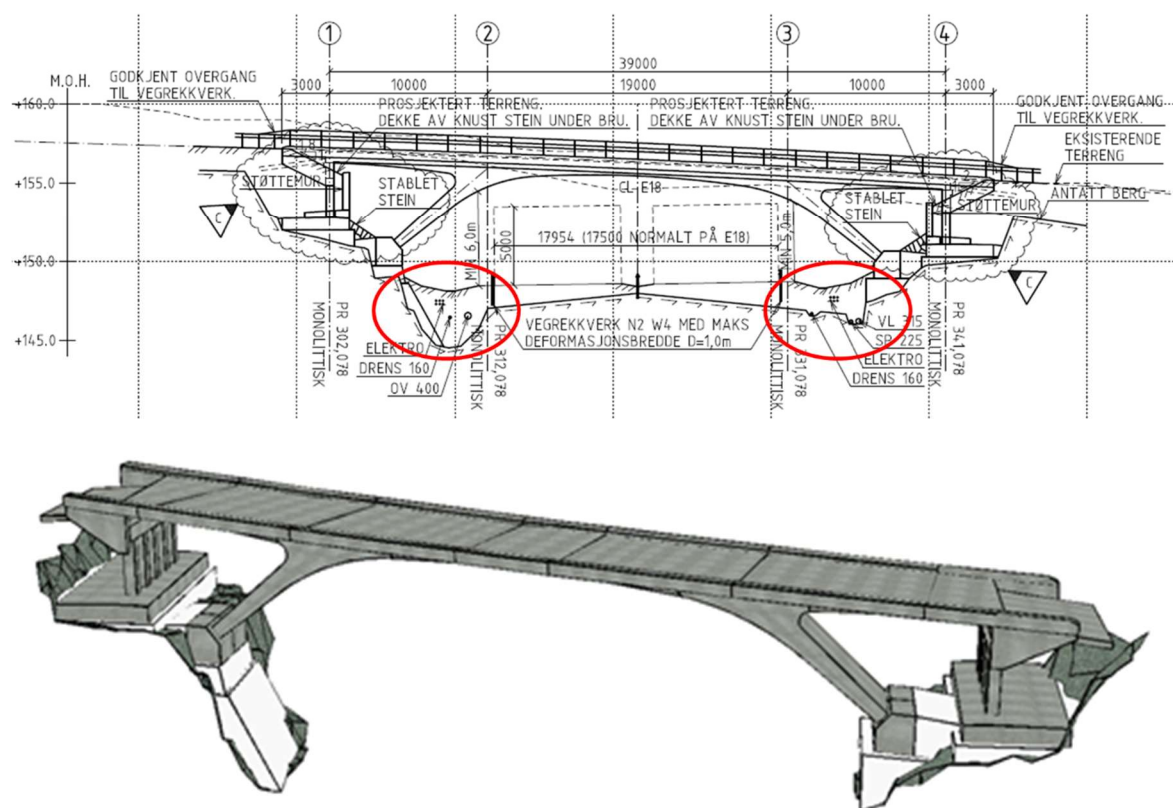
Med overbetong menes betong som brukes til for eksempel å fylle ut områder med berg som er blitt fjernet utnfor over teoretisk sprengningsprofil eller der det støpes direkte mot bergs ved bruk av ensidig forskaling.

Spørsmålet om konstruksjoner skal fundamenteres på berg eller utfylte løsmasser vender stadig tilbake. Erfaring tilsier at konstruksjoner som planlegges fundamentert direkte på godt berg ofte blir vesentlig undersprengt i praksis. Geologiske faktorer spiller også inn i slike situasjoner, ved at det blir utfall av berg på grunn av sprekker, mer berg må fjernes. Betong brukes da ofte for å bygge opp berget til teoretisk bergprofil. Dette kan øke betongmengdene vesentlig.

Noen eksempler på utførelse som har medført økt mengde betong vises under. De viser at ved bedre planlegging og koordinering i alle ledd, kan store mengder betong og armering spares.

Eksempel 1.

Sprengverksbru. Her lå de geologiske forholdene godt til rette for å bruke brutypen. I prosessen frem til endelig prosjertert produkt, ble VA- og Elektro-føringer lagt i grøfter langs fundamentet. I teorien skulle det være mulig å sprengte ut for fundamentene, mens det i praksis ikke. Her burde grøfter vært flyttet inn for å tilrettelegge for bedre fundamentering for brua.

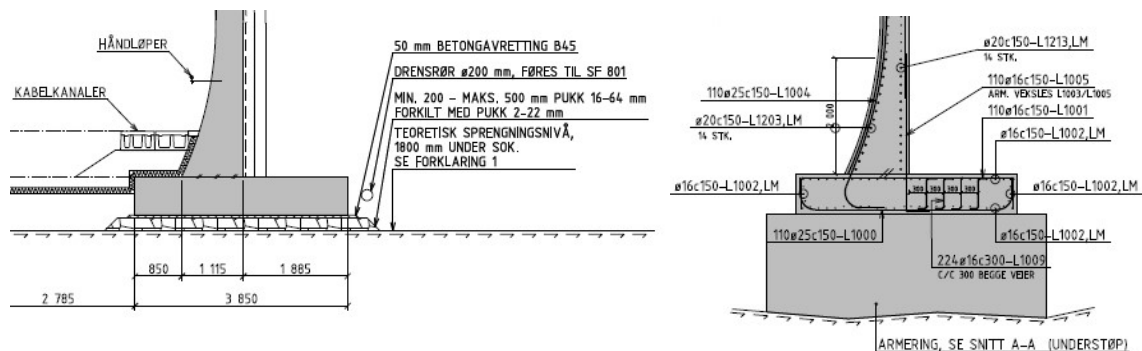


Figur 3-9 Eksempel, sprengverksbru. Overbetong vist i hvit farge

Eksempel 2:

Eksemplet under viser en typisk sirkulær kulvert (i dette tilfelle på bane, men veg er tilsvarende). Her ble fundamentet planlagt med en 200-500 mm pukkpute 16-64 mm. Det var gitt krav til entreprenør om at ved undersprengning, måtte berget støpes opp tilbake til teoretisk nivå. Underentreprenør fikk ikke

med seg disse kravene og tok godt i ved utførelse. Betongmengde i konstruksjonen økte vesentlig på grunn av dette.



Figur 3-10 Eksempel, forlengelse av kulvert

3.7 Resirkulering av materialer

I mange vegprosjekter er det mulig å benytte rivematerialer av betong, asfalt, overskuddsmasser og annet. Merk at det gjelder det strenge krav til kvaliteten av massene. Det vil ofte begrense gjenbruken av materialer i betong og asfalt, og begrense mulig overføring av materialer mellom nærliggende prosjekter.

Det bør imidlertid alltid vurderes om det er mulig å gjenbruke og resirkulere materialer. Knust betong kan brukes som tilslag i ny betong, i støttemurer med gabioner og som vegunderbygning. Dette reduserer behovet for nyvunnet materiale (uttak, bearbeiding og transport). I tillegg kan knust betong ta opp anslagsvis opptil 20-25 % av betongproduksjonens klimagassutslipp gjennom karbonatisering, dersom det knuses i riktig størrelse og legges ut med tilgang på luft.

Dersom det skal rives eksisterende konstruksjoner i prosjektet, bør armering og stålkonstruksjoner sorteres ut og leveres til resirkulering for å øke stålmarkedets kapasitet til å levere resirkulert stål. Revet asfalt bør alltid vurderes levert til gjenbruk. Regnskapsmessig kan det diskuteres hvordan en beregner konsekvenser i prosjektet og i markedet, og hvilket klimagassregnskap utslippsreduksjonen skal godskrives. I denne sammenheng bør prosjektet kunne vurdere effekter utenfor sin egen systemgrense.

4 Materialvalg

For massive konstruksjoner i store infrastrukturopdrag er det relativt få, men store materialposter som bidrar til det aller meste av klimagassutslippet fra bygging, vedlikehold, utskiftning og avhending av konstruksjonen. Klimaberegninger for en rekke store prosjekter viser at betong, stål i armering, stål i konstruksjon, masseuttak/transport, og asfalt står for det meste av klimagassutslippene. I tillegg vil spesielle forhold som dårlige grunnforhold, lange transportavstander og andre forhold kunne gi store utslipp i enkelttilfeller. I dette arbeidet har vi valgt å generalisere og avgrense slik at de relative forskjellene i materialer og konstruksjonsvalg kommer tydelig frem.

4.1 Betong

For å redusere karbonavtrykket fra selve materialet betong er det naturlig å se nærmere på bruk av lavkarbonbetong. Lavkarbonbetong er i Norsk Betongforening Publikasjon 37 (NB37) definert som betong der det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippet. Det er gjennom Norsk Betongforening Publikasjon 37 valgt å dele inn lavkarbonbetong i tre klasser A, B og C hvor A er den strengeste og C er den enkleste å oppnå.

Klassene defineres som følger:

- Lavkarbon A: den strengeste klassen, krever som regel bruk av spesielle tiltak
- Lavkarbon B: kan være vanskelig å oppnå med ordinære resepttekniske tiltak
- Lavkarbon C: kan oppnås med relativt enkle resepttekniske tiltak

Klassene for lavkarbonbetong er definert med grenseverdier for klimagassutslipp for forskjellige fasthetsklasser og bestandighetsklasser, se *Tabell 4-1*.

Tabell 4-1 Lavkarbonbetongklasser med grenseverdier for klimagassutslipp. Norsk Betongforening, 2015 (publikasjon 37)

	B20 M90	B25 M90	B30 M60	B35 M45/ MF45	B35 M40/ MF40	B45 M40/ MF40	B55 M40/ MF40
	Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO ₂ -e. pr m ³ betong]						
Lavkarbon A	170	180	200	210	230	240	250
Lavkarbon B	200	220	240	270	300	310	320
Lavkarbon C	240	260	280	320	350	360	370
Bransjereferanse	280	300	320	370	410	420	430

Virkemidler for å oppnå lavkarbonbetong kan være:

- Optimalisert betongsammensetning (lavt bindemiddelforbruk)
- Flyveaske- eller slaggsementer
- Tilsatt flyveaske og silikastøv som sementerstatning

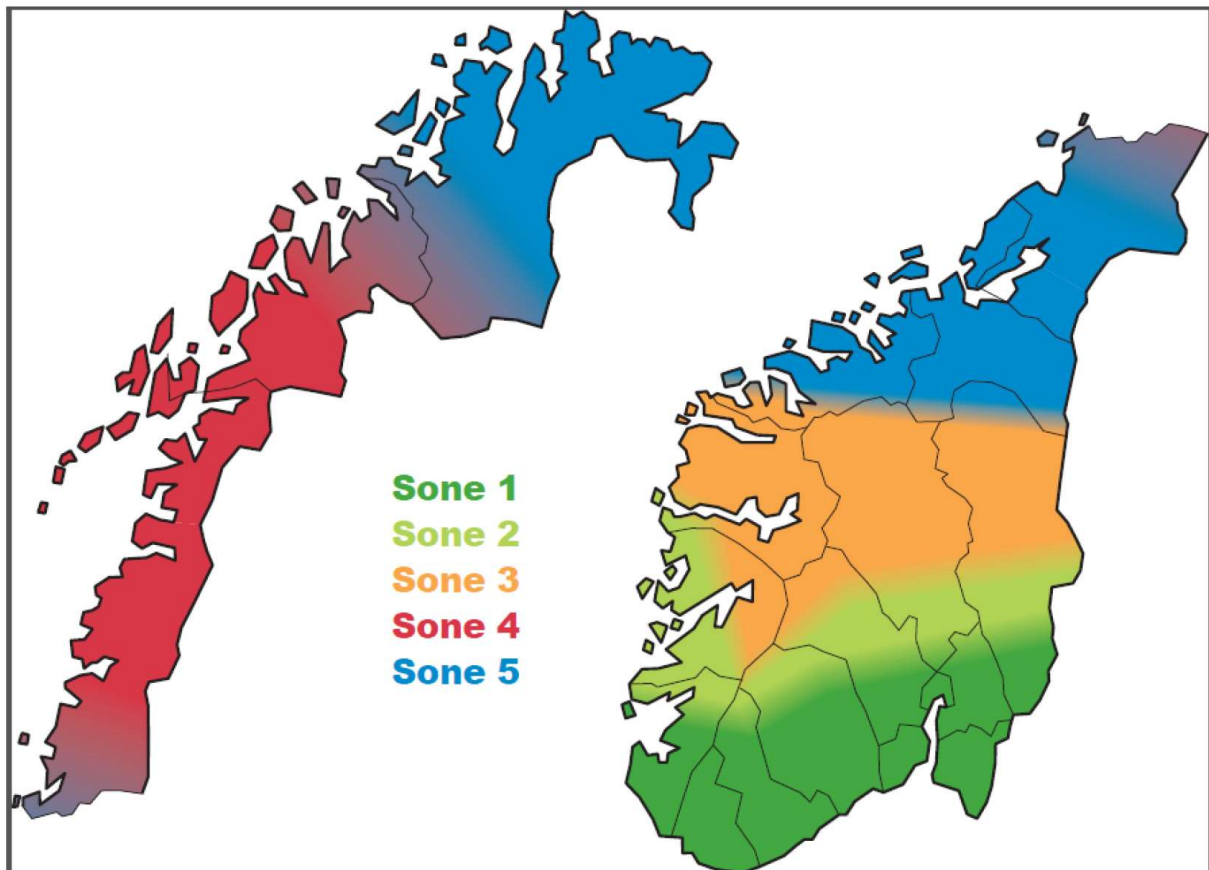
Bruk av tilsetningsmaterialer (flyveaske, silika, slagg og kalksteinsmel) er som regel en forutsetning for å kunne produsere lavkarbonbetong. For å oppnå klasse Lavkarbon A, vil en som regel måtte benytte bindemidler med 25-40 % tilsetningsmaterialer, enten i sementen eller tilsatt separat.

Betongens klimagassutslipp avhenger av parametere som varierer med geografisk plassering:

- Tilgjengelig bindemiddeltipe
- Kvalitet på tilslag
- Transport av råvarer til betongfabrikk

Figur 4-1, hentet fra Norsk Betongforening Publikasjon 37, illustrerer grovt tilgjengeligheten av lavkarbonbetong i ulike deler av landet. Sonene illustrer hvordan summen av tilgjengelighet av bindemidler, transport av råmaterialer og tilslagskvalitet typisk påvirker betongens klimagassutslipp i et område. Sonene må ikke betraktes som absolutte, men heller som en indikasjon.

Sone 1 er områder hvor det ligger godt til rette for å oppnå lave klimagassutslipp. I sone 5 vil betongen ofte ha forholdsvis høyt klimagassutslipp på grunn av beliggenhet og transport. Det kan være mulig å oppnå Lavkarbon A i flere soner, men det vil være enklest oppnåelig i sone 1.



Figur 4-1 Regional tilgjengelighet av lavkarbonbetong. Sone 1 har best tilgjengelighet, sone 5 dårligst. Norsk Betongforening, 2015. (Figur 4 i Norsk Betongforening Publikasjon 37)

4.1.1 SVV betong- og karbonklasser

Håndbok R762 Prosesskode 2 gir reglene for bruk av betong i tilknytning til veganlegg. Håndboken ble sist revidert i 2015 og angir tre «bestandighetsklasser» for betong i tilknytning til veganlegg. Disse er:

- SV-Standard
 - Konstruksjonsdeler med eksponeringsforhold og funksjonskrav som ikke krever en av spesialbetongene gitt under
- SV-Kjemisk
 - Konstruksjonsdeler utsatt for kjemisk angrep fra grunnvann i jord og berg.
- SV-Lavvarme
 - Konstruksjonsdeler hvor risikoen for gjennomgående fastholdingsriss på grunn av herdevarme og temperaturforskjeller er betydelig, og hvor slik opprissing er kritisk for funksjonsevnen.

Tabell 4-2 viser nøkkeltallene for grenseverdiene for ulike egenskaper ved de tre betongsammensetningene.

Tabell 4-2 Grenseverdier for luftinnhold, effektiv bindemiddelmengde, masseforhold, flygeaske mengde og silikastøvmengde

Egenskap	Betongsammensetning		
	SV-Standard	SV-Kjemisk	SV-Lavvarme
Luftinnhold i fersk betong for fasthet t.o.m. B45	3-6%	3-6%	3-6%
Luftinnhold i fersk betong for fasthet over B45	2-5%	2-5%	
Minste effektive bindemiddelmengde	350	350	310
Største masseforhold	0,40	0,40	0,45
Flygeaske	14-30%	14-25%	maks. 40%
Silikastøv	3-5%	8-11%	3-5%

Betong SV-Standard og SV-Kjemisk skal være i samsvar med bestandighetsklasse MF40. SV-Lavvarme skal være i samsvar med MF45. Det gis anledning til å variere flygeaske- og silikamengde innenfor de grenseverdiene som er gitt.

Virkningsfaktorer for bindemidler og tilsetningsmaterialer er:

- Sement og sement med innhold av slagg, flygeaske, kalksteinsmel etc. $k=1$
- Silikastøv $k=2$
- Flygeaske $k=0,7$

Det finnes ikke regler for separat tilsetning av slagg og kalksteinsmel slik at disse kan regnes med i masseforholdet til betongen.

Tabell 4-3 nedenfor viser hva som er mulig å oppnå av Lavkarbonklasse A-C for de tre vegvesenbetongene produsert på forskjellige steder i landet, uten store endringer i resepter. I utgangspunktet forutsettes det bruk av betong med synk for vibrert betong, full steinmengde, dvs. ikke «reduerte» resepter.

Tabell 4-3 Hvilke lavkarbonklasser som er mulig å oppnå gruppert for de ulike regionene i Statens Vegvesen. Markeringene i (parentes) mangler entydig datagrunnlag. Data er innhentet av FABEKO (2017).

	B35/B45 SV-Standard (MF40)	B35/B45 SV-Kjemisk (MF40)	B35/B45 SV-Lavvarme (MF45)
Krav NB37	230/240	230/240	210/240
Region Øst	A/B	B	A
Region Sør	A/B	(B)	A
Region Vest	A/B/C	B	A
Region Midt	(B)	(B)	(B)
Region Nord	(C)	(B)	(B)

Tabellen viser typiske karbonklasser som er tilgjengelige over store deler av en region. Noen regioner er spredt og har stor variasjon, som gir flere alternativer. Det er enkelte fabrikker som klarer å levere lavere karbonklasser enn det som er vist i tabellen.

4.1.2 Materialsammensetning for å redusere klimagassavtrykket

Dagens SV-betonger er proporsjonert for å gi en dimensjonerende brukstid på 100 år. I kombinasjon med en varierende overdekning tilpasses dette miljøet som konstruksjonene skal være motstandsdyktige mot. For å redusere klimagassavtrykket til betongreseptene i seg selv, kan det i fremtiden bli nødvendig å endre grensene for hvor store andeler tilsetningsmaterialer som tillates og hvilke bindemiddelkombinasjoner som kan benyttes. Det kan oppstå konflikt mellom klimagassregnskapet og dimensjonerende brukstid. Bestandighetsaspektet bør alltid gå foran klimagassregnskapet.

Tabell 4-4 viser eksempler på typiske resepter med B45 SV-Standard lavkarbonklasse A og B fra en produsent i Region Øst. Legg merke til at fra B til A er flygeaskeandelen økt fra 15% til 28%, sementmengde er redusert fra 374 kg/m³ til 325 kg/m³ og at sand/pukk andelen er justert fra 51/49 til 48/52, dvs. grovere tilslag.

Tabell 4-4 Typiske resepter for Lavkarbon B og Lavkarbon A i Region Øst.

B45 SV-Standard D22 synk 200		
Materiale	Lavkarbon B m=0,39	Lavkarbon A m=0,38
0/8 sand	913	850
8/16 pukk	425	368
11/22 pukk	444	545
Anleggssement FA	374	326
Flygeaske	-	64
Silika	12	12
Vann	152	146
SP-stoff	2,9	3,2
Luft-stoff	1,2	1,4
Densitet	2323	2315
Sand/pukk andel*	51/49	48/52
Andel flygeaske**	15 %	28%
Andel silika**	3 %	3 %
Pulvermengde	386	402
Effektiv bindemiddelmengde	398	395

* %-andel av tilslag

** %-andel av totalt bindemiddel

4.1.2.1 Hvordan valg av karbonklasse påvirker betonegenskaper

Lavkarbonbetong med bruk av høye andeler erstatningsmaterialer kan gi produksjonstekniske utfordringer med hensyn til fremdrift og byggbarhet. Slagg, flygeaske og silika påvirker hver for seg betongen på forskjellige måter som kan gi seg utslag i:

- Tregere fasthetsutvikling
- Økt temperaturfølsomhet
- Redusert varmeutvikling
- Endret slutfasthet

Bruk av tilsetningsmaterialer som flygeaske og slagg gir en mer langsom fasthetsutvikling enn betonger uten disse materialene. Dette kan være ugunstig der det er lagt opp til korte produksjonssykluser, f. eks. i elementindustrien. Gjelder også forlenget bruk av forskaling og reis.

Lavkarbonklasse A kan karakteriseres med middels eller langsom fasthetsutvikling iht. NS-EN 206, pkt 7.2, mens klasse B og C kan karakteriseres med hurtig fasthetsutvikling. De fleste bruer er i herdeklasse 3 med unntak av konstruksjonsdeler som ligger lavere enn kote +12 i marint miljø som skal være i herdeklasse 4 i henhold til R762 Prosesskode 2. Varigheten av herdetiltak for ulike lavkarbonbetonger er oppsummert i Tabell 4-5.

Tabell 4-5 Varighet av herdetiltak for herdeklasse 3 og 4. Tallene er fra Tabell F.2. og F.3 i NS-EN 13670:2009+NA:2010 Utførelse av betongkonstruksjoner.

Betongtype	Betongoverflatetemperatur							
	≥25 °	25 -15°C	15 - 10°C	10 - 5°C	≥25 °	25 - 15°C	15 - 10°C	10 - 5°C
	Dager med herdetiltak for herdeklasse 3				Dager med herdetiltak for herdeklasse 4			
Lavkarbon B og C (hurtig)	1,5	2	2,5	3	3	5	7	9
Lavkarbon A (middels)	2,5	4	7	9	5	9	13	18
Lavkarbon A (langsom)	3,5	7	12	18	6	12	21	30

Tabell 4-5 viser at Lavkarbonklasse A krever 2-7 dager lengre bruk av forskaling eller tildekning enn klasse B og C. For en langsom lavkarbonklasse A betong i marint miljø kan det være nødvendig med tildekking i 3-4 uker. Grunnen til det er at lavkarbonbetong herdner saktere og det tar lenger tid før overflaten blir tett. Derfor bør man vente lengre før man eksponerer overflaten til ytre omgivelser., se også neste punkt.

Lavkarbonbetong har generelt ikke spesielt ugunstige egenskaper for vinterbruk. Lavkarbon B og C kan brukes som vinterbetong med helt ordinære tiltak. Lavkarbon A vil kunne gi behov for ekstra tiltak, som økt bruk av isolasjonsmaterialer eller fyring. Hvis redusert varme- og fasthetsutvikling skal kompenseres med fyring, økt temperatur i fersk betong eller ved andre energikrevende tiltak, er det viktig at dette tas med i det totale klimagassregnskapet. Hvis det stilles krav til fyring med strøm vil dette utgjøre en meget liten andel av det totale klimagassregnskapet. Bruk av fossile brennstoff for oppvarming kan gi vesentlige bidrag.

Bruk av flygeaske som tilsetningsmateriale gir redusert total varmeutvikling, og betong tilsatt flygeaske brukes derfor også som lavvarmebetong. Dette er gunstig med tanke på begrensning av maksimumstemperaturen i grove konstruksjoner, og bidrar også til å redusere faren for opprissing. Slagg gir ikke samme gunstige reduksjonen av varme som flygeaske, spesielt i grove betongkonstruksjoner. Det er imidlertid viktig å understreke at lavvarmebetong ikke nødvendigvis er det samme som lavkarbonbetong klasse A. Lavvarmebetong i Oslo-området har betydelig lavere CO₂ utslipp enn lavvarmebetong i Nord-Norge på grunn av tilgjengelighet av flygeaske. Ved beregning av klimagassutslipp regnes det med transport av flygeaske, som gjør at lavvarmebetong i Nord-Norge faller i karbonklasse B. I store deler av landet er det mulig å oppnå lavkarbonklasse A med SV-Standard betong, og det er ikke nødvendig å spesifisere lavvarmebetong. Man må huske at SV-Lavvarme har flere begrensninger sammenliknet med SV-Standard. Blant annet skal SV-Lavvarme være bestandighetsklasse MF45 og er dermed ikke egnet for konstruksjoner i eksponeringsklasse XD3, XD2, XS3, XS2 og XAS.

Valg av lavkarbonbetong kan også påvirke betongens konsistens. Ved krav om Lavkarbonklasse A kan det bli nødvendig å gå bort fra bruk av SKB og høy synk for å oppfylle klimakravene.

Nødvendigheten av dette er også avhengig av tilslaget vannbehov, type bindemiddel, tilgjengelig tilsetningsmateriale og betongfabrikkens geografiske plassering.

4.1.2.2 Bestandighet

Effekten av flygeaske på kloridinntrengning og kjemisk nedbrytning er generelt bedre enn på karbonatisering. R762 Prosesskode 2 gir en virkningsfaktor på $k=0,7$ for tilsatt flygeaske i de bestandighetsklassene som er rettet mot kloridindusert armeringskorrosjon og kjemisk nedbrytning. Karbonatisering er ikke noe problem for SVV-konstruksjoner på grunn av lave masseforhold og stor armeringsoverdekning.

I tidlig fase kan betong med mye flygeaske bli mindre motstandsdyktig mot kloridinntrengning. Dette er fordi den herdner saktere og det tar lengre tid før overflaten blir tett. Derfor bør man ikke utsette overflater av betong med høyt innhold av flygeaske for klorider i tidlig alder. Hvis reglene for herdeklasser (kapittel 4.1.2.1) følges nøye skal ikke dette i utgangspunktet være noe problem.

Motstand mot frost kan være nedsatt for betongene med høyt innhold erstatningsmaterialer (flygeaske og slagg). Standarden (NS-EN 206, Tabell NA.12.) gir ikke anvendelsesregler for bestandighetsklassene MF45 og MF40 om den samlede mengden av FA og slagg er større enn 20 vektprosent av bindemiddelmengde, men åpner for å dokumentere frostbestandighet iht. NA.5.3.2 (902). SVV har hatt egne dokumentasjonsprogrammer for å dokumentere frostbestandighet av sine resepter.

4.1.2.3 Redusert bindemiddelmengde

For SV-Standard og SV-Kjemisk sier håndbok R762 at betongen skal være i bestandighetsklasse MF40 med minste effektiv bindemiddelmengde på 350 kg/m^3 . Bruk av minimal mengde av bindemiddelet vil resultere i betong med lavere konsistens. Dette kan bli utfordring i noen tilfeller, for eks: hardt armerte konstruksjonsdeler, forankringssoner ved spennarmering, høye slanke søyler og vegger osv. I de tilfellene er det mulig å øke bindemiddelmengde, men det vil da ha konsekvens i høyere klimagass utslipp.

Tilslagskvalitet har også mye å si for konsistens og bindemiddelmengde (tilslaget vannbehov, kornform etc.) Kvalitet på lokal tilslag har mye å si hva man kan få til av karbonklasser rundt om i landet.

4.1.2.4 Sluttfasthet

Lavkarbonklasse A har tregere fasthetsutvikling enn ordinær betong. Dette kan påvirke framdriften i et prosjekt ved at reisen må stå lenger, pålastningstidspunktet må utsettes, etc. For betonger med høy andel av tilsetningsmaterialer (høyere enn 25-30%) vil den langsomme fasthetsutviklingen gjøre at tidspunktet for kontroll av betongens trykkfasthet bør endres. I dag dokumenteres betongens trykkfasthet etter 28-døgn i 20 graders vannbad. I fremtidige revisjoner av europeiske standarder ligger det an til en enighet om at betongens trykkfasthet skal kontrolleres etter 90-døgn, nettopp for å fange opp tilveksten av trykkfasthet etter 28-døgn. Ved bruk av lavkarbonbetong A eller bedre, er det høyst relevant å gi regler for kontroll av betongens trykkfasthet etter 28-døgn. R762 Prosesskode 2 har satt betongens kontrollalder ved identitetsprøven til 56-døgn for SV-Lavvarme. Dette bør også være mulig for Lavkarbonbetong.

4.1.3 Framtidig utvikling

Både flygeaske og silikastøv er restprodukter fra industri som i seg selv er kilder til store klimagassutslipp. Siden klimagassutslipp alltid knyttes til hovedproduktene, regnes restproduktene som karbonnøytrale. Dette er en politisk beslutning. En annen innfallsvinkel, der noe av

klimagassutslippene overføres fra hovedproduktene til restproduktene, vil ha store konsekvenser for betongens klimaregnskap.

Flygeaskeforbruket som tilsetningsmateriale i betong øker og det kan ikke utelukkes at det kan bli mangel på flygeaske av god nok kvalitet i markedet i nær framtid. Dette vil kunne ha store konsekvenser for betongens EPD fremover.

Det er vanskelig å spekulere i hva som vil skje i fremtiden. Det bør likevel nevnes at det pågår forskning for å finne løsninger på disse utfordringene. F.eks er bruk av andre miljøvennlige sementtyper og tilsetningsmaterialer vurdert, samt fangst av CO₂ i sementproduksjonen. Denne rapporten tar utgangspunkt i dagens situasjon når det gjelder tilgang til og bruk av tilsetningsmaterialer i miljøvennlig betong.

4.1.4 Beregnet utslippsfaktor for betong i 1990 og ekstrapolert frem i tid

Norcem har i presentasjoner vist tilbakeskrevet CO₂-utslipp for produksjon av sement tilbake til 1990, sammen med fremskrevet utslipp som resultat av nye teknologiske fremskritt som nye brennstoff, nye sementprodukter, karbonfangst mv. Nettoutslippet for sement har ifølge Norcem falt fra ca. 820 kg CO₂/tonn sement i 1990 til 690 kg CO₂/tonn sement i 2015 (Per Brevik: Karbonnøytral betong? Vår nullvisjon mot 2030). Reduksjonen på 16 % er oppnådd ved energieffektivisering, økt bruk av biobrensel og nye sementprodukter. I dag brukes det hovedsakelig CEM II som inneholder tilsatt flygeaske eller slagg, mens i 1990 ble for det meste brukt CEM I i SVV betongene. i Karbonatisering er ikke medregnet i den reduksjon.

Klimagassutslipp fra betongproduksjon kommer i all hovedsak (ca. 95 %) fra produksjon av sement. Kun en liten andel kommer fra tilslaget, tilsetningsstoff eller betongproduksjonen. Gitt at utslippet fra disse andre kildene er relativt konstant fra 1990 til 2017, er det rimelig å anta at hele reduksjonen i betongens klimagassutslipp kan tilskrives reduksjon i utslipp fra sementproduksjonen.

Mengden sement i standard betong har gått opp siden 1990. En del av grunnen til dette er at det generelt benyttes høyere fasthetsklasser i dag enn i 1990. I dag brukes betong med høyere synk enn tidligere, og det brukes gjerne mer sement i betongen for å få en mer flytende konsistens og bedre støpelighet.

Et eksempel fra Norcem viser en dagens B45 med 2 % silika, 150 kg vann/m³ og 395 kg sement/m³, mens prosesskode 2 / 1990 viste 361 kg sement for en tilsvarende betong. Sementinnholdet har altså økt med ca. 9 %.

Utslipp fra 1 m³ betong er derfor redusert med ca. 7 % fra 1990 til 2015. For tilsvarende, teoretiske betonger kan vi derfor tilbakeskrive utslippene i henhold til dagens klassifiseringer.

Norsk Betongforenings publikasjon 37 Lavkarbonbetong viser en bransjereferanse som er konservativ og representerer «produksjon i de regionene som har de minst gunstige forutsetningene». Videre er det «store regionale forskjeller i oppnådd klimagassutslipp ved betongproduksjon». Vi anser derfor Lavkarbon C som en mer representativ bransjereferanse for 2015 dersom det ikke stilles noen spesielle krav.

Lavkarbon B anses som relativt lett å oppnå de fleste steder i landet uten større endringer, og brukes derfor her som Lavkarbon høy. Lavkarbon A er oppnåelig i deler av landet, og betegnes derfor her som et middels alternativ.

I tillegg er det beregnet et nivå Lavkarbon lav, som ligger 40 % under referansenivået for 1990. Dette nivået er valgt både fordi generelle mål om utslippsreduksjoner i samfunnet, for eksempel i NTP 2018-2029, refererer til en 40 % reduksjon sammenliknet med 1990, og fordi disse nivåene antas å være oppnåelige for betong noe frem i tid.

Tabell 4-6 Utslippsfaktorer for betong, tilbakeskrevet og ekstrapolert

	B35 M45/ MF45	B35 M40/ MF40	B45 M40/ MF40	B55 M40/ MF40	Kommentar
Lavkarbon lav	205	225	231	238	1990-40%
Lavkarbon middels	210	230	240	250	Lavk A
Lavkarbon høy	270	300	310	320	Lavk B
Ingen krav	320	350	360	370	Lavk C
Tilbakeskrevet 1990	342	375	385	396	Lavk C + 7 %

4.2 Stål og armering

Sammen med betongen utgjør armering et robust og allsidig byggesystem. Mengden betong og armering er innbyrdes avhengige.

Konvensjonelle armeringssystemer består i hovedsak av stål, enten slakkarmert eller spennarmert. Stålet som inngår i slakkarmering og spennarmering er uansett styrke i stor grad ganske likt når det gjelder utslipp av klimagasser fra produksjon. Det kan være noen forskjeller i karboninnhold, legeringer, tilvirkingsmetoder og behandling av produktene, men størstedelen av utslippet er forbundet med produksjonen av stålet.

4.2.1 Resirkulert stål

Utslipp av klimagasser fra tilvirkning av armeringsstål, stålkonstruksjoner, stålør og andre stålprodukter er sterkt avhengig av mengden nyvunnet stål i produktet. Bryting, transport og bearbeiding av malm er svært energiintensivt, og det benyttes også kull i reduksjon av malm til stål. Dersom stålet baseres på resirkulering av skrapstål, reduseres klimagassutslippet betraktelig.

Det kan argumenteres at om et prosjekt bruker en høy grad av resirkulert stål vil verdens stålmarked måtte skaffe til veie mer nyvunnet stål i en annen del av markedet, i og med at stålforbruket overgår tilgangen på skrap. Det kan også argumenteres med at å stille krav til resirkulert stål gjør det mer økonomisk attraktivt å gjenbruke mer skrap, og på den måten øker den totale resirkuleringsgraden og driver markedet i en mer miljøvennlig retning. På prosjektnivå er det vanlig å allokere bruken av det faktiske stålet til prosjektet, mer enn å beregne konsekvensene for systemet som helhet.

4.2.2 Beregnet utslippsfaktor for stål i 1990, samt diverse grader av resirkulert stål i dagens marked

Databasen Ecoinvent 3.4 (www.ecoinvent.org) inneholder blant annet data for produksjon av materialer og produkter en tid tilbake for ulike geografiske markeder. Produksjon av stål i diverse kvaliteter er godt dekket.

Klimagassutslippet fra produksjon av stål varierer sterkt med en rekke faktorer, blant annet graden av resirkulert stål. I de senere årene er det kommet produkter på markedet som baseres på høyt innslag av, eller utelukkende av, resirkulert stål. Det er rimelig å anta at stålmarkedet i 1990 hadde mindre fokus på graden av resirkulert stål og klimavennlige energiformer for stålproduksjon. Utslippet pr kg stål var derfor sannsynligvis betydelig høyere.

Utslippet for nyvunnet stål er i størrelsesorden 3-7 kg CO₂/kg stål, mens for stål med 90 % innslag av resirkulert stål, kan faktoren ligge på 0,5-1,0 kg CO₂/kg. Utslippsfaktorene varierer sterkt.

Vi velger å bruke en skjønsmessig utslippsfaktor på 5 kg CO₂/kg stål som utgangspunkt for 1990, basert på antakelsen om høy andel av nyvunnet stål samt klimaintensive energikilder i produksjon. Bransjeorganisasjonene for stål bør arbeide for å dokumentere resirkuleringsgrad og utslippsfaktorer for stålet i 1990 og i dagens marked.

Tabell 4-7 Utslippsfaktorer for stål i armering, konstruksjoner og generelt

Kvalitet	Enhet	Utslipp, kg CO ₂ per enhet stål	Kommentar
Dagens marked, ingen krav	kg stål	2,0	Div EPD; EcoInvent
> 70 % resirkulert stål	kg stål	1,5	Div EPD
> 90 % resirkulert stål	kg stål	1,0	Div EPD
> 99 % resirkulert stål	kg stål	0,5	Div EPD
Spennarmering ingen krav	mMN	2	EPD; EcoInvent
Spennarmering, oppnåelig	mMN	1	EPD
1990	kg stål	5 (3-7)	Skjønsmessig, EcoInvent mv

4.2.3 Alternativer til armering i stål

Det utvikles en rekke alternativer til stål som armeringssystem i betongkonstruksjoner. Både glassfiber, plastfiber, basaltfiber og andre mineralbaserte armeringsprodukter finnes på markedet og anvendes i spesielle tilfeller. Fordelene med disse produktene kan være redusert behov for overdekning ettersom produktene ikke korroderer, lavere vekt, økt styrke og annet. Klimagassutslippet fra selve armeringsproduktet kan være både lavere eller høyere enn for stål, men effekten på endrede mengdebehov for betong og armering som system, samt levetid, kan gi en signifikant effekt.

4.3 Beregnet utslippsfaktor for asfalt i 1990 og i dag

Utslippet av klimagasser fra produksjon av asfalt er avhengig av graden av nyvunnet materiale (bitumen, tilslag osv), prosesstekniske forutsetninger (tørking av tilslag, lavtemperaturasfalt) samt av hvilke energikilder (olje, gass, flis) asfaltverkene benytter. Gitt at metoder, utstyr og drivstofforbruk for utlegging av asfalt ikke har utviklet seg nevneverdig, kan vi anta at det er produksjonsleddet som er mest forbedret fra 1990.

Dagens asfalt er basert på en del returafalt, ca 10 %. Veiteknisk institutt har utarbeidet en generell EPD for asfalt som spesifiserer utslipp fra produksjon av asfalt til 48 kg CO₂/tonn asfalt, mens utlegging gir et tilleggsutslipp på 8 kg CO₂/tonn, totalt 56 kg CO₂/tonn asfalt. I følge Kontrollordningen for asfaltgjenvinning (KFA) har gjenvinningsgraden av returafalt økt over tid, samtidig som asfaltforbruket også har økt. Nye lavtemperaturprodukter har redusert energibehovet i produksjon.

Gjennom etatsprogrammet Lavere energibruk i Statens vegvesen (LEIV) refereres det til en studie fra European Asphalt Pavement Association der det anslås at 10 % gjenbruk av asfalt gir 4 % reduksjon i klimagassutslipp, og 50 % gjenbruk reduserer utslippet med 20 %. Dette tallet støttes av Tarmac UK, som viser til at 50 % gjenbruk gir 22 % reduksjon i klimagassutslipp fra produksjon.

Antar vi at gjenbruksgraden var lavere i 1990 enn i dag, dvs nærmere 0 %, samt at energibruken i produksjon var noe høyere, kan vi anslå at utslippet fra produksjonsleddet var ca 4-6 % høyere enn i dag. Det tilsvarer ca 52 kg CO₂/ tonn asfalt.

Medregnet utlegging på 8 kg CO₂/tonn asfalt kan vi anslå at asfalten i 1990 hadde en spesifikk utslippsfaktor fra produksjon og utlegging på 60 kg CO₂/tonn asfalt.

4.4 Sensitivitet ved materialvalg

Mange av utslippsfaktorene for materialene som inngår i et prosjekt er svært usikre. I tidlige planfaser er det usikkert hvilke materialer som skal benyttes og hvilke krav som kan stilles til stål, betong, asfalt og transport. Det overordnede resultatet kan være sensitivt til usikkerheten i inngangsparameterne, både utslippsfaktorer og mengder av materialer.

Det bør derfor gjøres sensitivitetsanalyser for å kvantifisere effekten av usikkerheten i forutsetningene. Dersom endrede forutsetninger ikke endrer tilrådingene, er resultatene robuste nok til å gi klare råd om materialvalg, mengder, transportalternativer og andre forutsetninger. I motsatt fall må usikkerhetene forklares, og om mulig må grunnlaget og forutsetningene forbedres.

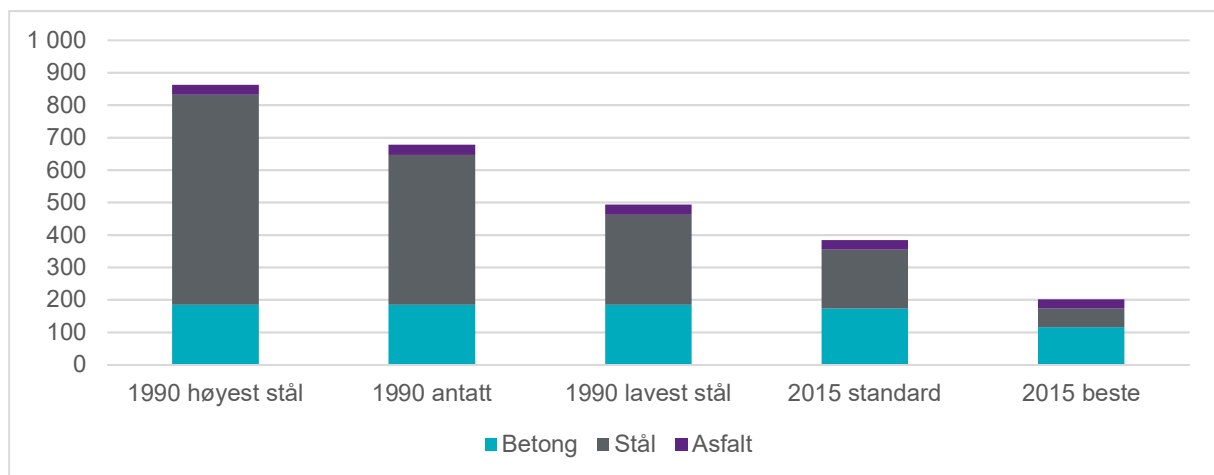
4.5 Effekt av endrede materialutslipp på et brusystem

Som beskrevet over, er det forsøkt å tilbakeskrive utslippsfaktorene for betong, stål og asfalt til 1990-nivå. Her vurderes effekten på et brusystem sammensatt av i hovedsak disse tre innsatsfaktorene. Selve brusystemet er en plasstøpt, forspent bjelkebru presentert som Alternativ 1 i kapittel 2.2.2, i Figur 2-13 og Figur 2-14.

Utslippet av klimagasser fra hovedmaterialene betong, stål og asfalt for en bru bygget med 1990-materialer beregnes isolert sett til 678 tonn CO₂-ekvivalenter over 100 års levetid. Med standardmaterialer for 2015, reduseres utslippet med 43 % til 384 tonn CO₂-ekvivalenter. Med markedets beste materialer kan utslippet reduseres med 70 % til 202 tonn CO₂-ekvivalenter. Merk at disse tallene gjelder materialene betong, stål og asfalt og inkluderer ikke anleggsarbeider, massetransport, masseutskiftning, fundamentering og andre materialer og arbeider, som sannsynligvis ikke har blitt redusert så mye per enhet.

Den store reduksjonen kommer fra antakelsene om utslippsfaktoren for stål i armering, spennarmering og rekkverk. For 1990 antas en utslippsfaktor på 5 kg CO₂-ekvivalenter per kg stål. Faktoren er vanskelig å dokumentere og kan antakeligvis variere mellom 3 og 7. Dersom 3 kg CO₂-ekvivalenter per kg stål legges til grunn, er baseline-utslippet i 1990 27 % lavere enn først beregnet. Dersom 7 kg CO₂-ekvivalenter per kg stål legges til grunn, er baseline-utslippet i 1990 27 % over antatt utgangspunkt.

Den beregnede forbedringen på systemnivå er derfor svært avhengig av antakelsene og forutsetningene om utslippsfaktor for stål i 1990. Se Figur 4-2 for sammenlikning av utregningene for de forskjellige forutsetningene.



Figur 4-2 Klimagassutslipp i tonn CO₂-ekvivalenter over levetiden, for et brusystem med forskjellige utslippsfaktorer fra 1990 og 2015

5 Vurdering av kost-nytte-effekt

I en planleggings-, prosjekterings- og byggeprosess stilles mange behov og valg opp mot hverandre. Både kostnader, fremdrift og ikke minst sikkerhet i anleggs- og driftsfase spiller inn når tiltak skal vurderes.

Prosjekter som skal oppfylle klare mål til utslippsreduksjon vil ha god nytte av å rangere mulige tiltak ut fra kostnad og nytte. Målet må være å finne den mest kostnadseffektive måten å nå målsettingen om redusert klimagassutslipp. Et tiltak som reduserer klimagassutslippet er ikke nødvendigvis samfunnsnyttig om prisen pr tonn CO₂ blir for høy. Da kan det være bedre å kutte utslippet på en billigere måte et annet sted. I noen tilfeller kan politikk overstyre slike kost-nytte vurderinger, men i all hovedsak vil normale samfunnsøkonomiske vurderinger måtte ligge til grunn for valg av løsninger.

For å avgjøre hvilken økonomisk kostnad som kan aksepteres for å redusere klimagassutslippet fra et prosjekt, må hele prosjektet sees i sammenheng. Enhetsprisen per tonn innspart CO₂, prosjektets totale kostnader til klimaforbedring, samt samfunnsmessige og markedsmessige effekter utenfor prosjektet må tas med i betraktningen. Dersom et dyrt tiltak har effekter ut over prosjektet, for eksempel å drive markedet i en mer klimavennlig retning, kan det argumenteres for å investere i tiltaket. Eksempelvis kan det være dyrt å være første prosjekt med krav om elektrifiserte anleggsmaskiner, men dette vil ha en begrenset total kostnad og vil gjøre hele anleggssektoren mer klimavennlig på sikt. Slike vurderinger grenser opp mot politikk og kan være vanskelige for et enkelt prosjekt å ta uten overordnede føringer og klare mål fra eiere.

I mange tilfeller gir klimatiltak økonomiske besparelser, spesielt der tiltakene handler om å spare materialmengder. Klimatiltak med negativ kostnad bør kunne aksepteres uten større utredninger der det ikke har innvirkning på andre faktorer som sikkerhet eller fremdrift.

Kostnader kan også påløpe frem i tid, for eksempel ved behov for driftstiltak, vedlikehold eller utskiftninger. Disse kostnadene bør også tas med i beregningene, gjerne ved bruk av livssyklus kostnadsberegninger (LCC). I investeringsprosjekter kan det med fordel skilles mellom begrepene «pris» og «kostnad», der «pris» kan være kontraktssummen som byggherren må betale for å få ført opp et byggverk, mens «kostnad» kan være samfunnets samlede økonomiske, miljømessige og ikke-prissatte effekter i et langsiktig perspektiv.

I prosjekter der en rekke tiltak skal vurderes opp mot hverandre, er det derfor viktig å legge kost-nytte-prinsippet til grunn, gjerne i et bredere perspektiv, slik at samfunnet får igjen mest mulig miljø for pengene.

5.1 Forventede kostnader og utslipp

Miljødirektoratet publiserte i 2015 lavutslippsutredninger der det opereres med tre kostnadskategorier:

- Lav: under 500 kr/tonn CO₂.
- Middels: 500-1500 kr/tonn CO₂.
- Høy: over 1500 kr/tonn CO₂.

Dersom en legger midten av middels kostnadsnivå til grunn, kan en kostnad på 1000 kr per tonn innspart CO₂ si noe om samfunnets forventning til kostnadsnivået for utslippsreduksjoner.

Statens vegvesens KraKK-prosjekt ved Karl Sigurd Fredriksen har i presentasjoner vist at det ligger en klar sammenheng mellom et prosjekts utbyggingskostnad og klimagassutslipp. Basert på kostnadsanslag og utslippsoverslag knyttet til prosjekter i NTP, beregnes en middelværdi på ca 35 tonn CO₂ pr million kr, alt inkludert i et prosjekt. Verdien varierer en del mellom prosjekter, og Norconsult AS har for eksempel beregnet 50 tonn CO₂ pr million kr for et rent bruprosjekt.

Disse tallene vil endre seg raskt, da effekten av å innføre krav til resirkulert stål og lavkarbon-klasser på betong er betydelig. Teknologien utvikler seg, og enhetspriser faller etter hvert som markedet tilpasser seg og produksjonsvolumene øker. På den annen side vil da nye og mer krevende tiltak bli aktuelle, slik at enhetsprisen blir høyere.

5.2 Betong

Når det gjelder betong erfares det at å endre til en Lavkarbon B ikke gir økte enhetspriser. Skal man derimot videre til en Lavkarbon A, vil det i enkelte tilfeller medføre økte kostnader for betongen. Økte kostnader for logistikk på byggeplassen ved at fastheten utvikler seg senere vil medføre at f.eks brureisen må beholdes lenger. I dagens kontrakter er det mest vanlig å bruke én type betong på et anlegg. Skal dette endres til flere typer, gir det en logistikkmessig utfordring som må prises inn. Sannsynligvis er denne prisøkningen liten, men det foreligger foreløpig lite tallmateriale som underbygger dette.

OBOS kalkulerer at lavkarbonbetong i FutureBuilt-prosjekt vil koste 10 % mer enn tradisjonell betong, uten å spesifisere betongklassen videre. Store samferdselsprosjekter med store volumer bør kunne forhandle seg frem til mer fordelaktige enhetspriser.

5.3 Armering

Leverandører av armeringsstål og til dels også konstruksjonsstål kan levere og dokumentere produkter basert på resirkulert stål. Kostnaden ligger pr nå mer som en logistikkmessig oppgave i å få tak i og sikre at resirkulert stål blir brukt. I bransjen ser det ut til at et resirkulert stål sannsynligvis er billigere for stålleverandørene å produsere, da de sparer mye energi i prosessen. Dette understøttes av det faktum at produsentene som baserer produktene på resirkulert stål gjør det godt i dagens marked, uten konkurransemessige ulemper. Hvilket utslag det får når alle prosjekter nå kommer til å stille krav om resirkulert stål og markedet ikke klarer å levere nok, er usikkert.

5.4 Materialforbruk

Sett bort ifra å sette krav til materialene betong, stål og armeringsstål, vil det oppnås best kost nytte-effekt ved å sikre et så lite materialforbruk som mulig. Nå ligger det ikke kun innsparing i dette, da det ofte vil kreve en større innsats i prosjekteringsfasen og muligens når det bygges. I tidligere kapittel er det vist en portalkonstruksjon der det ved å utføre mer avanserte beregninger kan spares mengder. Kost-nytte-effekten av dette eksemplet vil være godt, da innsparing av armering utgjør en 33% besparelse i material og forenkler arbeidet for entreprenøren. Kostnadene til økt prosjektering vil nok ikke overstige dette beløpet.

I dette tilfellet vil økt innsats i prosjektering gi god kost-nytte effekt. Slik vil det ikke nødvendigvis alltid være. Det er lett å se for seg mindre fundamenter eller objekter der innsparingen i mengdene er liten og prosjekteringsinnsatsen er stor, men potensialet for å redusere klimagassutslippet er svært godt.

Generelt ser vi at tiltak som reduserer forbrukte mengder gir svært god effekt på å redusere klimagassutslippet. Vi vet samtidig at reduseres mengdene, reduseres normalt kostnadene også, men at slike tiltak krever en økt innsats i prosjekteringsfasen, økt bevissthet i byggherreorganisasjonen og hos entreprenør.

6 Muligheter for endringer i regelverket med tanke på reduksjon av klimagassutslipp

Norconsult mener det ligger et potensiale i å endre eller justere regelverket for ytterligere å kunne gjennomføre tiltak som kan gi innsparing i klimagassutslippene uten at dette medfører redusert sikkerhet eller bestandighet av konstruksjoner.

Våre innspill til diskusjon og videre arbeid i fagmiljøet er som følger:

Differensiering av konstruksjoner etter belastning

NS-EN 206 tillater bruk av bestandighetsklasse MF45 for eksponeringsklasser XC3 og XD1. Dette betyr at konstruksjoner som ikke utsettes direkte for klorider kan bygges med betong med bestandighetsklasse MF45.

I Håndbok HB 400 *Bruprosjektering* er det lagt til grunn at det skal benyttes den samme betongen MF40 (med få unntak) uansett hvilket miljø konstruksjonen står i.

Her er det potensiale for endring av resepter for konstruksjoner og konstruksjonsdeler som ikke er direkte utsatt for klorider.

Noen eksempler på hvor det er mulig å gjøre endringer:

- Innlandsbruer som ikke går over veg
- Landbrukskulverter og viltunderganger
- Fundamenter og konstruksjonsdeler i områder uten salting

Det er viktig at Vegdirektoratet har tillit til at rådgiverne/de prosjekterende har kompetanse som gjør at de kan differensiere konstruksjoner avhengig av miljøet og belastningene de vil bli utsatt for, slik det gjøres i andre deler av bygg- og anleggsbransjen i Norge.

Kontrollalder for betongfasthet

Det bør vurderes å benytte en høyere kontrollalder for betongfasthet enn 28 døgn, tilsvarende det som gjøres for lavvarmebetong. Dette gjelder i utgangspunktet alle betongtyper, med unntak av lavkarbonbetong.

Hvis man kan nyttiggjøre seg fasthetsutviklingen etter 28 døgn, kan man også redusere sementmengden i betongresepten. Dette vil sannsynligvis kreve et nytt dokumentasjonsregime for å sikre betongkvaliteten.

I tillegg bør rådgiverne oppfordres til å bruke betongkvalitet B35 i stedet for B45 i langt større grad enn det som er vanlig praksis. På 90-tallet var B35 mer i bruk enn i dag. For de aller fleste konstruksjoner gir B45 unødvendig høy fasthet som det er vanskelig å utnytte i dimensjoneringen. I tillegg føre bruk av betong med høyere fasthet enn nødvendig også til mer opprissing i herdefasen og mer minimumsarmering enn nødvendig.

Virkningsfaktor og bruk av erstatningsmaterialer

Prosesskode R762 gir virkningsfaktor $k = 0,7$ for direkte tilsatt flygeaske. Norcem har fått godkjenning av Kontrollrådet til å bruke $k=1$.

Å tillate bruk av $k=1$ virker positivt for klimagassregnskapet, fordi en større andel av sementen kan erstattes med andre materialer.

Krav til vurdering av livssyklus kostnad

Håndbok N400 Bruprosjektering stiller i kapittel 14.2.4 krav til vurdering av livssyklus kostnader dersom tiltakets verdi overstiger 30% av nyverdi for forsterket konstruksjon.

I gjeldende revisjon av håndboka stilles det ingen krav knyttet til klimagassutslipp. I et miljøperspektiv er det fornuftig å sammenligne klimagassutslippet ved nybygg med ombygging av eksisterende konstruksjon. Dersom forskjellen i klimagassutslipp er signifikant, bør dette vurderes vektlagt ved valg av konstruksjonsløsning.

Dimensjonerende brukstid for ferjekaier

I Håndbok N400 Bruprosjektering foreskrives det at det skal tas hensyn til redusert dimensjonerende brukstid for ferjekaier fra 100 år til 50 år ved at trafikklasten reduseres med en faktor 0,8.

Dette er en meget grov tilnærming, og det bør være åpning for også å vurdere materialtyper og overdekning nærmere.

Fastsettelse av trafikklaster

Trafikklast etter Eurocode er mer konsentrerte enn etter tidligere gjeldende regler. Trafikklast regnes nå med et færre antall aksler med mindre innbyrdes avstand og større aksellaster enn før.

For globale virkninger på store bruer gir dette ikke stort utslag, men for korte bruer er de gjeldende lastene mye mer konservative enn tidligere.

Det vil være fornuftig å skille mellom korte og lange bruer ved fastsettelse av trafikklaster. Mer konsentrerte laster har også betydning ved beregning av «lokale effekter». Eksempel fra Leirfjordbrua: stiverne på stålbrua må lages større enn tidligere. Dette gir høyere egenvekt, større kabler osv.

E-modul for betong

E-modul for betong er ca. 25% høyere i Eurokode enn den var i NS3473.

En høyere E-modul gir også større tvangskrefter i som følge av påførte deformasjoner (setninger, svinn og temperatur) i konstruksjonene. I tillegg viser erfaringen at vi med de tilslagsmaterialene som benyttes i Norge i praksis ikke får betong med så høye E-moduler som beskrevet i Eurokodene.

Det vil være fornuftig med et nasjonal tillegg som angir lavere E-modul for bruk i Norge.

7 anbefalinger

Basert på arbeidet vi har gjort i forbindelse med denne rapporten ønsker vi å gi en rekke generelle anbefalinger som bør vurderes i forbindelse med prosjektering og bygging av betongkonstruksjoner i regi av Statens vegvesen. Selv om ikke alle anbefalingene vil være gyldige for alle prosjekter der det prosjekteres bruer, støttemurer, portaler og kaier, vil vi likevel fremheve noen hovedpoeng som vi mener er svært viktige for arbeidet med å redusere klimagassutslippene.

7.1 Målsetting og planfaser

1. **Målsetting:** Det må ligge en målsetting om utslippsreduksjon til grunn for valg av løsninger for å redusere klimagassutslippene i prosjektene. Uten en klar målsetting vil andre evalueringskriterier som kostnad, fremdrift, sikkerhet og miljø alltid bli vektet som viktigere og vinne frem. Hensynet til bærekraft og klimagassutslipp må derfor vurderes på lik linje med kostnad og fremdrift, og prosjektene må utarbeide gode mål på området.
2. **Involvering i tidligfase:** Effekten av valg som gjøres tidlig i prosjekteringsprosessen vil kunne ha større effekt enn valg som tas senere i byggefasen. Valg av traséer, type konstruksjon, plassering og høyder blir normalt gjort i en tidligfase (kommunedelplan eller reguleringsplan). Det er i denne fasen man har størst påvirkningsmulighet til valg av løsninger som kan bidra til lavere klimagassutslipp. I byggeplanfasen og ved utførelse kan prosjektene gjøre valg i forbindelse med materialer og optimalisere beregninger for å redusere klimagassutslippet ytterligere.

7.2 Materialer og konstruksjonsvalg

3. **Bruk av klimagassberegninger:** Det er viktig å identifisere de innsatsfaktorene som bidrar mest til klimagassutslipp. Det er generelt betong, armering, konstruksjonsstål, asfalt og transport som gir de største bidragene til klimagassutslippet ved bygging av konstruksjoner som omhandles av håndbok N400 *Bruprosjektering*. Spesielle forhold, som for eksempel vanskelige grunnforhold med stort behov for grunnforsterkning, kan imidlertid føre til at også andre materialgrupper og konstruksjonsdeler er viktige.
4. **Grundig planlegging og prosjektering:** En godt prosjektert løsning vil normalt gi lavest materialforbruk sett opp mot kvalitet og levetid. Ved en ekstra innsats i prosjekteringsfasen kan betydelige mengder spares ved at det brukes mer tid på planlegging. Særlig viktig er bruk av mer avanserte beregningsprogrammer. Reduksjon i materialmengder gir generelt også en besparelse for prosjektene. Bærekraft og klimagassutslipp må derfor inkluderes i prosjekteringsforutsetningene.
5. **Helhetlig vurdering av konstruksjonen som system:** Konstruksjonens helhetlige funksjon må vurderes. Isolerte vurderinger av enkeltmaterialer vil ikke belyse effekten av avhengigheter og prosjektet risikerer å skyve utslipp mellom materialgrupper, bygningsdeler og livsfaser.
6. **Vurdering av prefabrikkerte og industrialiserte produkter:** I mange tilfeller kan industrialisert elementproduksjon og prefabrikkering effektivisere tilvirking og installasjon av bygningselementer, og redusere det totale utslippet av klimagasser fra en konstruksjon. Prosjektene bør derfor vurdere bruk av prefabrikkerte elementer. Det er viktig å se på konstruksjonen gjennom hele levetiden, inkludert drift, vedlikehold og avhending.
7. **Bedre utnyttelse av armering** ved å optimalisere plassering i tverrsnitt, bruke mindre løpemeterarmering og beregne omfangsskjøter. Dette vil redusere forbruket av armeringsstål uten at det går utover statisk kapasitet og sikkerhet.
8. **Bruk av differensierte betongkvaliteter:** Prosjekter som bruker store mengder betong kan redusere klimagassutslippet betraktelig ved å bruke forskjellige betongkvaliteter i forskjellige

bygningselementer. Ved å ha et bevisst forhold til behovet for fasthet, støpelighet og fremdrift kan betongkvaliteter med et lavere klimagassutslipp benyttes der det er mulig. Dette krever tett oppfølging av leveransene på byggeplass.

9. *Standardisering av materialvalg*: En rekke prosjekter viser at hovedmaterialene betong, stål og asfalt går igjen som de største bidragsyterne til utslipp av klimagasser. Samtidig har bransjeorganisasjonene og materialleverandørene jobbet lenge med reduksjon av klimagassutslipp for sine produkter, og dokumentasjon av dette. Det er lave eller ingen merkostnader ved valg av klimavennlige materialer. Det bør derfor vurderes om disse materialene kan inngå som standard valg i fremtidige prosjekter.
10. *Gjenbruk av materialer og resirkulering av rivematerialer*: Mange vegprosjekter omfatter også riving av eksisterende konstruksjoner. Det bør vurderes i hvert tilfelle om bygningselementer eller rivematerialer kan gjenbrukes på anlegget. Prosjektene må tilstrebe en høy grad av avfallssortering, og levering av rivematerialer som stål og asfalt til gjenvinning.

7.3 Dokumentasjon og verktøy

11. *Etablering av et felles sett av definisjoner*: Det er viktig å ha en felles forståelse av begreper relatert til arbeidet med å forbedre konstruksjoner og infrastrukturbygg med tanke på bærekraft, klima og miljø. Det bør utarbeides et omforent sett av definisjoner. Bransjen bør arbeide frem og vedlikeholde en komplett liste over definisjoner.
12. *Verktøy og veiledere for tidligfasevurderinger*: Det er behov for å utvikle enkle og robuste verktøy og veiledere for tidligfaseberegning av klimagassutslipp. Dersom det blir enklere å identifisere viktige bidragsytere til klimagassutslipp, samt å dokumentere effekt av utslippsreducerende tiltak, vil det bli enklere å synliggjøre og å få aksept for tiltakene hos beslutningstakerne. Det blir enklere å gi raske og gode råd til byggherre, prosjekterende og entreprenører. Byggherrene bør samarbeide om veiledere og verktøy som for eksempel tidligfaseverktøy og VegLCA.
13. *Kost-nytte*: Prinsippet om kost-nytte-vurderinger må innarbeides i beslutningsprosessene. Her er det særlig tre tiltak som anbefales:
 - a. Evaluere og vektlegge klimagassutslipp i valg av konstruksjonstype og plassering i tidligfase
 - b. Velge klimagasseffektive materialer og da særlig lavkarbonbetong og resirkulert armering
 - c. Økte innsats i prosjekteringen og særlig bruke mer avanserte beregningsmetoder for å redusere materialmengder og innsats på byggeplass.
14. *Klimagassutslipp som premiss ved revidering av håndbøker*: Håndbøker og kravdokumenter samler kjente krav og beste praksis. De må jevnlig oppdateres med ny kunnskap og teknologi. Hensyn til klimagassutslipp må inkluderes i fremtidige revisjoner.

7.4 Dokumentasjon og vurdering av utslippsfaktorer for 1990 og fremover i tid

15. *Tilbakeskriving av utslippsfaktorer til referanseåret 1990*: I dette arbeidet er det tilbakeskrevet utslippsfaktorer for betong, stål og asfalt for referanseåret 1990. Utslippsfaktorene er imidlertid svært usikre og det bør utarbeides mer robuste og dokumenterte faktorer som kan brukes for å beregne utslippsbesparelsene for nye prosjekter mer nøyaktig opp mot referanseåret. Det bør gjøres et referansesøk sammen med produsentene og bransjeorganisasjonene for å sannsynliggjøre utslippsfaktorene med høyere grad av nøyaktighet. Spesielt er utslippsfaktoren for stål i 1990 avgjørende for dokumentasjon av utslippsreduksjoner sammenlignet med referanseåret.

16. *Fremskriving av utslippsfaktorer:* Det er behov for å gjøre gode antakelser ved fremskriving av utslippsfaktorer i tid. Utslippsfaktorer fra produksjon av betong, stål og asfalt vil sannsynligvis reduseres fremover. For eksempel har sementprodusentene visjoner og planer for nullutslippsbetong. Utslippsfaktorene for anleggsarbeider og transport vil også reduseres etter hvert som fossil energi fases ut. Det er gjort noen antakelser om utslippsfaktorer for elektrisk strøm frem i tid, men det bør utarbeides gode, felles faktorer på bransjenivå for å kunne ta inn tidsfaktoren i livsløpsvurderingene mer nøyaktig.

8 Referanser

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2015: Bruprosjektering. Håndbok N400.

Norsk Betongforening, 2015: Publikasjon nr. 37, Lavkarbonbetong.

Statens vegvesen, vegdirektoratet, 2015: Prosesskode 2, Standard beskrivelse for bruere og kaier. Håndbok R762.

Statens vegvesen, 1988: Prosesskode 2, Standard arbeidsbeskrivelse for vegarbeidsdrift. Håndbok 026.

Statens vegvesen, 2017: BRUTUS, brudatabase.

Jernbaneverket/Bane NOR 2012: Veileder for utarbeidelse av miljøbudsjett for jernbaneinfrastruktur

Norsk forening for fjellsprenningsteknikk, 2014: Anbefalte retningslinjer for utarbeidelse av miljøbudsjett og miljøregnskap for tunneler. Teknisk rapport 16.

Statens vegvesen, 2009: Metode for beregning av energiforbruk og klimagassutslipp for vegprosjekter. Rapport nr. 2009/11.

Statens vegvesen, 2016: VegLCA v1.02, med dokumentasjonsrapport

Eldegard & Brevik, 2017: Den klimanøytrale betongen. Innlegg på konferansen «Hvordan redusere CO₂-utslipp i bygg- og anleggssektoren».

Norcem 2017: Karbonnøytral betong? Vår nullvisjon mot 2030. Per Brevik

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014: Miljøeffekter og energireduksjon ved asfaltarbeid. Etatsprogram Lavere energiforbruk i Statens vegvesen (LEIV). SVV rapport 319.

Norsk Betongforening, 2014: Karbonopptak i betong. Rapport nr. 4.

EPD Norge: www.epd-norge.no

The International EPD System www.environdec.com

Ecoinvent, 2017: Ecoinvent 3.4

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2016: Vegtunneler. Håndbok N500.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2014: Rekkverk og vegens sideområder. Håndbok N101.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2016: Vegrekkverk og andre trafiksikkerhetstiltak. Håndbok V160.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2016: Brurekkverk. Håndbok V161.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2017: Ferjekai. Prosjektering. Håndbok V431.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 2016: Tunnelveiledning. Håndbok V520.

Asplan Viak & Husbanken, 2015: Helhetlig vurdering av byggematerialer.

Miljødirektoratet, 2015: Klimatiltak og utslippsbaner mot 2030 – Kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling. Rapport M-386.

Norconsult, 2017: Klimaoptimal bruk av betong. Presentasjon på Teknologidagene til Statens vegvesen, 24. oktober 2017.

https://www.vegvesen.no/attachment/2049598/binary/1214781?fast_title=Klimaoptimal+bruk+av+betong.pdf

Vedlegg 1 - klimagassoverslag

I det følgende vises resultater fra overslagsberegninger av kostnader og klimagassutslipp for de ulike eksemplene i kapittel 2 Planfaser og konstruksjonstyper.

A	2017-12-22	Vedlegg, klimagassoverslag	ChWol	KeS	KeS
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

2 Eksempel – Plasstøpt og prefabrikkert bjelkebru (fra kap. 2.2.2)

Prosess	Hovedprosess			Materialer		Kostnad		Karbonavtrykk byggetase		Karbonavtrykk livsløp	
	Materialer	Enhet	Mengde	[kr ekskl mva]	Sum kost [kr ekskl mva]	Utslippsfaktor Type	Utslippsfaktor Enhet	Utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggetase [kg CO2-ekv]	Levetid [år]	Sum utslipp livsløp [kg CO2-ekv]
09.9 JFORUTSETT, 10%					374 910						
12 RIGG OG DRIFT, 20%					749 820						
81 LØSNINGSARBEIDER											
Graving løsmasser											
Utlegging løsmasser											
82 BERG											
Pugging/Sprengning											
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN											
Endekaer											
84 BETONGARBEIDER											
Underbygning											
Forkaling	m2	140	1 000	140 000	Vaifortid	kg CO2/m2	-	-	-	100	37 500
Armering	tonn	25	15 000	375 000	ES00/C res > 70%	kg CO2/tonn	1 500	-	37 500	100	52 700
Betong	m3	170	1 500	272 000	B45 (W40 - Høy (LAW B))	kg CO2/m3	310	-	52 700	100	52 700
Overbygning											
Fribenende stallas	m2	340	1 500	510 000	Fribenende	kg CO2/m2	-	-	-	100	0
Forkaling	m2	480	900	432 000	Burd	kg CO2/m2	-	-	-	100	0
Armering	tonn	45	15 000	675 000	ES00/C res > 70%	kg CO2/tonn	1 500	-	67 500	100	67 500
Spennering	mm/m	1 600	150	258 000	B45 (W40 - Høy (LAW B))	kg CO2/mm	310	-	12 800	100	12 800
Betong	m3	310	1 500	495 000	B45 (W40 - Høy (LAW B))	kg CO2/m3	310	-	96 100	100	96 100
87 BRUBELGNING, UTSTYR OG SPESIALARB.											
Lager endekser					40 000						
Elektr. drensse, etc.					20 000						
Membran	m2	310	450	139 500	Fultsloerig A3-4 - topeka	kg CO2/m2	56	-	4 368	100	29 120
Stelag, asfalt	tonn	78	1 200	93 600	AGB 11	kg CO2/tonn	180	-	14 400	50	28 800
Kjølesett Ytterkvekk	m	80	4 000	320 000	Bruekvekk H2 - tung	kg CO2/m					
SUM					4 873 830				285 368		324 520
Fri bredde bru	10,0	m									
Langde overbygning	31,0	m									
Areaal bru	310	m²									
[Kostnad/m²] og [kg CO2-ekv/m²]					15722 kr/m²				921 kg CO2-ekv/m²		1047
Fornhold utsipp-kost					58 551 [0,00m CO2-ekv / mll.kv]						
Levetid					66 564 [0,00m CO2-ekv / mll.kv]						

K11 Salthusvegen Bru
 Prefab bjelkebru, forspent

Prosess	Materiale	Enhet [..]	Menge	Kostnad		Utslippsfaktor Type	Karbonavtrykk byggetase		Karbonavtrykk livsløp			
				[kr ekal mval]	Sum kost [kr ekal mval]		Utslippsfaktor Enhet [..]	Verdi	Sum utslipp byggetase [kg CO2-ekv.]	Leverid [ar]	Sum utslipp livsløp [kg CO2-ekv.]	
09.9 UFORUTSETT, 10%					341 300							
12 RIGG OG DRIFT, 20%					692 600							
81 LØSMASSARBEIDER Graving løsmasser Utleiing løsmasser												
82 BERG Pigging/Sprengning												
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN Endekasser												
84 BETONGARBEIDER Underbygning Forskaling Armering Betong		m2 tonn m3 tonn	190 13 100	1 000 15 000 1 800	190 000 195 000 180 000	Valgrtt hud B500/C res > 70% B45 MF40 - HØY (Lark E)	kg CO2/m2 kg CO2/tonn kg CO2/m3	1 500 310	19 500 31 000	100 100	19 500 31 000	0
Overbygning Fribærende stilles Forskaling Armering Betong Prefab MOT-bjelker Prefab Platendekker		m2 m2 tonn m3 tonn tonn	35 225 30 230 275 86	1 500 900 15 000 1 800 3 000 4 500	52 500 202 500 450 000 400 000 825 000 387 000	Fribærende Bord B500/C res > 70% B45 MF40 - HØY (Lark E) MOT T200 Plattendekke 150 mm	kg CO2/m2 kg CO2/m2 kg CO2/tonn kg CO2/m3 kg CO2/tonn kg CO2/tonn	- - 1 500 310 275 200	- - 45 000 77 500 75 625 17 200	- 100 100 100 100	- - 45 000 77 500 75 625 17 200	0
87 BRUBELÆGNING, UTSTYR OG SPESIALARBEID Lager endekasser Elektr. drenasje, etc. Membran Sillidg. astalt Kjørestend. jernstykke		- - m2 tonn m	2 0 340 85 64	20 000 450 1 200 4 000	40 000 - 153 000 102 000 256 000	Fuktisolering A3-4 - toppeks AGB 11 Brustykke H2 - tung	kg CO2/m2 kg CO2/tonn kg CO2/m	- 56 180	- 4 760 11 520	100 15 50	- 31 733 23 040	0
SUM					4 438 900				282 105		320 536	
Fri bredde bru Lengde overbygning Areal bru Kostnad/m2 og [kg CO2-ekv./m2]		m m m ²	12,2 28,0 341,6									
Fornold utslipp-kost Leverid		[ppm CO2-ekv./m ²] [ppm CO2-ekv./m ²]	63 582 72 257									
					1 2989 kr/m ²				826 kg CO2-ekv./m ²		939	

3 Eksempel – Etteropspent bjelkebru og platebru (fra kap. 2.3.1)

Hovedprosess		Materiale			Kostnad		Karbonavtrykk byggetase			Karbonavtrykk livsløp	
Prosess	Materiale	Enhet	Mengde	[kr eksl mva]	Sum kost [kr eksl mva]	Utslippsfaktor Type	Utslippsfaktor Enhet [..]	Utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggetase [kg CO2-ekv]	Levetid [år]	Sum utslipp livsløp [kg CO2-ekv]
09.9 UFORUTSETT, 10%					879 100						
12 RIGG OG DRIFT, 20%					1 758 200						
81 LØSMASSARBEIDER	Løsmasser	m3		-							
	Graving sprengt berg	m3		-							
	Utlegging løsmasser	m3		-							
82 BERG	Berg	m3		-							
	Sprengning										
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN											
	Endeakser										
	Midtakser										
84 BETONGARBEIDER											
	Underbygning										
	Fundamenter og søyler										
	Forkalling	m2	350	1 000	350 000	Vægtfylt	kg CO2/m2	0,00	-		0
	Armering	tonn	35	15 000	525 000	B500NC res > 90%	kg CO2/tonn	1000,00	35 000	100	35 000
	Betong	m3	250	1 600	400 000	B45-11F40 - middele (A)	kg CO2/m3	240,00	60 000	100	60 000
	Overbygning										
	Fettbeholdning stillas	m2	1 000	1 500	1 500 000	Dreie fra bakken	kg CO2/m2	0,00	-		0
	Forkalling	m2	1 500	900	1 350 000	B20	kg CO2/m2	0,00	-		0
	Armering	tonn	105	15 000	1 575 000	B500NC res > 90%	kg CO2/tonn	1000,00	105 000	100	105 000
	Spennermering	m3	3 000	160	480 000	1PK 1880 - medium	kg CO2/m3	7,00	21 000	100	21 000
	Betong	m3	750	1 600	1 200 000	B45-11F40 - høy (B)	kg CO2/m3	310,00	232 500	100	232 500
87 BRUBELGNING, UTSTYR OG SPESIALARB.											
	Lager endeakser		6	20 000	120 000						
	Elektr. drenasje, etc.										
	Membran	m2	900	450	405 000	Fuktisiering A3.4 - tepaka	kg CO2/m2	0,00	-	100	0
	Sildelag, asfalt	tonn	225	1 200	270 000	ACS 11	kg CO2/tonn	58,00	12 600	15	84 000
	Kjølesentid ytterkvekk	m	130	4 000	520 000	Brennkvekk H2 - tung	kg CO2/m	180,00	23 400	50	48 800
	Telling for membranlegg		960	100	96 000						
SUM					11 428 300				489 500		594 300
Frt. bødde bru	17,5	m									
Leitde overbygning	56,0	m									
Areaal bru	980	m ²									
[Kostnad/m2] og [kg CO2-ekv/m2]					11662 kr/m2				499 kg CO2-ekv/m2		696

Forspent bru - plate 55 m

Prosess	Hovedprosess		Materiale		Kostnad		Karbonavtrykk byggefase		Karbonavtrykk livsløp		
	Materiale	Enhet	Mengde	[kr ekskl mva]	Sum kost [kr ekskl mva]	Utslippsfaktor Type	Utslippsfaktor Enhet	Utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggefase [kg CO2-ekv]	Levetid [år]	Sum utslipp livsløp [kg CO2-ekv]
09.9 UFORUSETT, 10%					988 900						
12 RIGG OG DRIFT, 20%					1 977 800						
81 LØSMASSEARBEIDER											
Graving løsmasser	Løsmasser	m3		-							
Graving sprengt berg	Løsmasser	m3		-							
Utleiing løsmasser	Løsmasser	m3		-							
82 BERG											
Sprengning	Berg	m3		-							
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN											
Endekasser											
Middakser											
84 BETONGARBEIDER											
Underbygning											
Fundamenter og søyler	Forskalling	m2	350	1 000	350 000	Valgfrifund	kg CO2/m2	0,00	-		0
Forskalling	Armering	tonn	35	15 000	525 000	B500NC res > 90%	kg CO2/tonn	1000,00	35 000	100	35 000
Armering	Betong	m3	250	1 600	400 000	B45 Hf40 - indels (A)	kg CO2/m3	240,00	60 000	100	60 000
Betong											
Overbygning											
Fritterende stillas	Reis	m2	1 000	1 500	1 500 000	Direkte fra bakken	kg CO2/m2	0,00	-		0
Forskalling	Forskalling	m2	1 300	900	1 170 000	Bord	kg CO2/m2	0,00	-		0
Armering	Armering	tonn	115	15 000	1 725 000	B500NC res > 90%	kg CO2/tonn	1000,00	115 000	100	115 000
Spennarmring	Spennarmring	m/lin	6 000	160	960 000	fok 1880 - medium	kg CO2/m/lin	7,00	42 000	100	42 000
Betong	Betong	m3	1 160	1 600	1 856 000	B45 Hf40 - høy (B)	kg CO2/m3	310,00	359 600	100	359 600
87 BRUBELEGNING, UTSTYR OG SPESIALARB.											
Løper endekasser											
Elektr, deransj, etc.											
Membran	Membran	m2	900	20 000	120 000	Faktisolerieng A3-4 - topetika	kg CO2/m2	0,00	-	100	84 000
Sleibeg, asfalt	Asfalt	tonn	225	450	405 000	AGB 11	kg CO2/tonn	56,00	12 600	15	48 080
Kyresterkt ytterkvekk	Rekkverk	m	128	1 200	270 000	Brurekkverk H2 - tung	kg CO2/m	180,00	23 040	50	48 080
Telling for membranlegging											
			960	100	96 000						
SUM					12 855 700				647 240		741 690
Fri breidde bru	17,5	m									
Lengde overbygning	55,0	m									
Areaal bru	962,5	m²									
Kostnad[m2] og [kg CO2-ekv/m2]					13387	kr/m2			672	kg CO2-ekv/m2	771

4 Eksempel – Lang og kort portalkonstruksjon (fra kap. 2.3.2)

Prosess	Hovedprosess	Materialer	Materiale		Kostnad		utslippsfaktor Type	Karbonavtrykk utslippsfaktor Enhet [-]	Karbonavtrykk byggefase utslippsfaktor Verdi	Sum utslipp byggefase [kg CO ₂ -ekv.]	Karbonavtrykk livsløp Løstid [år]	Sum utslipp livsløp [kg CO ₂ -ekv.]
			Enhet [-]	mengde	Enhetspris [kr/ekst mva]	Sum kost [kr/ekst mva]						
09.a UFORUTSETT, 10%					515 100							
12 RIGG OG DRIFT, 20%					1 000 200							
81 LØSMASSEARBEIDER (Graving løsmasser (ikke medtatt) Graving sprengt berg (ikke medtatt) Utleiing løsmasser		Løsmasser Løsmasser Løsmasser	m ³ m ³ m ³	0 0 3 800	150 150 250	950 000	Utleiing løsmasser over vann	kg CO ₂ /m ³	0,80	3 040	-	3 040
82 BERG Sprenghing (ikke medtatt)		Berg	m ³	0	500	-						
83 KONSTRUKSJONER I GRUNNEN												
84 BETONGARBEIDER												
Underbygning/fundamenter		Forsteking Armering Betong	m ² tonn m ³	100 27 180	1 000 15 000 1 800	100 000 405 000 280 000	Valgitt hud Beton/C-varlig S45 MF40 - middels (A)	kg CO ₂ /m ² kg CO ₂ /tonn kg CO ₂ /m ³	0,00 2000,00 240,00	54 000 43 200	100 100	54 000 43 200
Overbygning og vinger		Stillas fra bakken, forstekingssogn Forsteking Armering Betong	m ² m ² tonn m ³	280 1 300 57 370	1 500 900 15 000 1 800	390 000 1 170 000 855 000 592 000	Frittbærende Bord B500/C-varlig S45 MF40 - ingen krav (C)	kg CO ₂ /m ² kg CO ₂ /m ² kg CO ₂ /tonn kg CO ₂ /m ³	0,00 0,00 2000,00 360,00	- 114 000 133 200	100 100	- 114 000 133 200
87 BRUBELEGNING, UTSTYR OG SPESIALARBEIDER		Menntan Kjenssterk etikkverk	m ² m	670 50	300 4 000	201 000 200 000	Fuddelning A5-2 - prefabrikkert Burrekkverk-12 - tung	kg CO ₂ /m ² kg CO ₂ /m	8,00 180,00	5 360 9 000	100 50	5 360 18 000
SUM						6 696 300				381 800		370 800
Fri bevidde bru Lengde overbygning Areal bru Kvadratmeter og kg CO ₂ -ekv./m ²			12,0 40,0 480	m m m ²						13951 kg CO ₂ -ekv./m ²		754 kg CO ₂ -ekv./m ²
Forhold utslipp-kost										54 000 [kom CO ₂ -ekv. / mill.kr]		55,374 [kom CO ₂ -ekv. / mill.kr]
										etablering		eveldid

Vedlegg 2 - Portalberegninger

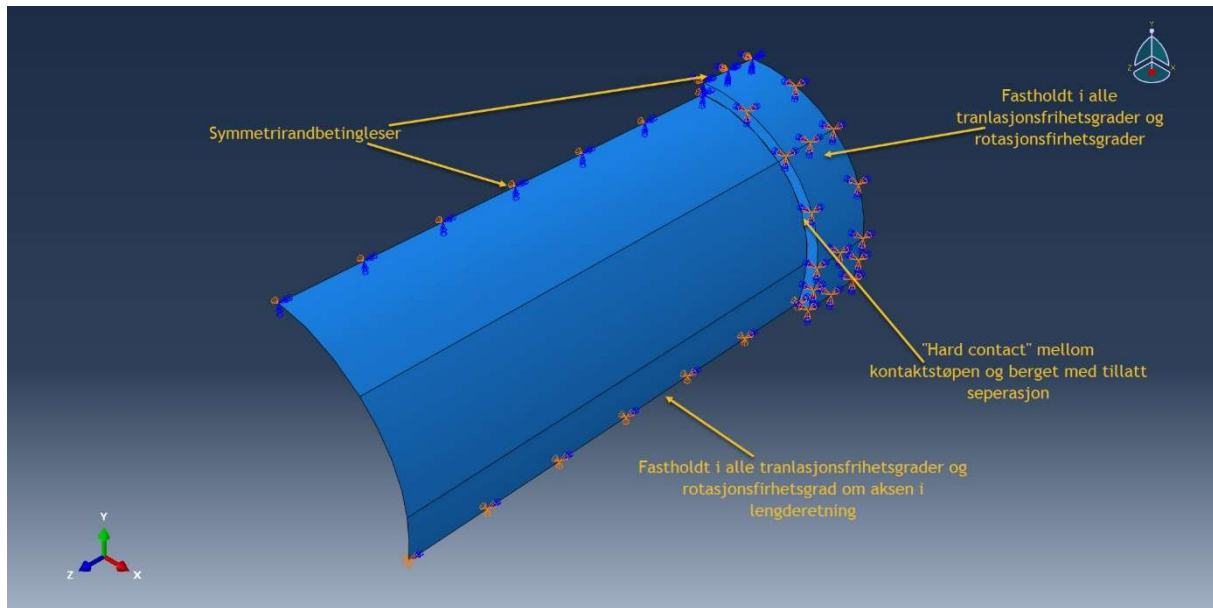
Resultater av Abaqus beregning

Resultater av Process dimensjonering

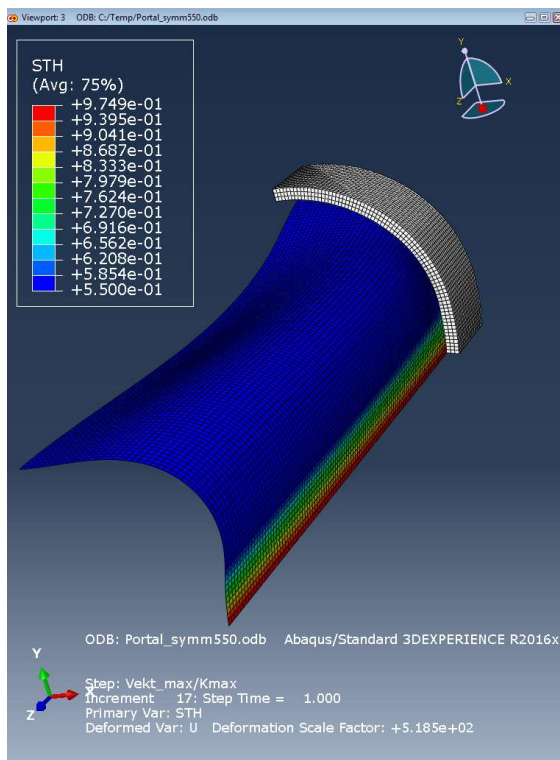
A	2017-12-22	Vedlegg, portalberegninger	EKo	DB	KeS
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Vedlegg 2

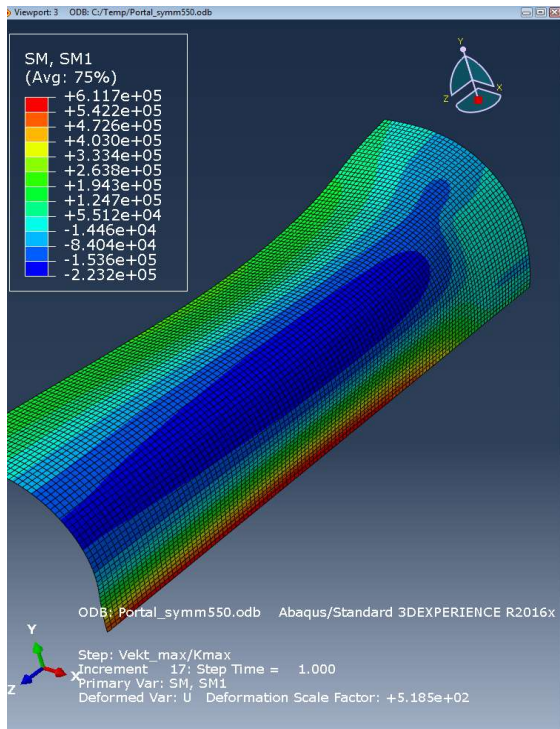


Geometri av portalen og randbetingelser

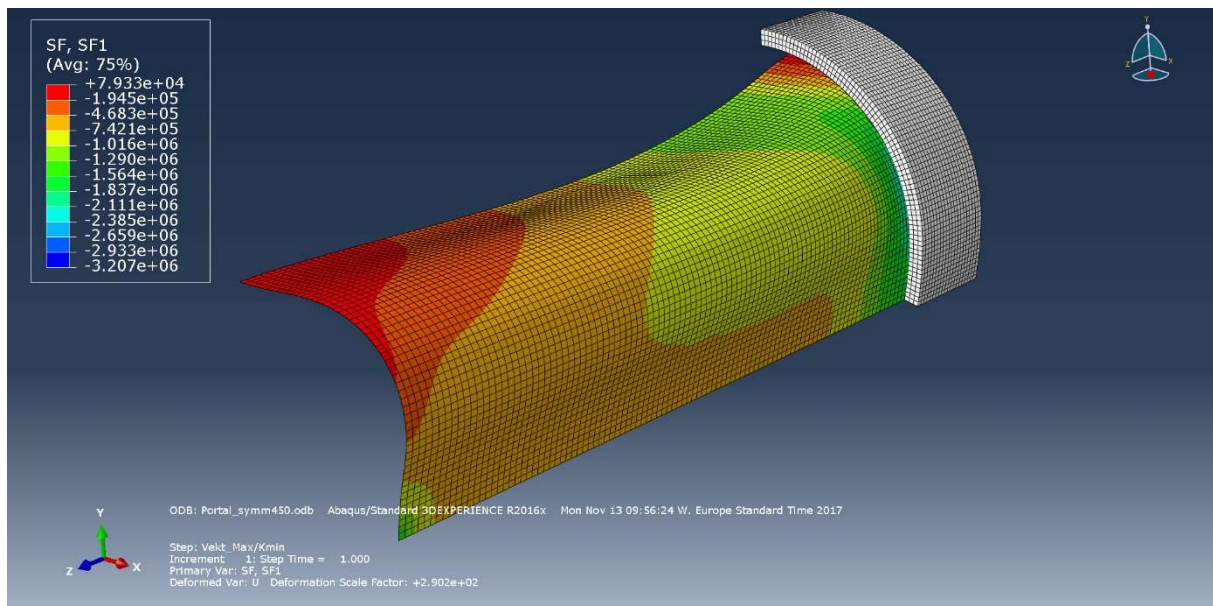


Skalltykkelse og deformasjon av portalen

Vedlegg 2

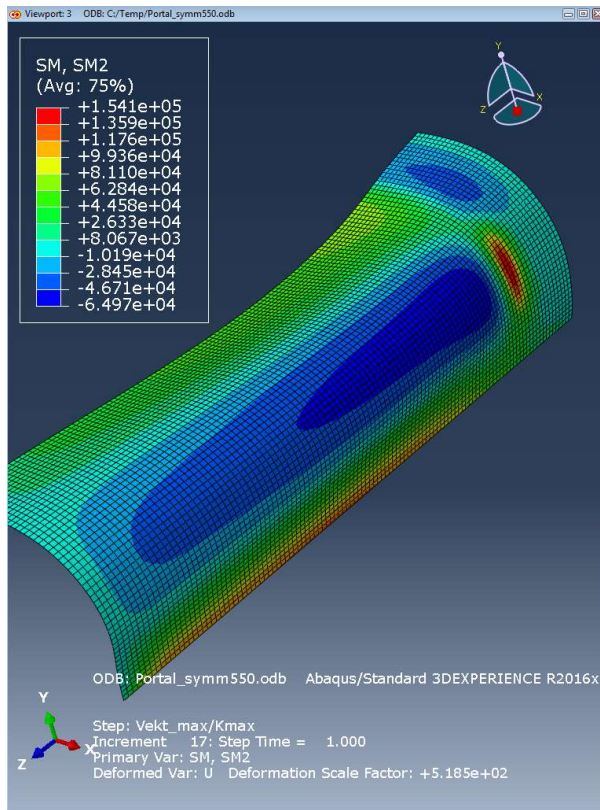


Moment om horisontal akse SM1 (Nm)

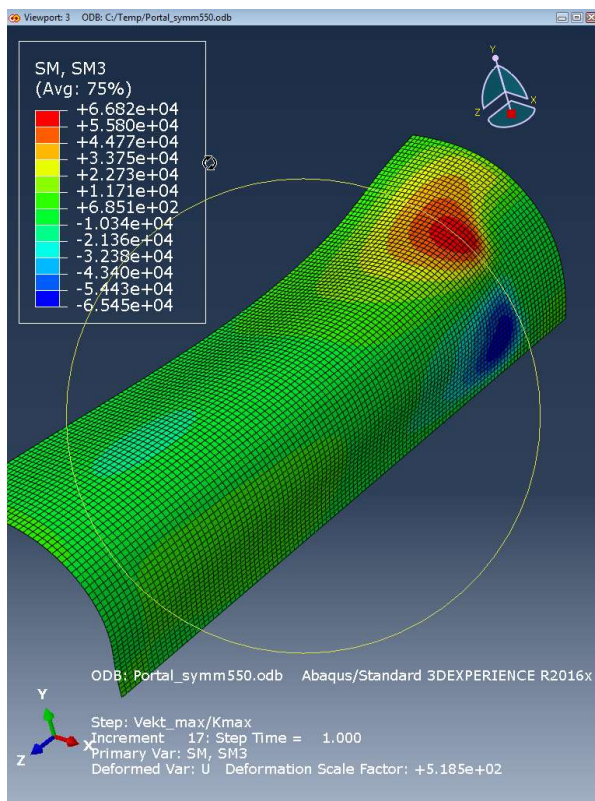


Aksialkraft i ringretning SF1 (N)

Vedlegg 2

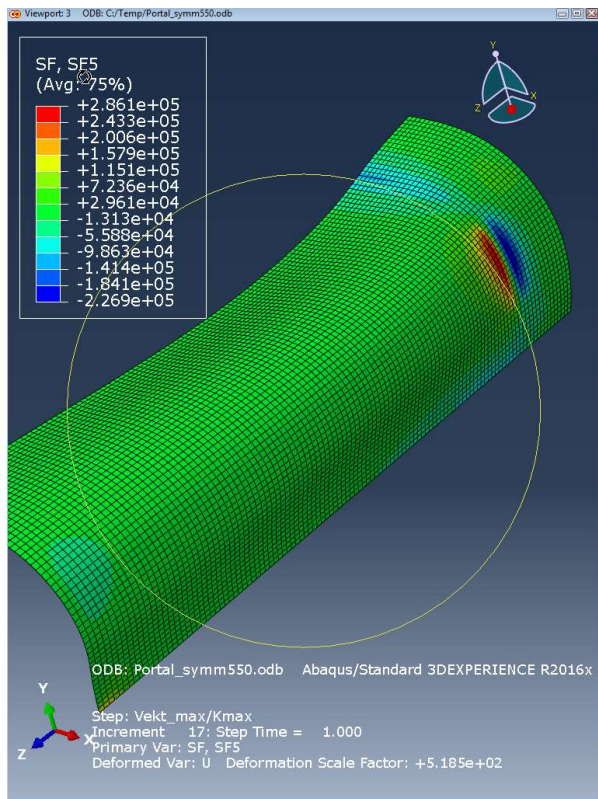


Moment om vertikal akse SM2 (Nm)

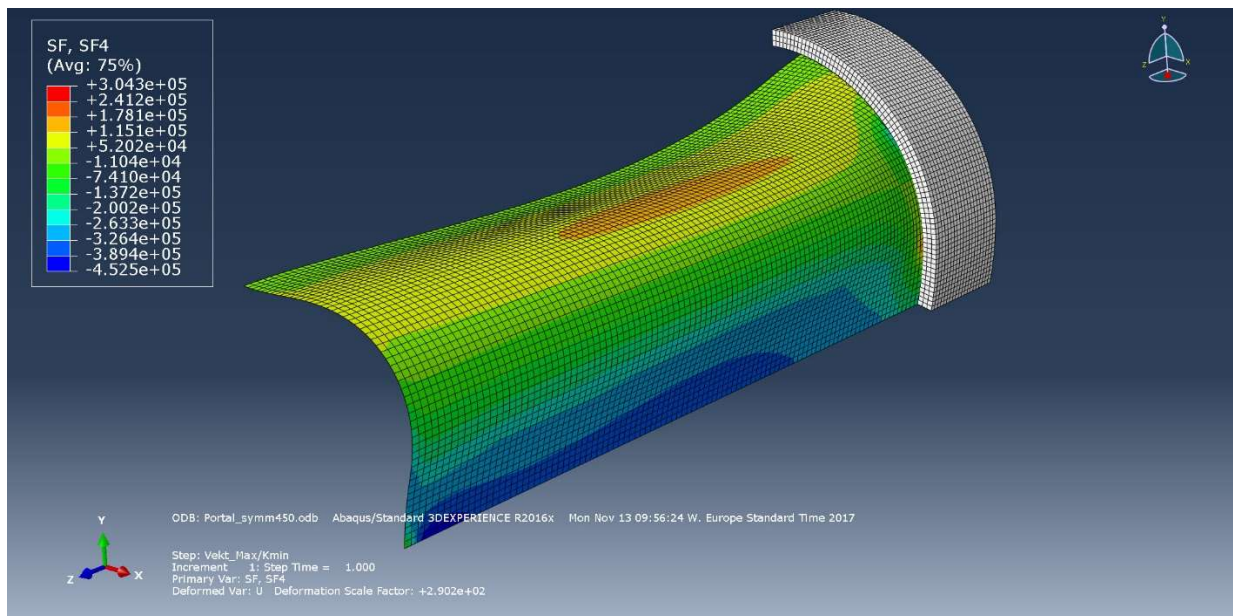


Torsjonsmoment SM3 (Nm)

Vedlegg 2



Skjærkrefter S5 (N)



Skjærkrefter SF4 (N)

Likevektskontroll

Likevektskontroll

Egenvekt betong:

$$W_{\text{betong}} := \left(\frac{\pi}{2} \cdot 5.5 \text{ m} \cdot 0.55 \text{ m} + 2 \text{ m} \cdot \frac{(0.55 + 0.99) \text{ m}}{2} \right) \cdot 23 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = (3.618 \cdot 10^6) \text{ N}$$

TOTAL	-1.7280E-11	3.6236E+06	-9.0949E-13	0.000	-17.05	1.7806E+06
1						

$$\frac{(3.6236 - 3.618)}{3.618} \cdot 100 = 0.155 \quad \text{OK!}$$

Vekt av jord

$$W_{\text{jord}} := \left(15.5 \text{ m} \cdot 5.5 \text{ m} - \left(\frac{\pi}{4} \cdot (5.5 \text{ m})^2 \right) \right) \cdot \frac{20}{2} \cdot \text{m} \cdot 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = (1.168 \cdot 10^7) \text{ N}$$

TOTAL	-2.8922E-10	1.1753E+07	-1.1132E-09	0.000	18.27	8.0790E+06
1						

$$\frac{(1.1753 - 1.168)}{1.168} \cdot 100 = 0.625 \quad \text{OK!}$$

 $K := 0.46$

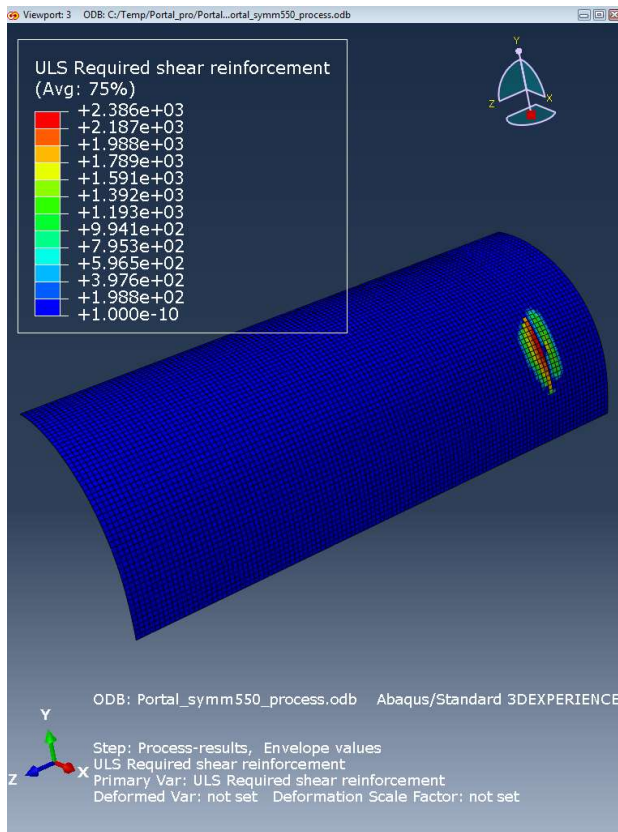
Jordtrykk

$$H_{\text{jord}} := K \cdot \frac{(10 + 17.4) \text{ m}}{2} \cdot 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 7.4 \text{ m} \cdot \frac{20}{2} \text{ m} = (8.861 \cdot 10^6) \text{ N}$$

TOTAL	8.8733E+06	9.6043E-10	2.1646E-10	0.000	60.55	-6.3036E+06
-------	------------	------------	------------	-------	-------	-------------

$$\frac{(8.8733 - 8.861)}{8.873} \cdot 100 = 0.139 \quad \text{OK!}$$

Vedlegg 2



Skjærarmeringsbehov (mm^2/m^2)

Resultater av 2D rammeberegning

Dimensjonering

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1_450.fra

Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**

SAMMENDRAG

- 19 noder
- 2 opplegg
- 0 fjær
- 0 ledd
- 18 element
- 6 tverrsnitt
- 50 laster
- 3 lasttilfeller
- 3 kombinasjoner

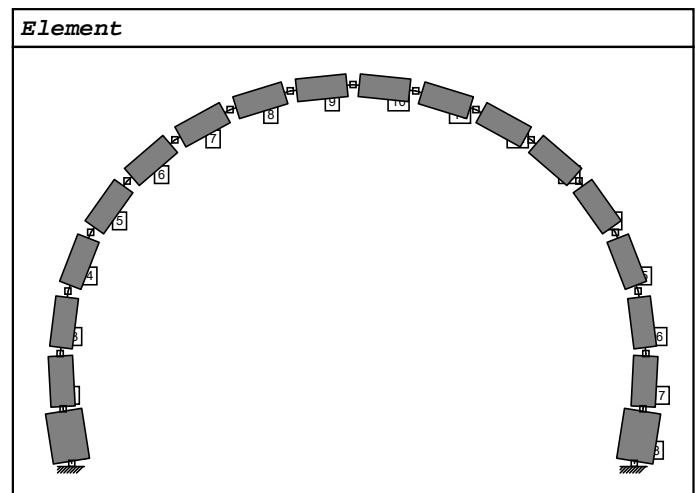
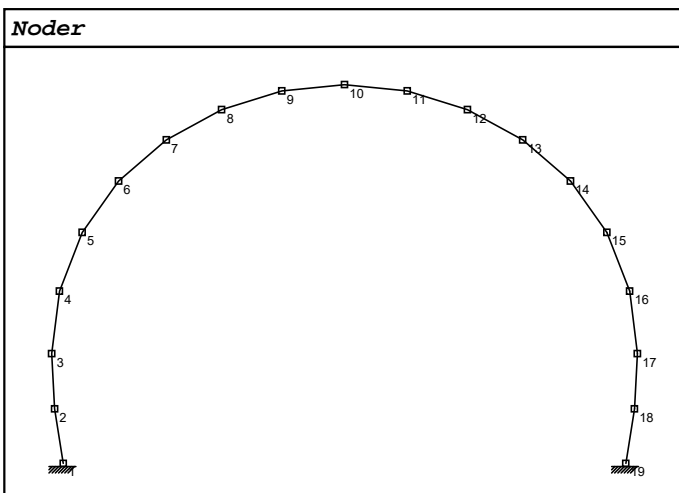
N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1_450.fra

Noder

	X (m)	Y (m)	X	Y	M		X (m)	Y (m)	X	Y	M		X (m)	Y (m)	X	Y	M	
1	4.439	0.399	F	F	F	8	7.570	7.395					15	15.187	4.967			
2	4.268	1.478				9	8.760	7.764					16	15.637	3.806			
3	4.210	2.570				10	10.000	7.889					17	15.790	2.570			
5	4.813	4.967				11	11.240	7.764					18	15.732	1.478			
4	4.364	3.806				12	12.430	7.395					19	15.561	0.399	F	F	F
6	5.533	5.983				13	13.523	6.796										
7	6.477	6.796				14	14.467	5.983										

Element

Navn	Node 1	Node 2	Init-	Navn	Node 1	Node 2	Init-	Navn	Node 1	Node 2	Init-
	(L=Ledd)	(L=Ledd)	krum.		(L=Ledd)	(L=Ledd)	krum.		(L=Ledd)	(L=Ledd)	krum.
1	1	2	Nei	7	7	8	Nei	13	13	14	Nei
2	2	3	Nei	8	8	9	Nei	14	15	14	Nei
3	3	4	Nei	9	9	10	Nei	15	16	15	Nei
4	4	5	Nei	10	10	11	Nei	16	17	16	Nei
5	5	6	Nei	11	11	12	Nei	17	18	17	Nei
6	6	7	Nei	12	12	13	Nei	18	19	18	Nei



Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

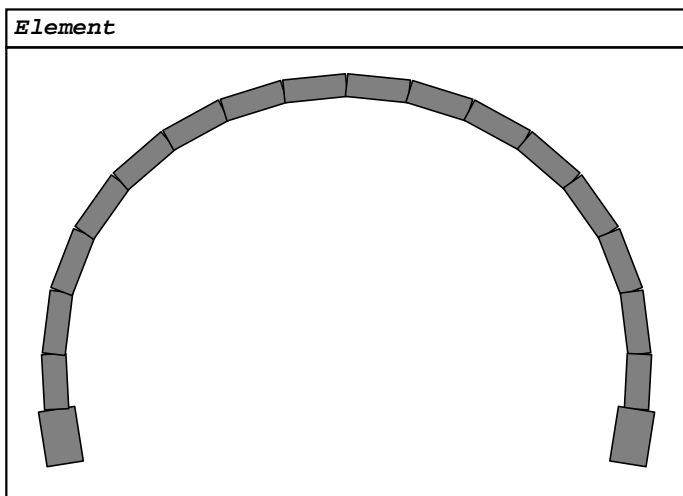
Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1_450.fra

Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**



Tverrsnittsdata

Navn	Retn.	Areal (m ²)	I (m ⁴)	h (m)	z (m)	E-modul (kN/m ²)
724x100 / C45/55	y-y	7.240e-1	3.16e-2	0.724	0.362	5.50e7
480x1000 / C45/55	y-y	4.800e-1	9.22e-3	0.480	0.240	5.50e7
450x1000 / C45/55	y-y	4.500e-1	7.59e-3	0.450	0.225	5.50e7

Tverrsnitt/element

Element	Tverrsnitt	Retn.	Lengde (m)	Vekt (kg)
1	724x100 / C45/55	y-y	1.092	1977.363
2	480x1000 / C45/55	y-y	1.094	1312.247
3	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.196
4	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1400.560
5	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1400.910
6	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.564
7	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1402.172
8	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.635
9	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1402.070
10	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1402.070
11	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.635
12	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1402.172
13	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.564
14	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1400.910
15	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1400.804
16	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1401.113
17	480x1000 / C45/55	y-y	1.094	1312.247
18	724x100 / C45/55	y-y	1.092	1977.363
Sum			21.812	26200

Tverrsnittsspesifikasjon

Tverrsnitt	Lengde (m)	Antall	Vekt (kg)	Tverrsnitt	Lengde (m)	Antall	Vekt (kg)
724x100 / C45/55	1.092	1	1977.363	450x1000 / C45/55	1.246	1	1401.564
480x1000 / C45/55	1.094	2	2624.494	450x1000 / C45/55	1.246	2	2804.343
450x1000 / C45/55	1.246	1	1401.196	450x1000 / C45/55	1.246	2	2803.270
450x1000 / C45/55	1.245	1	1400.560	450x1000 / C45/55	1.246	2	2804.140
450x1000 / C45/55	1.245	1	1400.910	450x1000 / C45/55	1.246	1	1401.564

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1_450.fra

Dato: 2017-12-01

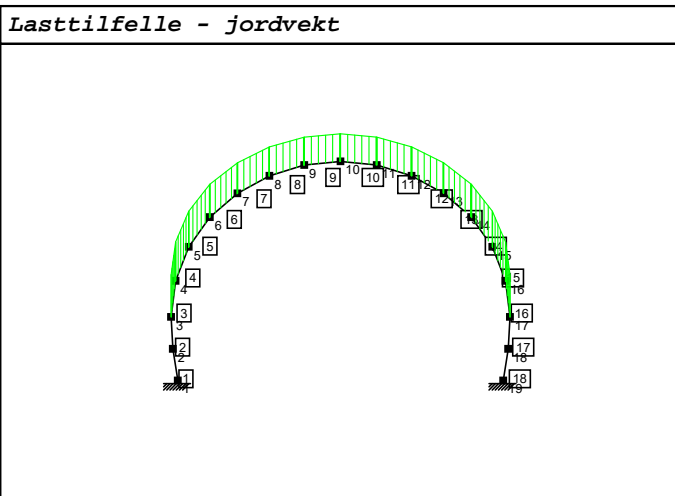
Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**

Tverrsnittsspesifikasjon

Tverrsnitt	Lengde (m)	Antall	Vekt (kg)	Tverrsnitt	Lengde (m)	Antall	Vekt (kg)
450x1000 / C45/55	1.245	1	1400.910	724x100 / C45/55	1.092	1	1977.363
450x1000 / C45/55	1.245	1	1400.804				
450x1000 / C45/55	1.245	1	1401.113	Sum	21.812	18	26200

Lasttilfelle: jordvekt



Variabelt fordelt last

Element	Retn.	Lastintensitet	Laster	L1 (m)	L2 (m)
3	V / q1 (kN/m)	291.6	267.6	0	0
4	V / q1 (kN/m)	267.6	245.5	0	0
5	V / q1 (kN/m)	245.5	226.2	0	0
6	V / q1 (kN/m)	226.2	210.8	0	0
7	V / q1 (kN/m)	210.8	199.4	0	0
8	V / q1 (kN/m)	199.4	192.4	0	0
9	V / q1 (kN/m)	192.4	190.0	0	0
10	V / q1 (kN/m)	190.0	192.4	0	0
11	V / q1 (kN/m)	192.4	199.4	0	0
12	V / q1 (kN/m)	199.4	210.8	0	0
13	V / q1 (kN/m)	210.8	226.2	0	0
14	V / q1 (kN/m)	245.5	226.2	0	0
15	V / q1 (kN/m)	267.6	245.5	0	0
16	V / q1 (kN/m)	291.1	267.6	0	0

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

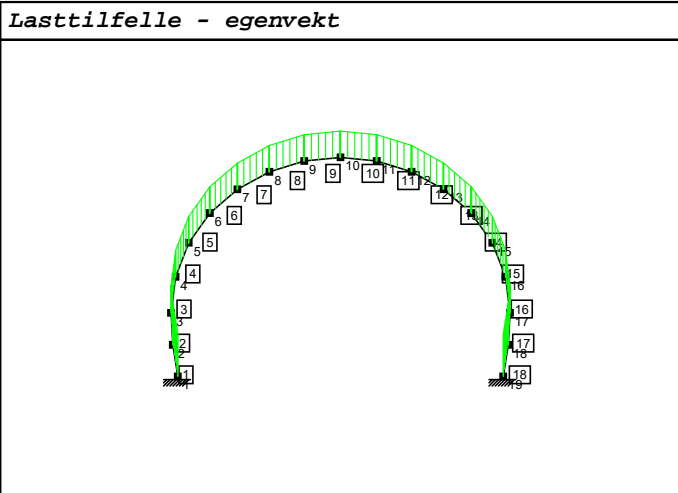
Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltversnitt T10-5\Ram1_450.fra

Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**

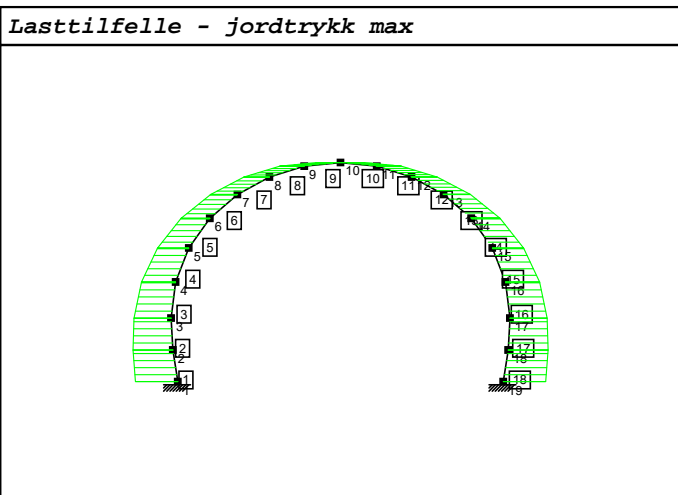
Lasttilfelle: egenvekt



Egentyngde

Element	q (kN/m)	Element	q (kN/m)	Element	q (kN/m)	Element	q (kN/m)	Element	q (kN/m)
1	17.8	5	11.0	9	11.0	13	11.0	18	17.8
2	11.8	6	11.0	10	11.0	14	11.0	15	11.0
3	11.0	7	11.0	11	11.0	16	11.0		
4	11.0	8	11.0	12	11.0	17	11.8		

Lasttilfelle: jordtrykk max



Variabelt fordelt last

Element	Retn.	Lastintensitet	Laster	L1 (m)	L2 (m)
1	H / q1 (kN/m)	152.9	143.4	0	0
2	H / q1 (kN/m)	143.4	133.9	0	0
3	H / q1 (kN/m)	133.9	123.1	0	0
4	H / q1 (kN/m)	123.1	112.9	0	0
5	H / q1 (kN/m)	112.9	104.1	0	0
6	H / q1 (kN/m)	104.1	97.0	0	0
7	H / q1 (kN/m)	97.0	91.7	0	0

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner Dato: 2017-12-01
 Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling Utført av: (Eko)
 Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1_450.fra Firmanavn: **Norconsult AS**

Variabelt fordelt last

Element	Retn.	Lastintensitet	Laster	L1 (m)	L2 (m)
8	H / q1 (kN/m)	91.7	88.5	0	0
9	H / q1 (kN/m)	88.5	87.4	0	0
10	H / q1 (kN/m)	-87.4	-88.5	0	0
11	H / q1 (kN/m)	-88.5	-91.7	0	0
12	H / q1 (kN/m)	-91.7	-97.0	0	0
13	H / q1 (kN/m)	-97.0	-104.1	0	0
14	H / q1 (kN/m)	-112.9	-104.1	0	0
15	H / q1 (kN/m)	-123.1	-112.9	0	0
16	H / q1 (kN/m)	-133.9	-123.1	0	0
18	H / q1 (kN/m)	-152.8	-143.4	0	0
17	H / q1 (kN/m)	-143.4	-133.9	0	0

Lasttilfelle

Navn	Bet.	Navn	Bet.	Navn	Bet.
jordvekt	B1	egenvekt	B2	jordtrykk max	B3

Kombinasjon

ID	Navn	Kombinasjon	ID	Navn	Kombinasjon
1	ULC1	1.35*B2+1.35*B1+B3	3	ULC3	B2+B1+B3
2	ULC2	1.35*B2+1.35*B1+0.5*B3			

Resultat

Resultat

Max pos. moment - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	1822.685	-793.378	-1729.312	ULC2
2	914.609	-687.793	-1772.009	ULC2
3	121.174	-442.867	-1857.409	ULC2
4	-232.595	2.035	-1351.944	ULC3
5	-253.324	-2.032	-1216.311	ULC3
6	-85.513	30.133	-1092.249	ULC3
7	197.945	137.123	-1147.839	ULC2
8	447.897	39.919	-1014.659	ULC2
9	554.709	4.276	-966.470	ULC2
10	554.725	-4.233	-966.466	ULC2
11	447.950	-39.878	-1014.647	ULC2
12	198.050	-137.086	-1147.818	ULC2
13	-85.405	-30.110	-1092.229	ULC3
14	664.846	-223.025	-1726.800	ULC2
15	664.846	205.502	-1728.973	ULC2
16	486.901	531.941	-1791.166	ULC2
17	-63.352	390.000	-1305.969	ULC3
18	-408.479	376.071	-1294.783	ULC3

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Dato: 2017-12-01

Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

Utført av: (Eko)

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1_450.fra

Firmanavn: **Norconsult AS**

Max neg. moment - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	408.295	-376.084	-1294.866	ULC3
2	63.162	-390.004	-1306.052	ULC3
3	-486.122	-531.106	-1791.254	ULC2
4	-665.069	-206.263	-1728.921	ULC2
5	-665.069	223.050	-1726.835	ULC2
6	-506.036	408.750	-1502.287	ULC2
7	-155.339	432.354	-1277.417	ULC2
8	86.307	219.338	-973.086	ULC3
9	205.705	159.541	-918.347	ULC3
10	205.742	-159.511	-918.344	ULC3
11	86.382	-219.309	-973.077	ULC3
12	-155.187	-432.317	-1277.396	ULC2
13	-505.844	-408.718	-1502.259	ULC2
14	253.183	2.050	-1216.286	ULC3
15	233.138	-2.685	-1352.053	ULC3
16	-121.440	443.769	-1857.083	ULC2
17	-914.868	687.787	-1771.893	ULC2
18	-1822.927	793.368	-1729.197	ULC2

Likevektskontroll - 1. orden

Kombinasjon	X-retn. kN	Y-retn. kN	X-retn. kN	Y-retn. kN
ULC1	0.016	-3664.247	-0.016	3664.247
ULC2	0.008	-3664.247	-0.008	3664.247
ULC3	0.016	-2714.257	-0.016	2714.257

Max pos. skjærkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	735.489	-221.242	-1339.046	ULC3
2	408.295	-239.483	-1326.938	ULC3
3	63.162	-154.349	-1354.272	ULC3
4	-233.003	11.098	-1355.606	ULC3
5	-665.069	223.050	-1726.835	ULC2
6	-506.036	408.750	-1502.287	ULC2
7	-155.339	432.354	-1277.417	ULC2
8	197.945	363.143	-1097.481	ULC2
9	447.897	240.917	-986.451	ULC2
10	418.267	112.161	-1112.432	ULC1
11	205.742	26.316	-931.723	ULC3
12	86.382	-20.969	-997.264	ULC3
13	-85.405	-30.110	-1092.229	ULC3
14	258.436	40.033	-1199.569	ULC3
15	535.080	213.814	-1732.195	ULC1
16	486.901	531.941	-1791.166	ULC2
17	-121.440	762.467	-1750.524	ULC2
18	-914.868	868.200	-1690.824	ULC2

Min neg. skjærkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	914.609	-868.218	-1690.938	ULC2
2	121.174	-762.473	-1750.639	ULC2
3	-486.122	-531.106	-1791.254	ULC2

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner Dato: 2017-12-01
 Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling Utført av: (Eko)
 Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portalvertsnitt T10-5\Ram1_450.fra Firmanavn: **Norconsult AS**

Min neg. skjærkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
4	-535.298	-214.577	-1732.138	ULC1
5	-258.573	-40.016	-1199.594	ULC3
6	-85.513	30.133	-1092.249	ULC3
7	86.307	20.996	-997.279	ULC3
8	205.705	-26.287	-931.732	ULC3
9	418.267	-112.120	-1112.436	ULC1
10	447.950	-240.875	-986.447	ULC2
11	198.050	-363.102	-1097.468	ULC2
12	-155.187	-432.317	-1277.396	ULC2
13	-505.844	-408.718	-1502.259	ULC2
14	664.846	-223.025	-1726.800	ULC2
15	233.587	-11.753	-1355.719	ULC3
16	-63.352	155.007	-1354.115	ULC3
17	-408.479	239.479	-1326.854	ULC3
18	-735.665	221.245	-1338.960	ULC3

Max pos. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	408.295	-376.084	-1294.866	ULC3
2	63.162	-390.004	-1306.052	ULC3
3	-233.003	-318.941	-1317.599	ULC3
4	-329.229	-163.257	-1284.734	ULC3
5	-258.573	-40.016	-1199.594	ULC3
6	-85.513	30.133	-1092.249	ULC3
7	86.307	20.996	-997.279	ULC3
8	205.705	-26.287	-931.732	ULC3
9	248.030	-91.127	-904.127	ULC3
10	248.030	91.157	-904.124	ULC3
11	205.742	26.316	-931.723	ULC3
12	86.382	-20.969	-997.264	ULC3
13	-85.405	-30.110	-1092.229	ULC3
14	258.436	40.033	-1199.569	ULC3
15	329.070	162.691	-1284.778	ULC3
16	233.587	319.556	-1317.572	ULC3
17	-63.352	390.000	-1305.969	ULC3
18	-408.479	376.071	-1294.783	ULC3

Min neg. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	1334.582	-502.377	-1775.430	ULC1
2	700.838	-473.387	-1783.396	ULC1
3	121.174	-442.867	-1857.409	ULC2
4	-486.122	-79.494	-1866.640	ULC2
5	-535.298	215.776	-1731.989	ULC1
6	-413.705	366.964	-1550.806	ULC1
7	-131.870	381.945	-1369.398	ULC1
8	150.045	323.710	-1224.648	ULC1
9	347.782	225.896	-1135.462	ULC1
10	347.834	-225.854	-1135.457	ULC1
11	150.147	-323.670	-1224.636	ULC1
12	-131.722	-381.909	-1369.378	ULC1
13	-413.517	-366.932	-1550.779	ULC1

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Dato: 2017-12-01

Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

Utført av: (Eko)

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1_450.fra

Firmanavn: **Norconsult AS**

Min neg. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
14	535.080	-215.752	-1731.955	ULC1
15	486.901	78.594	-1866.832	ULC2
16	-121.440	443.769	-1857.083	ULC2
17	-701.091	473.381	-1783.282	ULC1
18	-1334.822	502.375	-1775.314	ULC1

Max abs. moment - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	1822.685	-793.378	-1729.312	ULC2
2	914.609	-687.793	-1772.009	ULC2
3	-486.122	-531.106	-1791.254	ULC2
4	-665.069	-206.263	-1728.921	ULC2
5	-665.069	223.050	-1726.835	ULC2
6	-506.036	408.750	-1502.287	ULC2
7	197.945	137.123	-1147.839	ULC2
8	447.897	39.919	-1014.659	ULC2
9	554.709	4.276	-966.470	ULC2
10	554.725	-4.233	-966.466	ULC2
11	447.950	-39.878	-1014.647	ULC2
12	198.050	-137.086	-1147.818	ULC2
13	-505.844	-408.718	-1502.259	ULC2
14	664.846	-223.025	-1726.800	ULC2
15	664.846	205.502	-1728.973	ULC2
16	486.901	531.941	-1791.166	ULC2
17	-914.868	687.787	-1771.893	ULC2
18	-1822.927	793.368	-1729.197	ULC2

Max abs. skjærkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	914.609	-868.218	-1690.938	ULC2
2	121.174	-762.473	-1750.639	ULC2
3	-486.122	-531.106	-1791.254	ULC2
4	-535.298	-214.577	-1732.138	ULC1
5	-665.069	223.050	-1726.835	ULC2
6	-506.036	408.750	-1502.287	ULC2
7	-155.339	432.354	-1277.417	ULC2
8	197.945	363.143	-1097.481	ULC2
9	447.897	240.917	-986.451	ULC2
10	447.950	-240.875	-986.447	ULC2
11	198.050	-363.102	-1097.468	ULC2
12	-155.187	-432.317	-1277.396	ULC2
13	-505.844	-408.718	-1502.259	ULC2
14	664.846	-223.025	-1726.800	ULC2
15	535.080	213.814	-1732.195	ULC1
16	486.901	531.941	-1791.166	ULC2
17	-121.440	762.467	-1750.524	ULC2
18	-914.868	868.200	-1690.824	ULC2

Max abs. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	1334.582	-502.377	-1775.430	ULC1
2	700.838	-473.387	-1783.396	ULC1

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1_450.fra

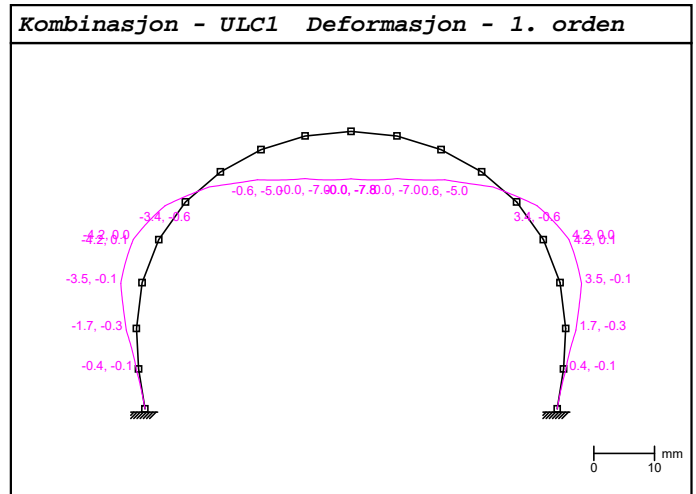
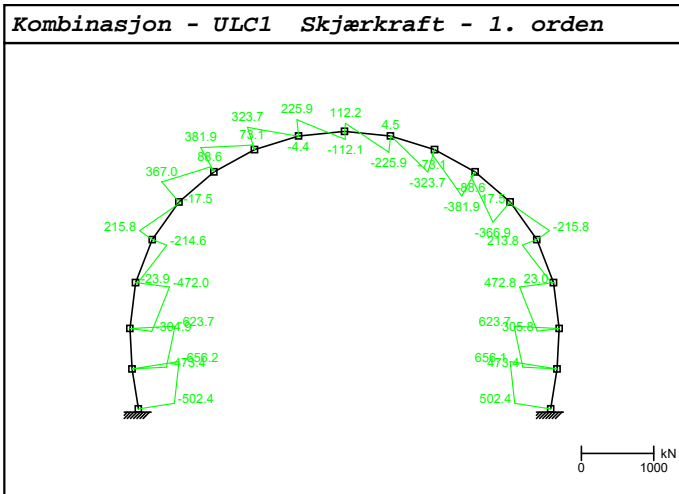
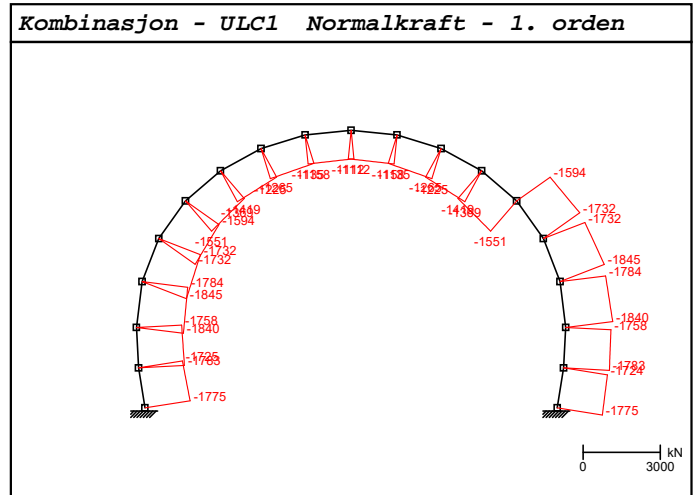
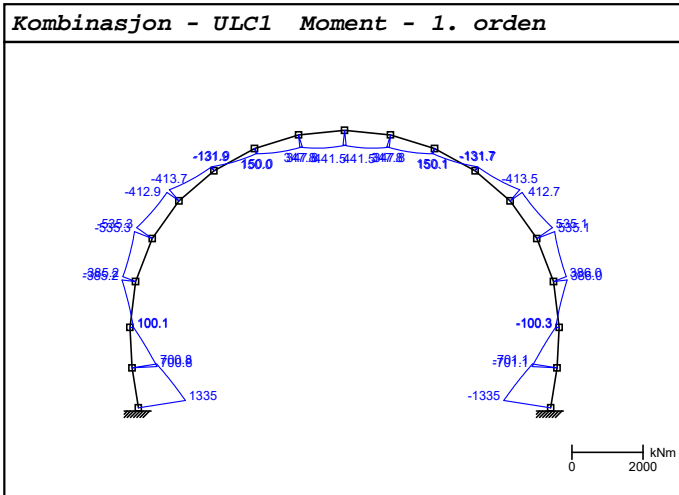
Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**

Max abs. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
3	121.174	-442.867	-1857.409	ULC2
4	-486.122	-79.494	-1866.640	ULC2
5	-535.298	215.776	-1731.989	ULC1
6	-413.705	366.964	-1550.806	ULC1
7	-131.870	381.945	-1369.398	ULC1
8	150.045	323.710	-1224.648	ULC1
9	347.782	225.896	-1135.462	ULC1
10	347.834	-225.854	-1135.457	ULC1
11	150.147	-323.670	-1224.636	ULC1
12	-131.722	-381.909	-1369.378	ULC1
13	-413.517	-366.932	-1550.779	ULC1
14	535.080	-215.752	-1731.955	ULC1
15	486.901	78.594	-1866.832	ULC2
16	-121.440	443.769	-1857.083	ULC2
17	-701.091	473.381	-1783.282	ULC1
18	-1334.822	502.375	-1775.314	ULC1



Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1_450.fra

Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

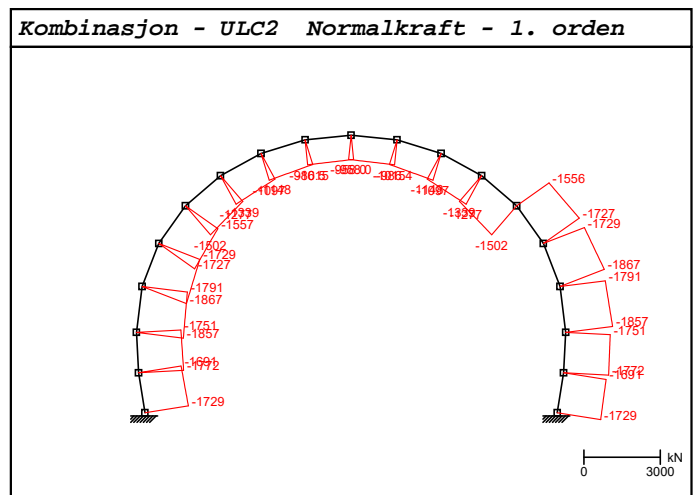
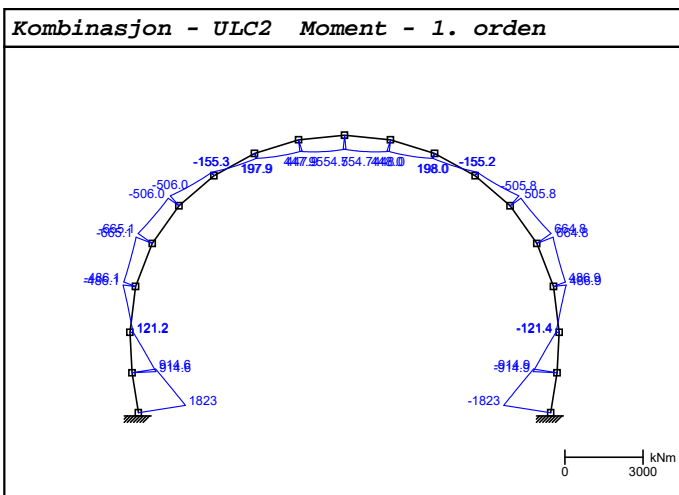
Firmanavn: **Norconsult AS**

Kombinasjon - ULC1 Nodesnittkrefter - 1. orden

Element	Node	M kNm	V kN	N kN	Element	Node	M kNm	V kN	N kN
1	1	1334.582	-502.377	-1775.430	10	10	418.267	112.161	-1112.432
	2	700.838	-656.156	-1724.545		11	347.834	-225.854	-1135.457
2	2	700.838	-473.387	-1783.396	11	11	347.834	4.478	-1157.693
	3	100.053	-623.669	-1758.011		12	150.147	-323.670	-1224.636
3	3	100.053	-304.928	-1840.267	12	12	150.147	-73.099	-1264.576
	4	-385.200	-471.968	-1783.904		13	-131.722	-381.909	-1369.378
4	4	-385.200	-23.919	-1845.127	13	13	-131.722	-88.562	-1418.875
	5	-535.298	-214.577	-1732.138		14	-413.517	-366.932	-1550.779
5	5	-535.298	215.776	-1731.989	14	15	535.080	-215.752	-1731.955
	6	-413.705	-17.450	-1593.536		14	413.517	17.474	-1593.502
6	6	-413.705	366.964	-1550.806	15	16	385.984	23.029	-1845.296
	7	-131.870	88.593	-1418.902		15	535.080	213.814	-1732.195
7	7	-131.870	381.945	-1369.398	16	17	-100.313	305.822	-1840.008
	8	150.045	73.136	-1264.596		16	385.984	472.800	-1783.846
8	8	150.045	323.710	-1224.648	17	18	-701.091	473.381	-1783.282
	9	347.782	-4.438	-1157.706		17	-100.313	623.663	-1757.896
9	9	347.782	225.896	-1135.462	18	19	-1334.822	502.375	-1775.314
	10	418.267	-112.120	-1112.436		18	-701.091	656.138	-1724.432

Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC1

Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm	Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm
1	218.283	1832.181	-1334.582	19	-218.299	1832.066	1334.822



Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

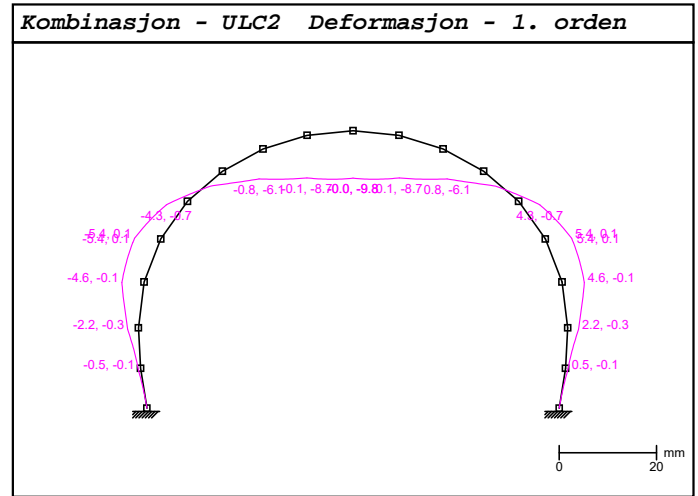
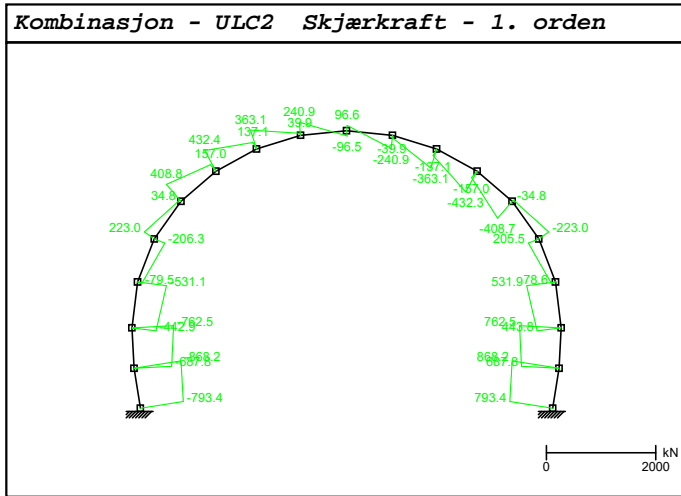
Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1_450.fra

Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**



Kombinasjon - ULC2 Nodesnittkrefter - 1. orden

Element	Node	M kNm	V kN	N kN	Element	Node	M kNm	V kN	N kN
1	1	1822.685	-793.378	-1729.312	10	10	537.448	96.589	-957.953
	2	914.609	-868.218	-1690.938		11	447.950	-240.875	-986.447
2	2	914.609	-687.793	-1772.009	11	11	447.950	-39.878	-1014.647
	3	121.174	-762.473	-1750.639		12	198.050	-363.102	-1097.468
3	3	121.174	-442.867	-1857.409	12	12	198.050	-137.086	-1147.818
	4	-486.122	-531.106	-1791.254		13	-155.187	-432.317	-1277.396
4	4	-486.122	-79.494	-1866.640	13	13	-155.187	-157.008	-1339.398
	5	-665.069	-206.263	-1728.921		14	-505.844	-408.718	-1502.259
5	5	-665.069	223.050	-1726.835	14	15	664.846	-223.025	-1726.800
	6	-506.036	34.794	-1556.513		14	505.844	-34.770	-1556.478
6	6	-506.036	408.750	-1502.287	15	16	486.901	78.594	-1866.832
	7	-155.339	157.041	-1339.427		15	664.846	205.502	-1728.973
7	7	-155.339	432.354	-1277.417	16	17	-121.440	443.769	-1857.083
	8	197.945	137.123	-1147.839		16	486.901	531.941	-1791.166
8	8	197.945	363.143	-1097.481	17	18	-914.868	687.787	-1771.893
	9	447.897	39.919	-1014.659		17	-121.440	762.467	-1750.524
9	9	447.897	240.917	-986.451	18	19	-1822.927	793.368	-1729.197
	10	537.448	-96.547	-957.957		18	-914.868	868.200	-1690.824

Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC2

Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm	Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm
1	512.915	1832.181	-1822.685	19	-512.923	1832.066	1822.927

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling

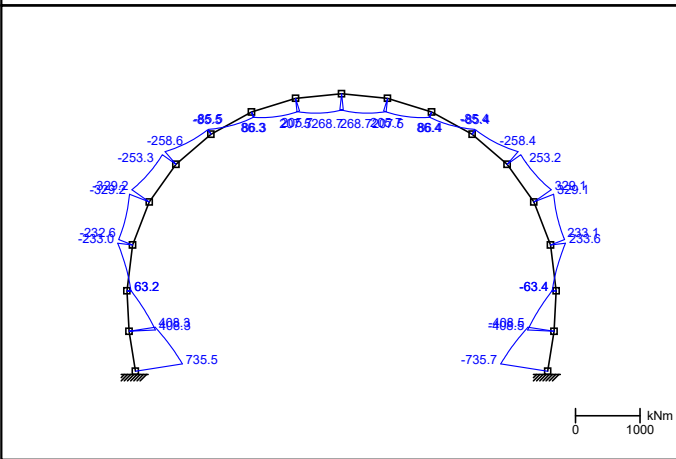
Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1_450.fra

Dato: 2017-12-01

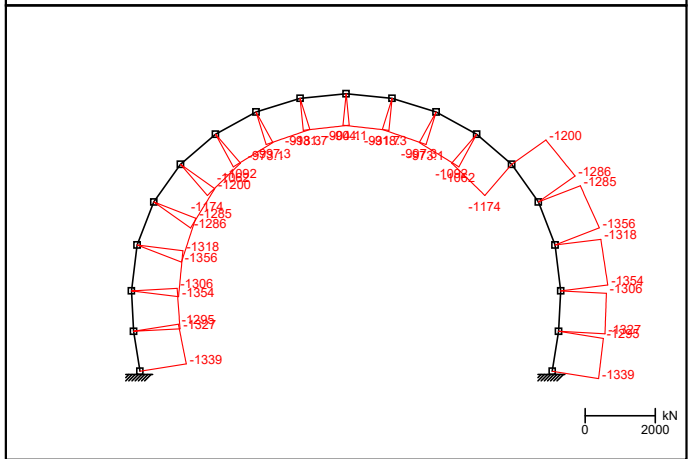
Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**

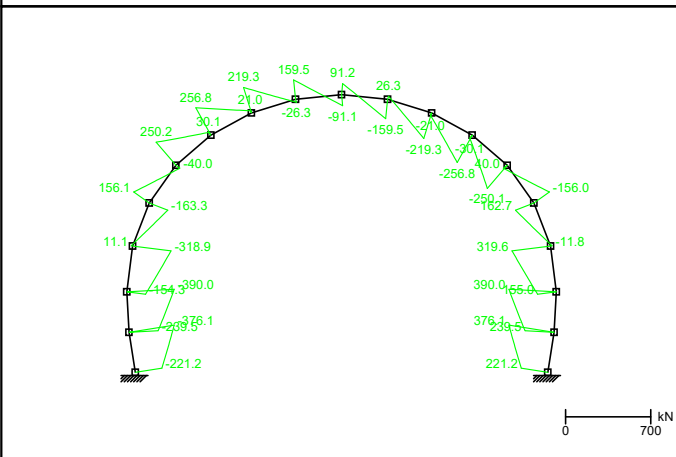
Kombinasjon - ULC3 Moment - 1. orden



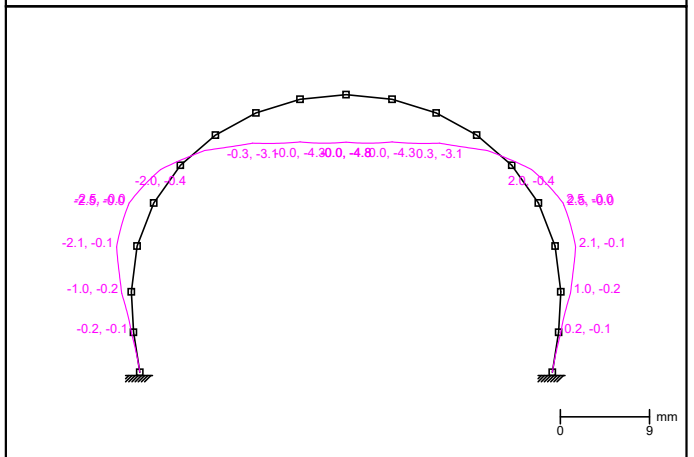
Kombinasjon - ULC3 Normalkraft - 1. orden



Kombinasjon - ULC3 Skjærkraft - 1. orden



Kombinasjon - ULC3 Deformasjon - 1. orden



Kombinasjon - ULC3 Nodesnittkrefter - 1. orden

Element	Node	M kNm	V kN	N kN	Element	Node	M kNm	V kN	N kN
1	1	735.489	-221.242	-1339.046	10	10	248.030	91.157	-904.124
	2	408.295	-376.084	-1294.866		11	205.742	-159.511	-918.344
2	2	408.295	-239.483	-1326.938	11	11	205.742	26.316	-931.723
	3	63.162	-390.004	-1306.052		12	86.382	-219.309	-973.077
3	3	63.162	-154.349	-1354.272	12	12	86.382	-20.969	-997.264
	4	-233.003	-318.941	-1317.599		13	-85.405	-256.758	-1062.048
4	4	-233.003	11.098	-1355.606	13	13	-85.405	-30.110	-1092.229
	5	-329.229	-163.257	-1284.734		14	-258.436	-250.135	-1173.883
5	5	-329.229	156.063	-1285.627	14	15	329.070	-156.045	-1285.602
	6	-258.573	-40.016	-1199.594		14	258.436	40.033	-1199.569
6	6	-258.573	250.158	-1173.903	15	16	233.587	-11.753	-1355.719
	7	-85.513	30.133	-1092.249		15	329.070	162.691	-1284.778
7	7	-85.513	256.785	-1062.062	16	17	-63.352	155.007	-1354.115
	8	86.307	20.996	-997.279		16	233.587	319.556	-1317.572
8	8	86.307	219.338	-973.086	17	18	-408.479	239.479	-1326.854
	9	205.705	-26.287	-931.732		17	-63.352	390.000	-1305.969
9	9	205.705	159.541	-918.347	18	19	-735.665	221.245	-1338.960
	10	248.030	-91.127	-904.127		18	-408.479	376.071	-1294.783

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner Dato: 2017-12-01
 Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling Utført av: (Eko)
 Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portaltversnitt T10-5\Ram1_450.fra Firmanavn: **Norconsult AS**

Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC3

Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm	Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm
1	8.919	1357.171	-735.489	19	-8.935	1357.086	735.665

Prosjekt:	5176077 Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner	Dato:	2017-12-01
Beskrivelse:	Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling	Utført av:	(Eko)
Prosjektfil:	N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1_450.fra	Firmanavn:	Norconsult AS

Innholdsfortegnelse

SAMMENDRAG	1
Noder	1
Element	1
Figur: Noder	1
Figur: Element	1
Figur: Element	2
Tverrsnittsdata	2
Tverrsnitt/element	2
Tverrsnittsspesifikasjon	2
Tverrsnittsspesifikasjon	3
Lasttilfelle: jordvekt	3
Figur: Lasttilfelle - jordvekt	3
Variabelt fordelt last	3
Lasttilfelle: egenvekt	4
Figur: Lasttilfelle - egenvekt	4
Egentyngde	4
Lasttilfelle: jordtrykk max	4
Figur: Lasttilfelle - jordtrykk max	4
Variabelt fordelt last	4
Variabelt fordelt last	5
Lasttilfelle	5
Kombinasjon	5
Resultat	5
Resultat	5
Max pos. moment - 1. orden	5
Max neg. moment - 1. orden	6
Likevektskontroll - 1. orden	6
Max pos. skjærkraft - 1. orden	6
Min neg. skjærkraft - 1. orden	6
Min neg. skjærkraft - 1. orden	7
Max pos. normalkraft - 1. orden	7
Min neg. normalkraft - 1. orden	7
Min neg. normalkraft - 1. orden	8
Max abs. moment - 1. orden	8
Max abs. skjærkraft - 1. orden	8
Max abs. normalkraft - 1. orden	8
Max abs. normalkraft - 1. orden	9
Figur: Kombinasjon - ULC1 Moment - 1. orden	9
Figur: Kombinasjon - ULC1 Normalkraft - 1. orden	9
Figur: Kombinasjon - ULC1 Skjærkraft - 1. orden	9
Figur: Kombinasjon - ULC1 Deformasjon - 1. orden	9
Kombinasjon - ULC1 Nodesnittkrefter - 1. orden	10
Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC1	10
Figur: Kombinasjon - ULC2 Moment - 1. orden	10
Figur: Kombinasjon - ULC2 Normalkraft - 1. orden	10
Figur: Kombinasjon - ULC2 Skjærkraft - 1. orden	11
Figur: Kombinasjon - ULC2 Deformasjon - 1. orden	11
Kombinasjon - ULC2 Nodesnittkrefter - 1. orden	11
Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC2	11
Figur: Kombinasjon - ULC3 Moment - 1. orden	12
Figur: Kombinasjon - ULC3 Normalkraft - 1. orden	12
Figur: Kombinasjon - ULC3 Skjærkraft - 1. orden	12
Figur: Kombinasjon - ULC3 Deformasjon - 1. orden	12

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i Dato: 2017-12-01
betongkonstruksjoner
Beskrivelse: Tunnelportal 450, 10 meter oppfylling Utført av: (Eko)
Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Firmanavn: **Norconsult AS**
Bruer\Portaltversnitt T10-5\Ram1_450.fra

Innholdsfortegnelse

Kombinasjon - ULC3 Nodesnittkrefter - 1. orden	12
Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC3	13

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**

SAMMENDRAG

- 19 noder
- 2 opplegg
- 0 fjær
- 0 ledd
- 18 element
- 6 tverrsnitt
- 50 laster
- 3 lasttilfeller
- 3 kombinasjoner

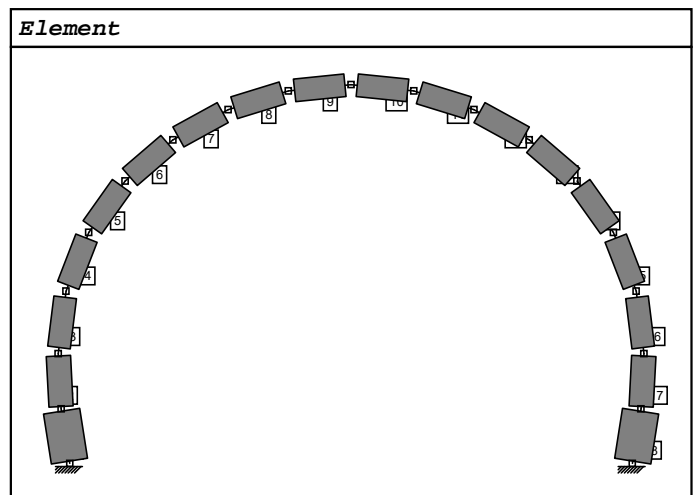
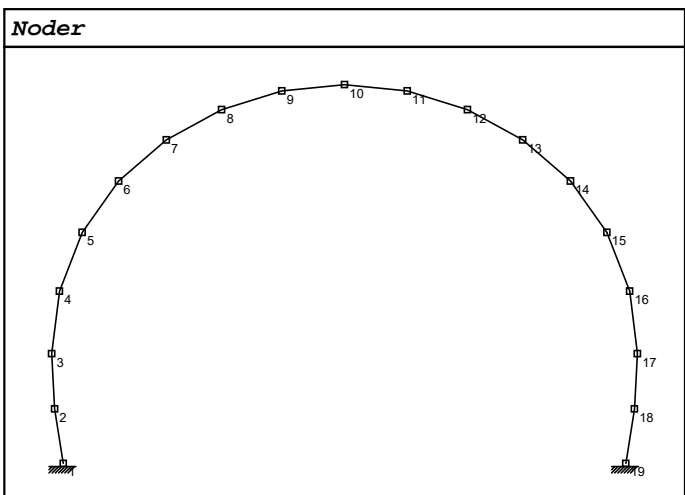
N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Noder

	X (m)	Y (m)	X	Y	M		X (m)	Y (m)	X	Y	M		X (m)	Y (m)	X	Y	M
1	4.439	0.399	F	F	F	8	7.570	7.395				15	15.187	4.967			
2	4.268	1.478				9	8.760	7.764				16	15.637	3.806			
3	4.210	2.570				10	10.000	7.889				17	15.790	2.570			
5	4.813	4.967				11	11.240	7.764				18	15.732	1.478			
4	4.364	3.806				12	12.430	7.395				19	15.561	0.399	F	F	F
6	5.533	5.983				13	13.523	6.796									
7	6.477	6.796				14	14.467	5.983									

Element

Navn	Node 1	Node 2	Init-	Navn	Node 1	Node 2	Init-	Navn	Node 1	Node 2	Init-
	(L=Ledd)	(L=Ledd)	krum.		(L=Ledd)	(L=Ledd)	krum.		(L=Ledd)	(L=Ledd)	krum.
1	1	2	Nei	7	7	8	Nei	13	13	14	Nei
2	2	3	Nei	8	8	9	Nei	14	15	14	Nei
3	3	4	Nei	9	9	10	Nei	15	16	15	Nei
4	4	5	Nei	10	10	11	Nei	16	17	16	Nei
5	5	6	Nei	11	11	12	Nei	17	18	17	Nei
6	6	7	Nei	12	12	13	Nei	18	19	18	Nei



Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

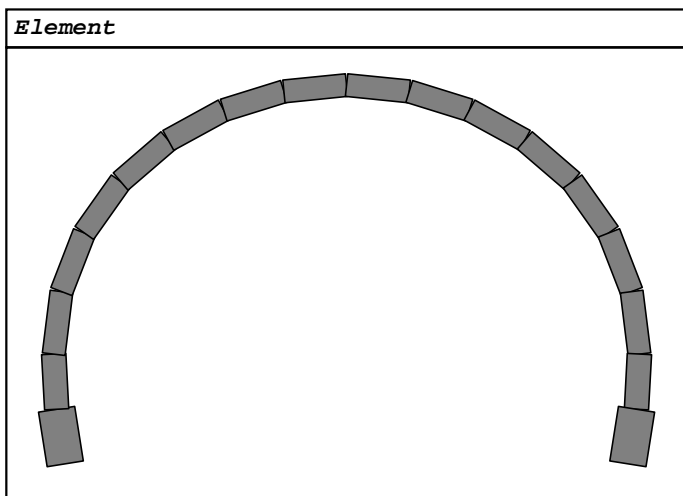
Dato: 2017-12-01

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

Utført av: (Eko)

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Firmanavn: **Norconsult AS**



Tverrsnittsdata

Navn	Retn.	Areal (m ²)	I (m ⁴)	h (m)	z (m)	E-modul (kN/m ²)
724x100 / C45/55	y-y	7.240e-1	3.16e-2	0.724	0.362	5.50e7
480x1000 / C45/55	y-y	4.800e-1	9.22e-3	0.480	0.240	5.50e7
450x1000 / C45/55	y-y	4.500e-1	7.59e-3	0.450	0.225	5.50e7

Tverrsnitt/element

Element	Tverrsnitt	Retn.	Lengde (m)	Vekt (kg)
1	724x100 / C45/55	y-y	1.092	1977.363
2	480x1000 / C45/55	y-y	1.094	1312.247
3	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.196
4	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1400.560
5	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1400.910
6	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.564
7	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1402.172
8	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.635
9	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1402.070
10	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1402.070
11	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.635
12	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1402.172
13	450x1000 / C45/55	y-y	1.246	1401.564
14	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1400.910
15	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1400.804
16	450x1000 / C45/55	y-y	1.245	1401.113
17	480x1000 / C45/55	y-y	1.094	1312.247
18	724x100 / C45/55	y-y	1.092	1977.363
Sum			21.812	26200

Tverrsnittsspesifikasjon

Tverrsnitt	Lengde (m)	Antall	Vekt (kg)	Tverrsnitt	Lengde (m)	Antall	Vekt (kg)
724x100 / C45/55	1.092	1	1977.363	450x1000 / C45/55	1.246	1	1401.564
480x1000 / C45/55	1.094	2	2624.494	450x1000 / C45/55	1.246	2	2804.343
450x1000 / C45/55	1.246	1	1401.196	450x1000 / C45/55	1.246	2	2803.270
450x1000 / C45/55	1.245	1	1400.560	450x1000 / C45/55	1.246	2	2804.140
450x1000 / C45/55	1.245	1	1400.910	450x1000 / C45/55	1.246	1	1401.564

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Dato: 2017-12-01

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

Utført av: (Eko)

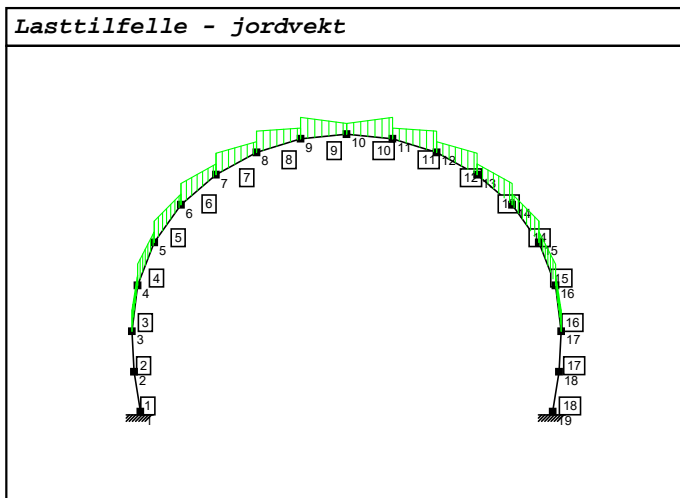
Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Firmanavn: **Norconsult AS**

Tverrsnittsspesifikasjon

Tverrsnitt	Lengde (m)	Antall	Vekt (kg)	Tverrsnitt	Lengde (m)	Antall	Vekt (kg)
450x1000 / C45/55	1.245	1	1400.910	724x100 / C45/55	1.092	1	1977.363
450x1000 / C45/55	1.245	1	1400.804				
450x1000 / C45/55	1.245	1	1401.113	Sum	21.812	18	26200

Lasttilfelle: jordvekt



Variabelt fordelt last

Element	Retn.	Lastintensitet	Laster	L1 (m)	L2 (m)
3	V / q_1 (kN/m)	196.1	172.6	0	0
4	V / q_1 (kN/m)	172.6	150.5	0	0
5	V / q_1 (kN/m)	150.5	131.2	0	0
6	V / q_1 (kN/m)	131.2	115.8	0	0
7	V / q_1 (kN/m)	115.8	104.4	0	0
8	V / q_1 (kN/m)	104.4	97.4	0	0
9	V / q_1 (kN/m)	97.4	95.0	0	0
10	V / q_1 (kN/m)	95.0	97.4	0	0
11	V / q_1 (kN/m)	97.4	104.4	0	0
12	V / q_1 (kN/m)	104.4	115.8	0	0
13	V / q_1 (kN/m)	115.8	131.2	0	0
14	V / q_1 (kN/m)	150.5	131.2	0	0
15	V / q_1 (kN/m)	172.6	150.5	0	0
16	V / q_1 (kN/m)	196.1	172.6	0	0

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

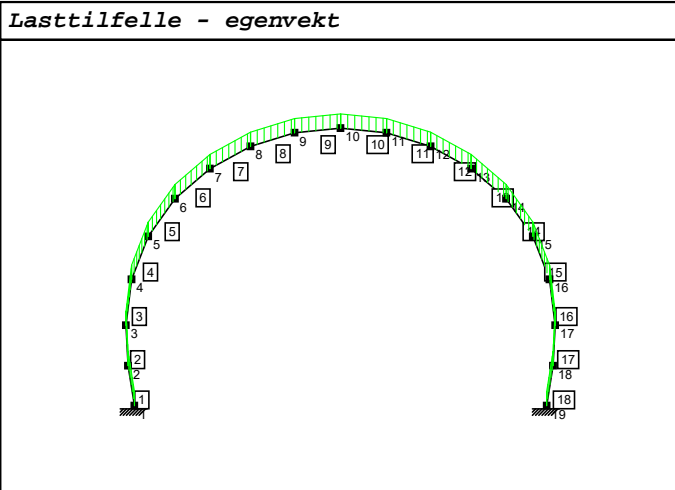
Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**

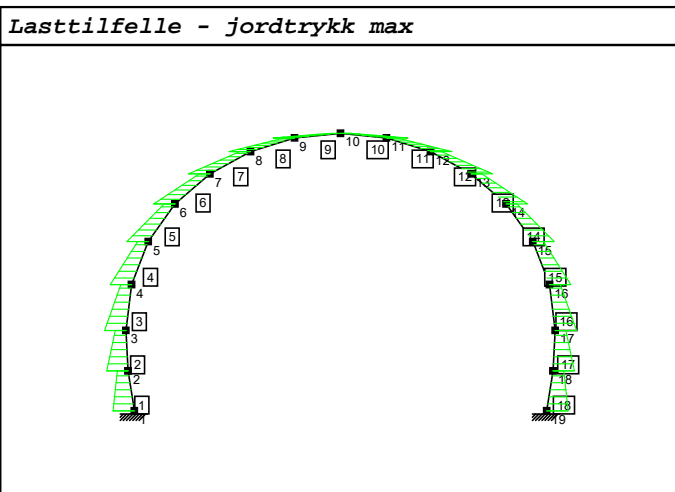
Lasttilfelle: egenvekt



Egentyngde

Element	q (kN/m)	Element	q (kN/m)	Element	q (kN/m)	Element	q (kN/m)	Element	q (kN/m)
1	17.8	5	11.0	9	11.0	13	11.0	18	17.8
2	11.8	6	11.0	10	11.0	14	11.0	15	11.0
3	11.0	7	11.0	11	11.0	16	11.0		
4	11.0	8	11.0	12	11.0	17	11.8		

Lasttilfelle: jordtrykk max



Variabelt fordelt last

Element	Retn.	Lastintensitet	Laster	L1 (m)	L2 (m)
1	H / q1 (kN/m)	109.2	99.7	0	0
2	H / q1 (kN/m)	99.7	90.2	0	0
3	H / q1 (kN/m)	90.2	79.4	0	0
4	H / q1 (kN/m)	79.4	69.2	0	0
5	H / q1 (kN/m)	69.2	60.4	0	0
6	H / q1 (kN/m)	60.4	53.3	0	0
7	H / q1 (kN/m)	53.3	48.0	0	0

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner Dato: 2017-12-01
 Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling Utført av: (Eko)
 Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra Firmanavn: **Norconsult AS**

Variabelt fordelt last

Element	Retn.	Lastintensitet	Laster	L1(m)	L2(m)
8	H / q1 (kN/m)	48.0	44.8	0	0
9	H / q1 (kN/m)	44.8	43.7	0	0
10	H / q1 (kN/m)	-43.7	-44.8	0	0
11	H / q1 (kN/m)	-44.8	-48.0	0	0
12	H / q1 (kN/m)	-48.0	-53.3	0	0
13	H / q1 (kN/m)	-53.3	-60.4	0	0
14	H / q1 (kN/m)	-69.2	-60.4	0	0
15	H / q1 (kN/m)	-79.4	-69.2	0	0
16	H / q1 (kN/m)	-90.2	-79.4	0	0
18	H / q1 (kN/m)	-109.2	-99.7	0	0
17	H / q1 (kN/m)	-99.7	-90.2	0	0

Lasttilfelle

Navn	Bet.	Navn	Bet.	Navn	Bet.
jordvekt	B1	egenvekt	B2	jordtrykk max	B3

Kombinasjon

ID	Navn	Kombinasjon	ID	Navn	Kombinasjon
1	ULC1	1.35*B2+1.35*B1+B3	3	ULC3	B2+B1+B3
2	ULC2	1.35*B2+1.35*B1+0.5*B3			

Resultat

Resultat

Max pos. moment - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	971.267	-419.473	-1036.668	ULC2
2	484.390	-364.349	-1045.508	ULC2
3	57.680	-228.488	-1082.423	ULC2
4	-112.126	-2.384	-767.278	ULC3
5	-118.213	-1.266	-685.697	ULC3
6	-39.286	4.058	-609.646	ULC3
7	105.299	62.660	-635.230	ULC2
8	229.345	12.942	-564.676	ULC2
9	283.416	-0.704	-540.105	ULC2
10	283.425	0.728	-540.102	ULC2
11	229.375	-12.919	-564.669	ULC2
12	105.358	-62.638	-635.219	ULC2
13	-39.225	-4.045	-609.635	ULC3
14	351.094	-132.682	-975.496	ULC2
15	351.094	109.602	-978.358	ULC2
16	264.848	287.971	-1032.513	ULC2
17	-29.132	197.070	-765.397	ULC3
18	-189.338	175.140	-769.719	ULC3

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Dato: 2017-12-01

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

Utført av: (Eko)

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Firmanavn: **Norconsult AS**

Max neg. moment - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	189.230	-175.145	-769.748	ULC3
2	29.022	-197.071	-765.426	ULC3
3	-264.398	-287.491	-1032.541	ULC2
4	-351.220	-110.033	-978.331	ULC2
5	-351.220	132.696	-975.516	ULC2
6	-260.181	224.512	-838.301	ULC2
7	-74.648	228.673	-708.918	ULC2
8	40.151	109.856	-546.690	ULC3
9	93.385	81.542	-517.538	ULC3
10	93.406	-81.525	-517.536	ULC3
11	40.193	-109.840	-546.685	ULC3
12	-74.563	-228.652	-708.906	ULC2
13	-260.072	-224.494	-838.285	ULC2
14	118.134	1.276	-685.683	ULC3
15	112.371	2.017	-767.337	ULC3
16	-57.834	229.011	-1082.273	ULC2
17	-484.541	364.347	-1045.468	ULC2
18	-971.412	419.466	-1036.628	ULC2

Likevektskontroll - 1. orden

Kombinasjon	X-retn. kN	Y-retn. kN	X-retn. kN	Y-retn. kN
ULC1	0	-2179.056	0	2179.056
ULC2	0	-2179.056	0	2179.056
ULC3	0	-1614.116	0	1614.116

Max pos. skjærkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	322.344	-66.874	-806.547	ULC3
2	189.230	-94.204	-783.781	ULC3
3	29.022	-59.453	-788.150	ULC3
4	-114.445	21.108	-777.552	ULC3
5	-351.220	132.696	-975.516	ULC2
6	-260.181	224.512	-838.301	ULC2
7	-74.648	228.673	-708.918	ULC2
8	105.299	188.008	-609.997	ULC2
9	229.345	124.986	-550.822	ULC2
10	201.331	63.044	-625.283	ULC1
11	93.406	23.032	-523.411	ULC3
12	40.193	1.321	-557.609	ULC3
13	-39.225	-4.045	-609.635	ULC3
14	123.013	29.909	-672.283	ULC3
15	270.893	116.760	-981.133	ULC1
16	264.848	287.971	-1032.513	ULC2
17	-57.834	415.201	-1025.363	ULC2
18	-484.541	471.021	-1001.943	ULC2

Min neg. skjærkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	484.390	-471.027	-1001.984	ULC2
2	57.680	-415.203	-1025.404	ULC2
3	-264.398	-287.491	-1032.541	ULC2

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Dato: 2017-12-01

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

Utført av: (Eko)

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Firmanavn: **Norconsult AS**

Min neg. skjærkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
4	-271.015	-117.192	-981.102	ULC1
5	-123.089	-29.899	-672.297	ULC3
6	-39.286	4.058	-609.646	ULC3
7	40.151	-1.306	-557.617	ULC3
8	93.385	-23.015	-523.416	ULC3
9	201.331	-63.021	-625.285	ULC1
10	229.375	-124.962	-550.820	ULC2
11	105.358	-187.984	-609.990	ULC2
12	-74.563	-228.652	-708.906	ULC2
13	-260.072	-224.494	-838.285	ULC2
14	351.094	-132.682	-975.496	ULC2
15	114.783	-21.487	-777.619	ULC3
16	-29.132	59.834	-788.092	ULC3
17	-189.338	94.202	-783.752	ULC3
18	-322.447	66.870	-806.518	ULC3

Max pos. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	189.230	-175.145	-769.748	ULC3
2	29.022	-197.071	-765.426	ULC3
3	-114.445	-168.640	-759.338	ULC3
4	-159.164	-90.522	-728.179	ULC3
5	-123.089	-29.899	-672.297	ULC3
6	-39.286	4.058	-609.646	ULC3
7	40.151	-1.306	-557.617	ULC3
8	93.385	-23.015	-523.416	ULC3
9	111.878	-51.372	-509.698	ULC3
10	111.878	51.389	-509.696	ULC3
11	93.406	23.032	-523.411	ULC3
12	40.193	1.321	-557.609	ULC3
13	-39.225	-4.045	-609.635	ULC3
14	123.013	29.909	-672.283	ULC3
15	159.075	90.201	-728.204	ULC3
16	114.783	168.993	-759.339	ULC3
17	-29.132	197.070	-765.397	ULC3
18	-189.338	175.140	-769.719	ULC3

Min neg. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	655.913	-225.830	-1067.356	ULC1
2	349.726	-224.835	-1052.918	ULC1
3	57.680	-228.488	-1082.423	ULC2
4	-264.398	-27.726	-1071.458	ULC2
5	-271.015	126.432	-979.954	ULC1
6	-204.881	198.020	-869.061	ULC1
7	-61.935	198.065	-764.767	ULC1
8	75.243	164.654	-685.312	ULC1
9	168.595	116.218	-637.795	ULC1
10	168.624	-116.195	-637.793	ULC1
11	75.301	-164.631	-685.305	ULC1
12	-61.852	-198.045	-764.756	ULC1
13	-204.775	-198.002	-869.046	ULC1

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Dato: 2017-12-01

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

Utført av: (Eko)

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Firmanavn: **Norconsult AS**

Min neg. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
14	270.893	-126.419	-979.935	ULC1
15	264.848	27.205	-1071.573	ULC2
16	-57.834	229.011	-1082.273	ULC2
17	-349.874	224.833	-1052.878	ULC1
18	-656.054	225.824	-1067.317	ULC1

Max abs. moment - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	971.267	-419.473	-1036.668	ULC2
2	484.390	-364.349	-1045.508	ULC2
3	-264.398	-287.491	-1032.541	ULC2
4	-351.220	-110.033	-978.331	ULC2
5	-351.220	132.696	-975.516	ULC2
6	-260.181	224.512	-838.301	ULC2
7	105.299	62.660	-635.230	ULC2
8	229.345	12.942	-564.676	ULC2
9	283.416	-0.704	-540.105	ULC2
10	283.425	0.728	-540.102	ULC2
11	229.375	-12.919	-564.669	ULC2
12	105.358	-62.638	-635.219	ULC2
13	-260.072	-224.494	-838.285	ULC2
14	351.094	-132.682	-975.496	ULC2
15	351.094	109.602	-978.358	ULC2
16	264.848	287.971	-1032.513	ULC2
17	-484.541	364.347	-1045.468	ULC2
18	-971.412	419.466	-1036.628	ULC2

Max abs. skjærkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	484.390	-471.027	-1001.984	ULC2
2	57.680	-415.203	-1025.404	ULC2
3	-264.398	-287.491	-1032.541	ULC2
4	-271.015	-117.192	-981.102	ULC1
5	-351.220	132.696	-975.516	ULC2
6	-260.181	224.512	-838.301	ULC2
7	-74.648	228.673	-708.918	ULC2
8	105.299	188.008	-609.997	ULC2
9	229.345	124.986	-550.822	ULC2
10	229.375	-124.962	-550.820	ULC2
11	105.358	-187.984	-609.990	ULC2
12	-74.563	-228.652	-708.906	ULC2
13	-260.072	-224.494	-838.285	ULC2
14	351.094	-132.682	-975.496	ULC2
15	270.893	116.760	-981.133	ULC1
16	264.848	287.971	-1032.513	ULC2
17	-57.834	415.201	-1025.363	ULC2
18	-484.541	471.021	-1001.943	ULC2

Max abs. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
1	655.913	-225.830	-1067.356	ULC1
2	349.726	-224.835	-1052.918	ULC1

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

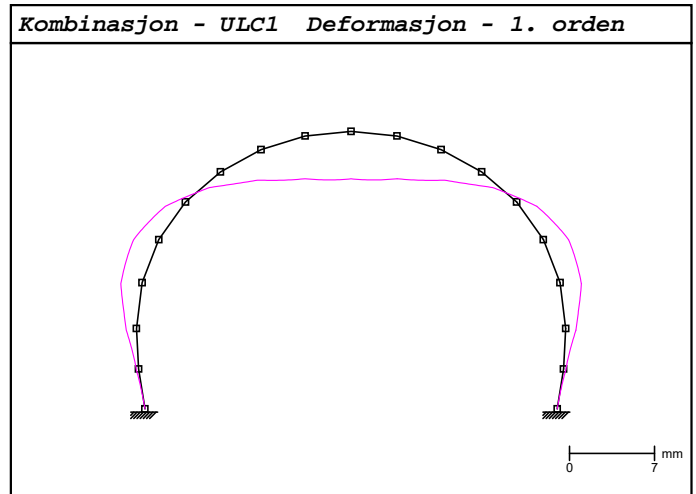
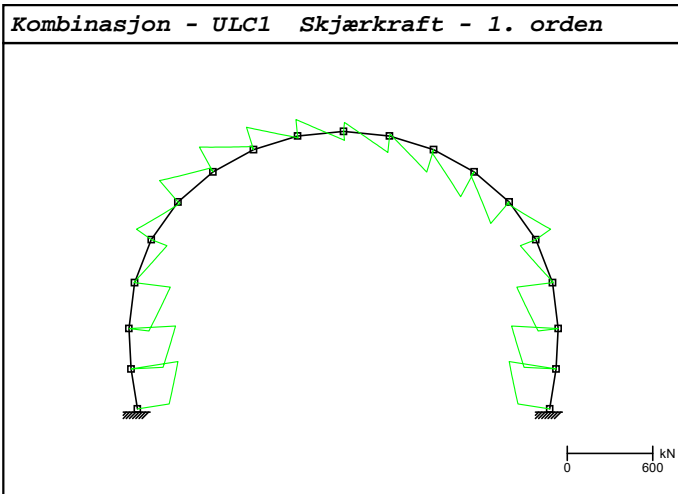
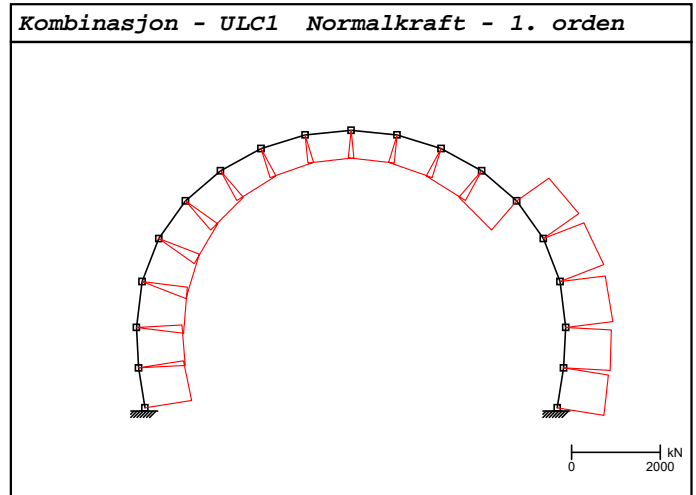
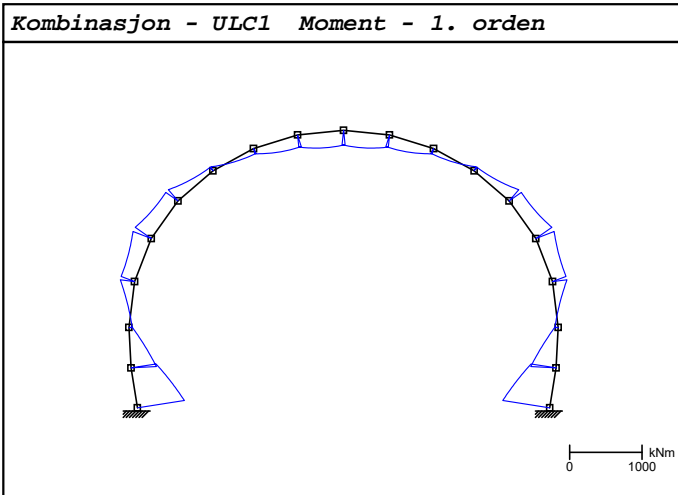
Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**

Max abs. normalkraft - 1. orden

Element	M kNm	V kN	N kN	Kombinasjon
3	57.680	-228.488	-1082.423	ULC2
4	-264.398	-27.726	-1071.458	ULC2
5	-271.015	126.432	-979.954	ULC1
6	-204.881	198.020	-869.061	ULC1
7	-61.935	198.065	-764.767	ULC1
8	75.243	164.654	-685.312	ULC1
9	168.595	116.218	-637.795	ULC1
10	168.624	-116.195	-637.793	ULC1
11	75.301	-164.631	-685.305	ULC1
12	-61.852	-198.045	-764.756	ULC1
13	-204.775	-198.002	-869.046	ULC1
14	270.893	-126.419	-979.935	ULC1
15	264.848	27.205	-1071.573	ULC2
16	-57.834	229.011	-1082.273	ULC2
17	-349.874	224.833	-1052.878	ULC1
18	-656.054	225.824	-1067.317	ULC1



Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Dato: 2017-12-01

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

Utført av: (Eko)

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

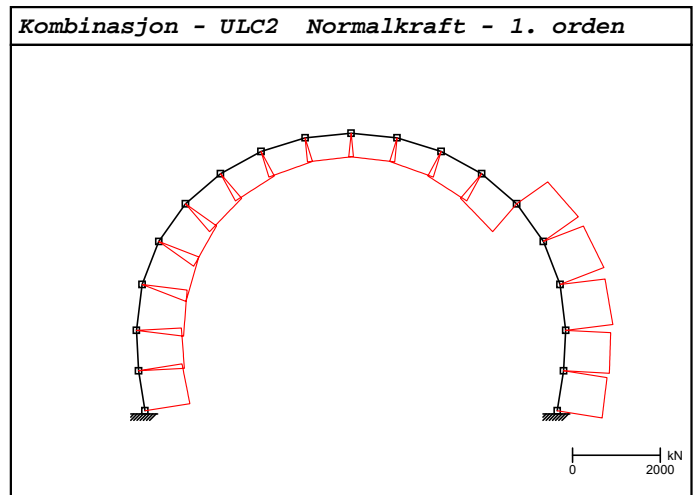
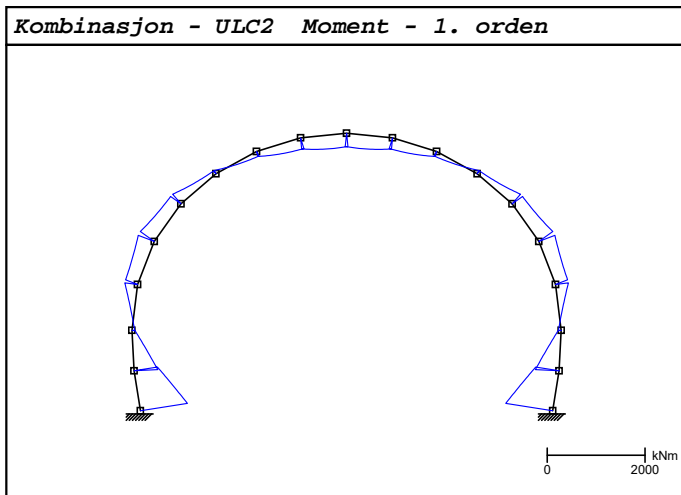
Firmanavn: **Norconsult AS**

Kombinasjon - ULC1 Nodesnittkrefter - 1. orden

Element	Node	M kNm	V kN	N kN	Element	Node	M kNm	V kN	N kN
1	1	655.913	-225.830	-1067.356	10	10	201.331	63.044	-625.283
	2	349.726	-333.038	-1023.852		11	168.624	-116.195	-637.793
2	2	349.726	-224.835	-1052.918	11	11	168.624	12.971	-648.161
	3	46.798	-327.464	-1030.064		12	75.301	-164.631	-685.305
3	3	46.798	-141.296	-1071.587	12	12	75.301	-24.743	-704.367
	4	-199.752	-252.299	-1028.167		13	-61.852	-198.045	-764.756
4	4	-199.752	5.345	-1058.657	13	13	-61.852	-34.553	-789.227
	5	-271.015	-117.192	-981.102		14	-204.775	-198.002	-869.046
5	5	-271.015	126.432	-979.954	14	15	270.893	-126.419	-979.935
	6	-204.881	-17.178	-891.170		14	204.775	17.192	-891.151
6	6	-204.881	198.020	-869.061	15	16	200.207	-5.861	-1058.757
	7	-61.935	34.571	-789.243		15	270.893	116.760	-981.133
7	7	-61.935	198.065	-764.767	16	17	-46.948	141.813	-1071.480
	8	75.243	24.764	-704.379		16	200.207	252.777	-1028.156
8	8	75.243	164.654	-685.312	17	18	-349.874	224.833	-1052.878
	9	168.595	-12.948	-648.168		17	-46.948	327.461	-1030.024
9	9	168.595	116.218	-637.795	18	19	-656.054	225.824	-1067.317
	10	201.331	-63.021	-625.285		18	-349.874	333.032	-1023.812

Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC1

Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm	Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm
1	55.977	1089.548	-655.913	19	-55.977	1089.508	656.054



Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

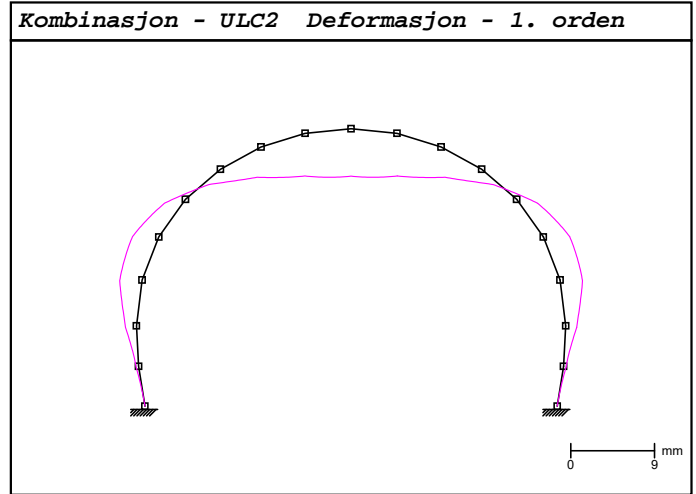
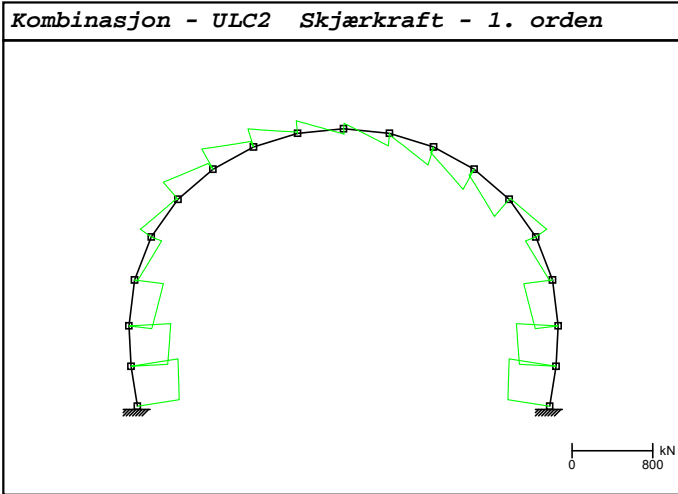
Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Dato: 2017-12-01

Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**



Kombinasjon - ULC2 Nodesnittkrefter - 1. orden

Element	Node	M kNm	V kN	N kN	Element	Node	M kNm	V kN	N kN
1	1	971.267	-419.473	-1036.668	10	10	273.183	54.000	-535.559
	2	484.390	-471.027	-1001.984		11	229.375	-124.962	-550.820
2	2	484.390	-364.349	-1045.508	11	11	229.375	-12.919	-564.669
	3	57.680	-415.203	-1025.404		12	105.358	-187.984	-609.990
3	3	57.680	-228.488	-1082.423	12	12	105.358	-62.638	-635.219
	4	-264.398	-287.491	-1032.541		13	-74.563	-228.652	-708.906
4	4	-264.398	-27.726	-1071.458	13	13	-74.563	-76.113	-740.970
	5	-351.220	-110.033	-978.331		14	-260.072	-224.494	-838.285
5	5	-351.220	132.696	-975.516	14	15	351.094	-132.682	-975.496
	6	-260.181	15.944	-867.698		14	260.072	-15.930	-867.679
6	6	-260.181	224.512	-838.301	15	16	264.848	27.205	-1071.573
	7	-74.648	76.131	-740.986		15	351.094	109.602	-978.358
7	7	-74.648	228.673	-708.918	16	17	-57.834	229.011	-1082.273
	8	105.299	62.660	-635.230		16	264.848	287.971	-1032.513
8	8	105.299	188.008	-609.997	17	18	-484.541	364.347	-1045.468
	9	229.345	12.942	-564.676		17	-57.834	415.201	-1025.363
9	9	229.345	124.986	-550.822	18	19	-971.412	419.466	-1036.628
	10	273.183	-53.976	-535.561		18	-484.541	471.021	-1001.943

Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC2

Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm	Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm
1	252.036	1089.548	-971.267	19	-252.036	1089.508	971.412

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i
betongkonstruksjoner

Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling

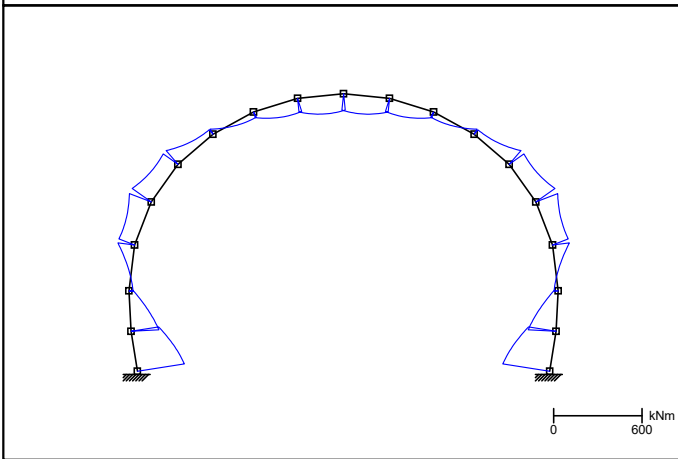
Prosjektil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53
Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra

Dato: 2017-12-01

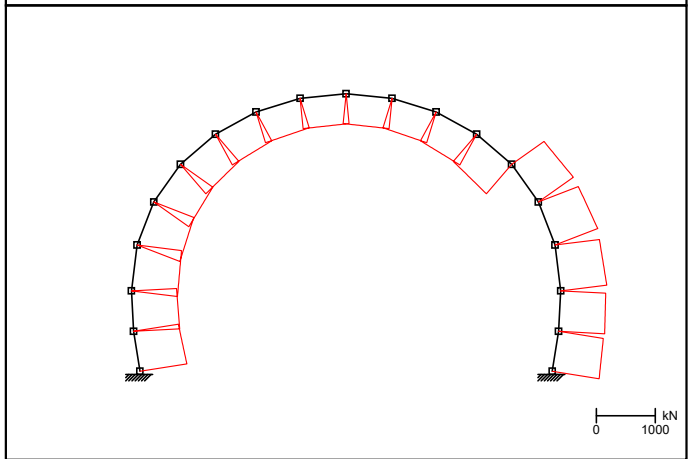
Utført av: (Eko)

Firmanavn: **Norconsult AS**

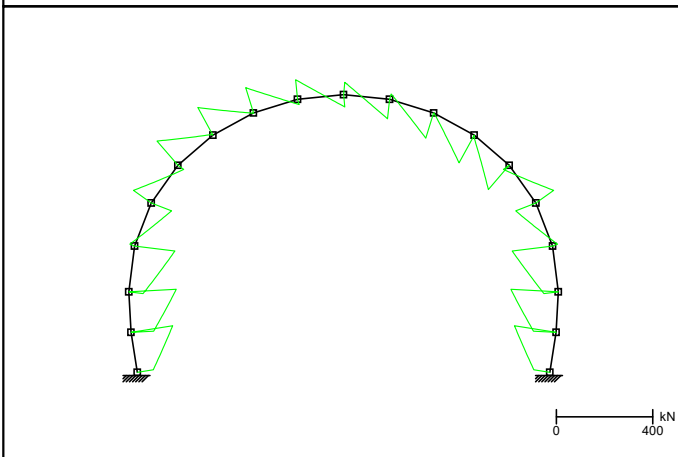
Kombinasjon - ULC3 Moment - 1. orden



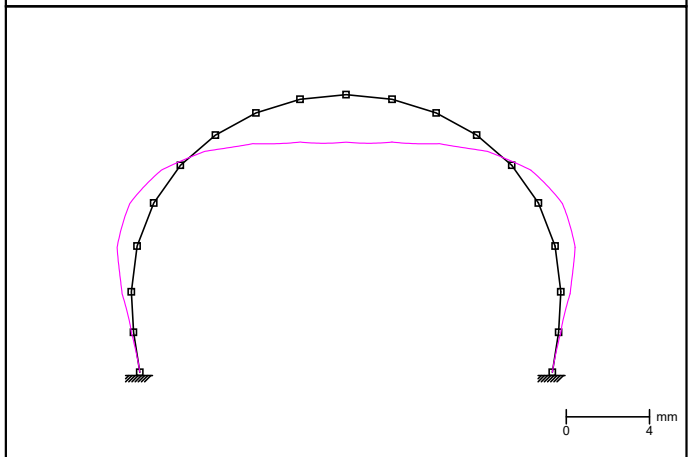
Kombinasjon - ULC3 Normalkraft - 1. orden



Kombinasjon - ULC3 Skjærkraft - 1. orden



Kombinasjon - ULC3 Deformasjon - 1. orden



Kombinasjon - ULC3 Nodesnittkrefter - 1. orden

Element	Node	M kNm	V kN	N kN	Element	Node	M kNm	V kN	N kN
1	1	322.344	-66.874	-806.547	10	10	111.878	51.389	-509.696
	2	189.230	-175.145	-769.748		11	93.406	-81.525	-517.536
2	2	189.230	-94.204	-783.781	11	11	93.406	23.032	-523.411
	3	29.022	-197.071	-765.426		12	40.193	-109.840	-546.685
3	3	29.022	-59.453	-788.150	12	12	40.193	1.321	-557.609
	4	-114.445	-168.640	-759.338		13	-39.225	-130.829	-595.445
4	4	-114.445	21.108	-777.552	13	13	-39.225	-4.045	-609.635
	5	-159.164	-90.522	-728.179		14	-123.013	-132.932	-659.688
5	5	-159.164	90.406	-728.194	14	15	159.075	-90.396	-728.180
	6	-123.089	-29.899	-672.297		14	123.013	29.909	-672.283
6	6	-123.089	132.945	-659.699	15	16	114.783	-21.487	-777.619
	7	-39.286	4.058	-609.646		15	159.075	90.201	-728.204
7	7	-39.286	130.844	-595.453	16	17	-29.132	59.834	-788.092
	8	40.151	-1.306	-557.617		16	114.783	168.993	-759.339
8	8	40.151	109.856	-546.690	17	18	-189.338	94.202	-783.752
	9	93.385	-23.015	-523.416		17	-29.132	197.070	-765.397
9	9	93.385	81.542	-517.538	18	19	-322.447	66.870	-806.518
	10	111.878	-51.372	-509.698		18	-189.338	175.140	-769.719

Ramme 6.4.006

© Norconsult Informasjonssystemer AS 2015

13 (15)

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner Dato: 2017-12-01
Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling Utført av: (Eko)
Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portaltversnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra Firmanavn: **Norconsult AS**

Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC3

Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm	Node	Rx kN	Ry kN	Rm kNm
1	-60.196	807.072	-322.344	19	60.196	807.043	322.447

Prosjekt:	5176077 Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner	Dato:	2017-12-01
Beskrivelse:	Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling	Utført av:	(Eko)
Prosjektfil:	N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portaltverrsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra	Firmanavn:	Norconsult AS

Innholdsfortegnelse

SAMMENDRAG	1
Noder	1
Element	1
Figur: Noder	1
Figur: Element	1
Figur: Element	2
Tverrsnittsdata	2
Tverrsnitt/element	2
Tverrsnittsspesifikasjon	2
Tverrsnittsspesifikasjon	3
Lasttilfelle: jordvekt	3
Figur: Lasttilfelle - jordvekt	3
Variabelt fordelt last	3
Lasttilfelle: egenvekt	4
Figur: Lasttilfelle - egenvekt	4
Egentyngde	4
Lasttilfelle: jordtrykk max	4
Figur: Lasttilfelle - jordtrykk max	4
Variabelt fordelt last	4
Variabelt fordelt last	5
Lasttilfelle	5
Kombinasjon	5
Resultat	5
Resultat	5
Max pos. moment - 1. orden	5
Max neg. moment - 1. orden	6
Likevektskontroll - 1. orden	6
Max pos. skjærkraft - 1. orden	6
Min neg. skjærkraft - 1. orden	6
Min neg. skjærkraft - 1. orden	7
Max pos. normalkraft - 1. orden	7
Min neg. normalkraft - 1. orden	7
Min neg. normalkraft - 1. orden	8
Max abs. moment - 1. orden	8
Max abs. skjærkraft - 1. orden	8
Max abs. normalkraft - 1. orden	8
Max abs. normalkraft - 1. orden	9
Figur: Kombinasjon - ULC1 Moment - 1. orden	9
Figur: Kombinasjon - ULC1 Normalkraft - 1. orden	9
Figur: Kombinasjon - ULC1 Skjærkraft - 1. orden	9
Figur: Kombinasjon - ULC1 Deformasjon - 1. orden	9
Kombinasjon - ULC1 Nodesnittkrefter - 1. orden	10
Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC1	10
Figur: Kombinasjon - ULC2 Moment - 1. orden	10
Figur: Kombinasjon - ULC2 Normalkraft - 1. orden	10
Figur: Kombinasjon - ULC2 Skjærkraft - 1. orden	11
Figur: Kombinasjon - ULC2 Deformasjon - 1. orden	11
Kombinasjon - ULC2 Nodesnittkrefter - 1. orden	11
Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC2	11
Figur: Kombinasjon - ULC3 Moment - 1. orden	12
Figur: Kombinasjon - ULC3 Normalkraft - 1. orden	12
Figur: Kombinasjon - ULC3 Skjærkraft - 1. orden	12
Figur: Kombinasjon - ULC3 Deformasjon - 1. orden	12

Prosjekt: 5176077 Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner Dato: 2017-12-01
Beskrivelse: Tunnelportal 450 mm, 5 meter oppfylling Utført av: (Eko)
Prosjektfil: N:\517\60\5176077\5 Arbeidsdokumenter\53 Bruer\Portaltvernsnitt T10-5\Ram1-5m_450.fra Firmanavn: **Norconsult AS**

Innholdsfortegnelse

Kombinasjon - ULC3 Nodesnittkrefter - 1. orden	12
Oppleggsreaksjoner - 1. orden Kombinasjon: ULC3	13

Rektangulær søyle, jmf NS-EN 1992-1-1:2004/NA:2008

Prosjekt : Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner

Konstruksjonsdel : Tunnelportal_450mm_topp, 10 m oppfylling

Materiallegenskaper:

Betong: Fasthetsklasse: $f_{ck} := 45\text{MPa}$; Sylindrefasthet, jmf Tabell 3.1

Tab. NA.2.1 $\gamma_c := 1.5$; Materialfaktor

$\varphi := 2.2$; Kryptall

Armering:

NA.3.3.6 $f_{sk} := 500\text{MPa}$ $\epsilon_{ud} := 0.03$ $E_s := 200\text{GPa}$

Tab. NA.2.1 $\gamma_s := 1.15$

Geometri og armering:

Dimensjoner: $h := 450\text{mm}$ $b := 1000\text{mm}$

Knekk lengder: $L_{kx} := 0\text{mm}$ $L_{ky} := 0\text{mm}$

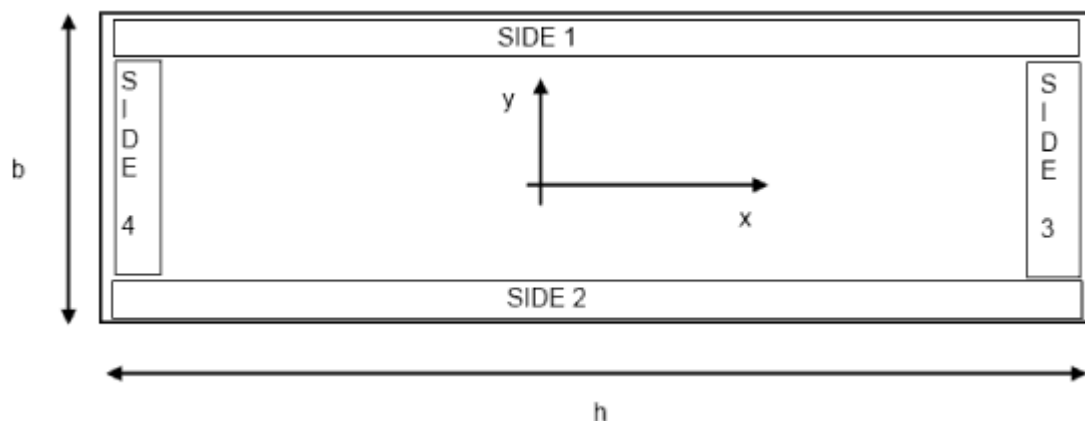
Overdekning: $c_{\text{min}} := 75\text{mm}$ Bøylediameter: $\phi_b := 0\text{mm}$

Armering, side 1: $\phi_1 := 16\text{mm}$ $n_1 := 6.67$

Armering, side 2: $\phi_2 := 16\text{mm}$ $n_2 := 6.67$

Armering, side 3: $\phi_3 := 16\text{mm}$ $n_3 := 0$

Armering, side 4: $\phi_4 := 16\text{mm}$ $n_4 := 0$



Belastning: Langtidslast:

Korttidslast:

Påført belastning:

$N_{Ed.g} := 1728\text{kN}$	$N_{Ed.p} := 0\text{kN}$	$N_{Ed} := N_{Ed.g} + N_{Ed.p} = 1728 \cdot \text{kN}$
"Svak akse" $M_{Edx.g} := 665\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{Edx.p} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{00Edx} := M_{Edx.g} + M_{Edx.p} = 665 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$
"Sterk akse" $M_{Edy.g} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{Edy.p} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{00Edy} := M_{Edy.g} + M_{Edy.p} = 0 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$



Resultater:Armering:

Krav til armering:

$A_{s.min} = 5278.5 \cdot \text{mm}^2$

$A_{s.max} = 18000 \cdot \text{mm}^2$

Armeringsareal:

$A_s = 2412.7 \cdot \text{mm}^2$

check_As = "IKKE OK"

Mekanisk armeringsforhold:

$w = 0.091$

Belastning:

Svak akse

Sterk akse

Dimensjonerende aksialkraft

$N_{Ed} = 1728 \cdot \text{kN}$

$N_{Ed} = 1728 \cdot \text{kN}$

Utilsiktet eksentrisitet

$e_{1x} = 33.3 \cdot \text{mm}$

$e_{1y} = 0 \cdot \text{mm}$

Andreordens eksentrisitet

$e_{2x} = 0 \cdot \text{mm}$

$e_{2y} = \blacksquare \cdot \text{mm}$

Førsteordens moment

$M_{0Edx} = 722.6 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{0E dy} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Andreordens moment

$M_{2x} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{2y} = \blacksquare \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Dimensjonerende moment

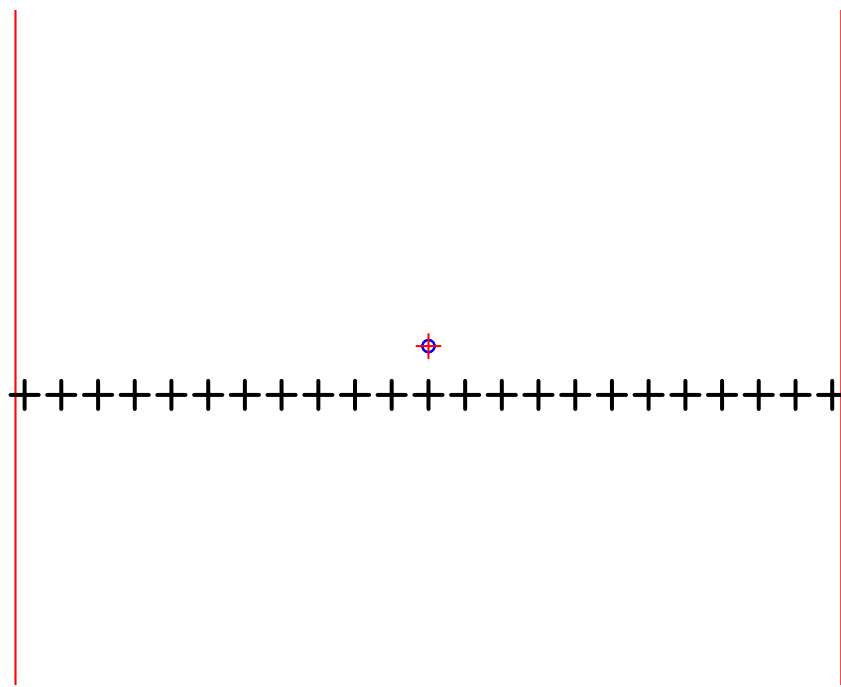
$M_{Edx} = 722.6 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{E dy} = \blacksquare \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Skisse:

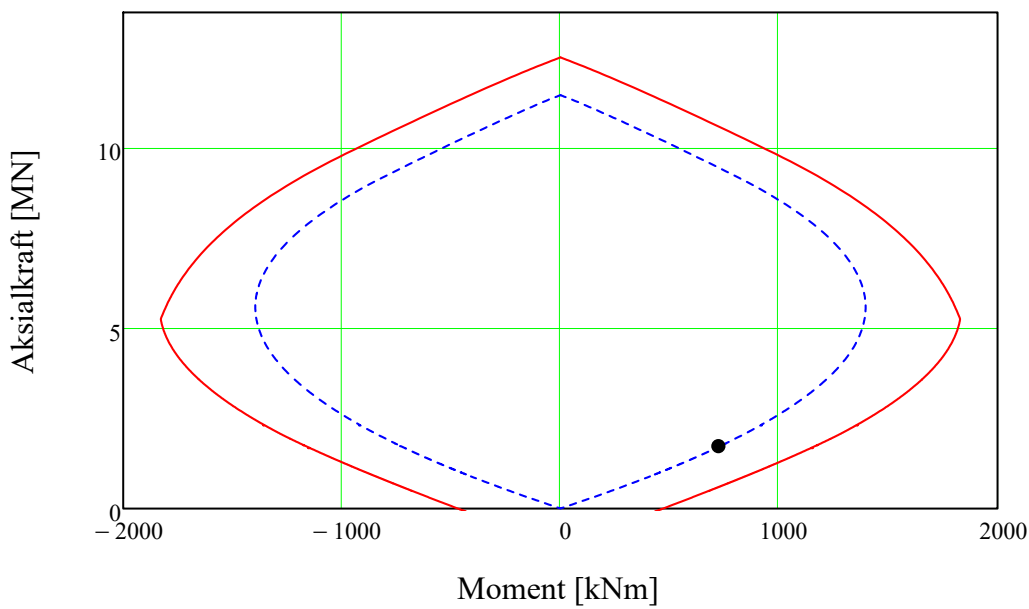
Armeringsskissen viser plassering av armeringen, men ikke stangdiameter.

Sort kryss viser andreordens plassering av aksiallast.

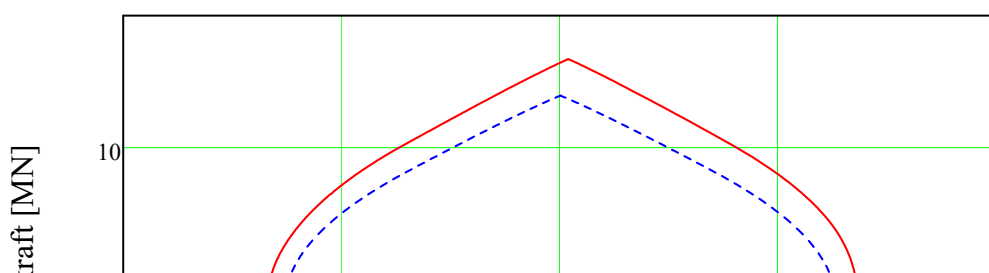


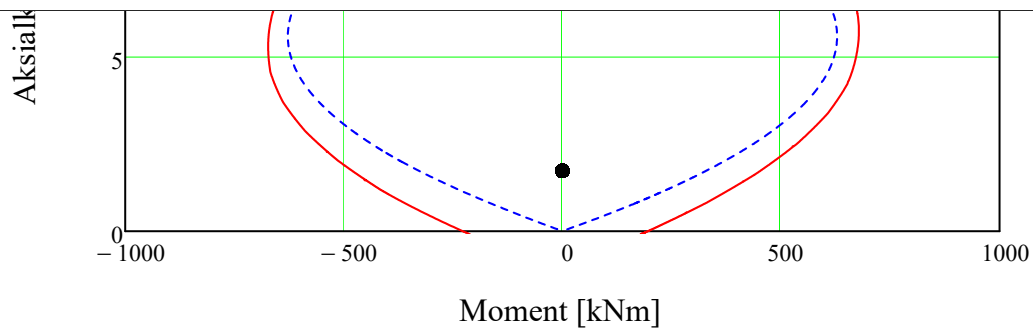
Utnyttelser:

MN-diagram - x-akse



MN-diagram - y-akse





Biaksial bøyning:

Biaksial kontroll kan utelates dersom kriteriene i 5.8.9 (3) er oppfylt.

Sjekk 5.8.9 = ■

Biaksial utnyttelse:

$UR_{xy} = \cdot\%$

Rektangulær søyle, jmf NS-EN 1992-1-1:2004/NA:2008

Prosjekt : Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner

Konstruksjonsdel : Tunnelportal_450 mm_bunn, 5m oppfylling

Materiallegenskaper:

Betong: Fasthetsklasse: $f_{ck} := 45\text{MPa}$; Sylindrefasthet, jmfør Tabell 3.1

Tab. NA.2.1 $\gamma_c := 1.5$; Materialfaktor

$\varphi := 2.2$; Kryptall

Armering:

NA.3.3.6 $f_{sk} := 500\text{MPa}$ $\epsilon_{ud} := 0.03$ $E_s := 200\text{GPa}$

Tab. NA.2.1 $\gamma_s := 1.15$

Geometri og armering:

Dimensjoner: $h := 724\text{mm}$ $b := 1000\text{mm}$

Knekk lengder: $L_{kx} := 0\text{mm}$ $L_{ky} := 0\text{mm}$

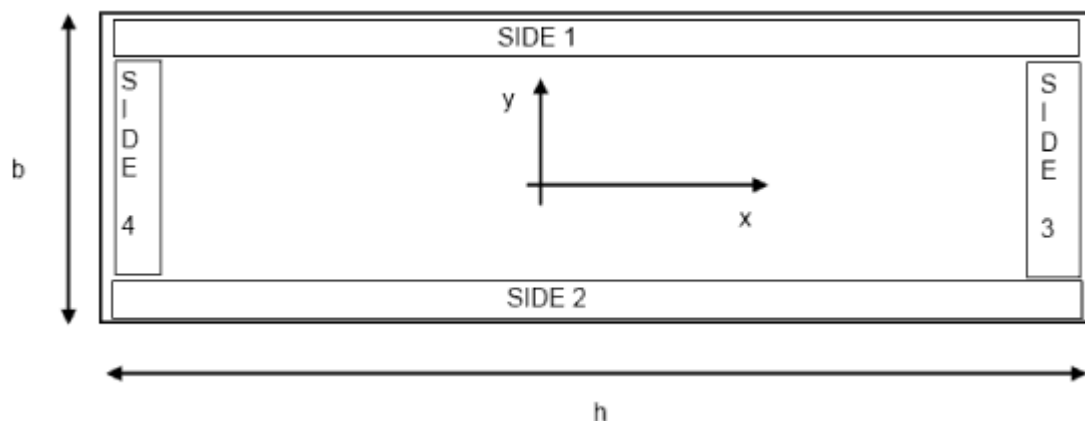
Overdekning: $c_{\min} := 75\text{mm}$ Bøylediameter: $\phi_b := 12\text{mm}$

Armering, side 1: $\phi_1 := 20\text{mm}$ $n_1 := 6.67$

Armering, side 2: $\phi_2 := 16\text{mm}$ $n_2 := 6.67$

Armering, side 3: $\phi_3 := 16\text{mm}$ $n_3 := 0$

Armering, side 4: $\phi_4 := 16\text{mm}$ $n_4 := 0$



Belastning: Langtidslast:

Korttidslast:

Påført belastning:

	$N_{Ed.g} := 1036\text{kN}$	$N_{Ed.p} := 0\text{kN}$	$N_{Ed} := N_{Ed.g} + N_{Ed.p} = 1036\text{kN}$
"Svak akse"	$M_{Edx.g} := 971\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{Edx.p} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{00Edx} := M_{Edx.g} + M_{Edx.p} = 971\text{kN}\cdot\text{m}$
"Sterk akse"	$M_{Edy.g} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{Edy.p} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{00Edy} := M_{Edy.g} + M_{Edy.p} = 0\text{kN}\cdot\text{m}$



Resultater:Armering:

Krav til armering:

$$A_{s.min} = 8492.5 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s.max} = 28960 \cdot \text{mm}^2$$

Armeringsareal:

$$A_s = 3091.3 \cdot \text{mm}^2$$

check_As = "IKKE OK"

Mekanisk armeringsforhold:

$$w = 0.073$$

Belastning:

Svak akse

Sterk akse

Dimensjonerende aksialkraft

$$N_{Ed} = 1036 \cdot \text{kN}$$

$$N_{Ed} = 1036 \cdot \text{kN}$$

Utsiktet eksentrisitet

$$e_{1x} = 33.3 \cdot \text{mm}$$

$$e_{1y} = 0 \cdot \text{mm}$$

Andreordens eksentrisitet

$$e_{2x} = 0 \cdot \text{mm}$$

$$e_{2y} = \blacksquare \cdot \text{mm}$$

Førsteordens moment

$$M_{0Edx} = 1005.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{0Edy} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Andreordens moment

$$M_{2x} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{2y} = \blacksquare \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

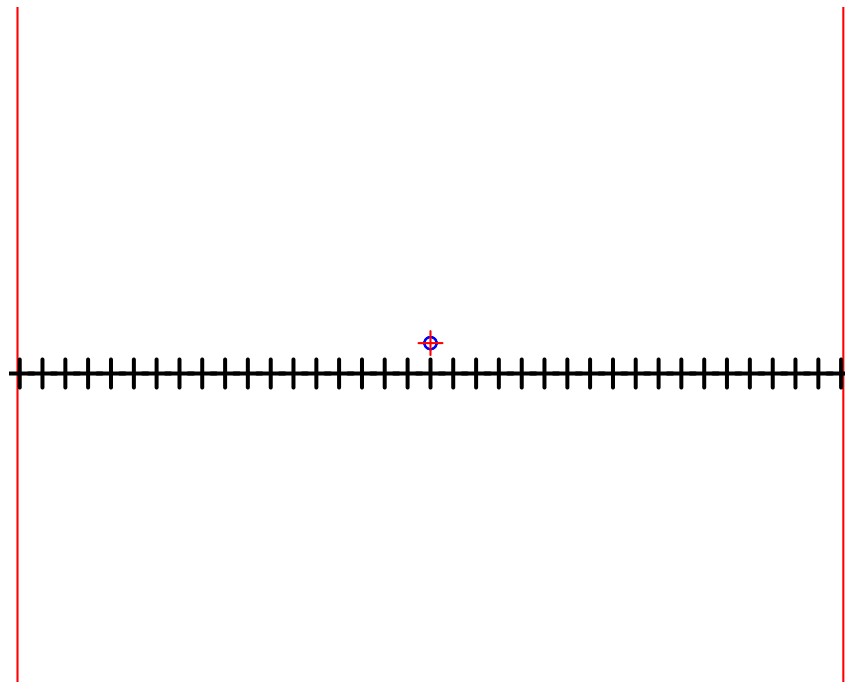
Dimensjonerende moment

$$M_{Edx} = 1005.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Edy} = \blacksquare \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

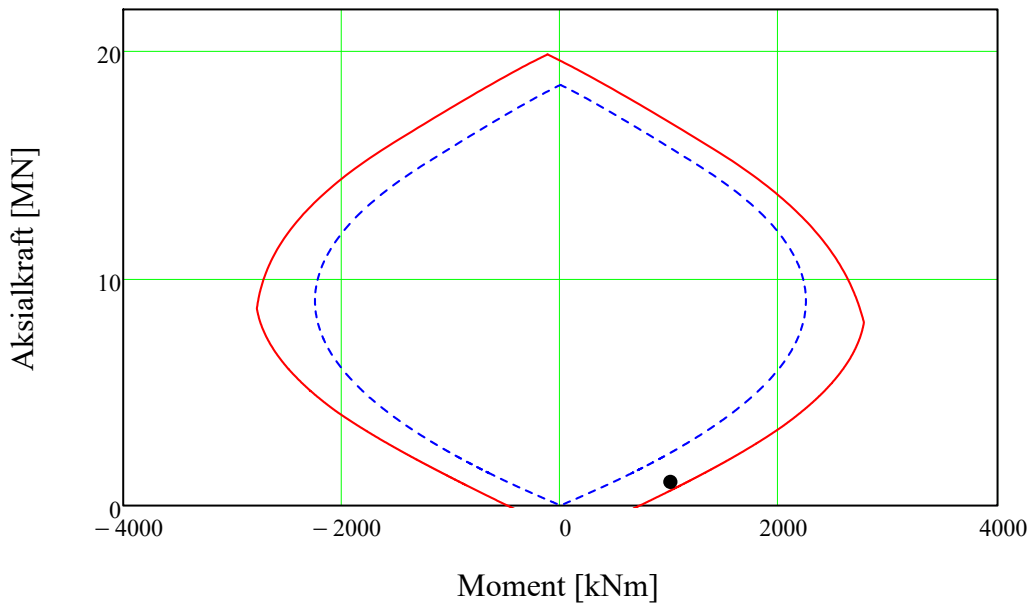
Skisse:

Armeringsskissen viser plassering av armeringen, men ikke stangdiameter.
Sort kryss viser andreordens plassering av aksiallast.

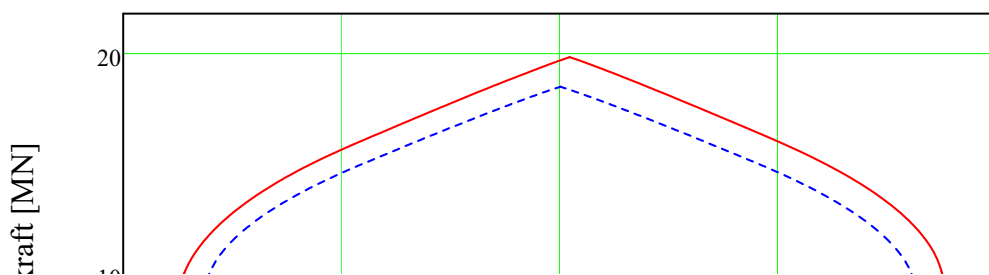


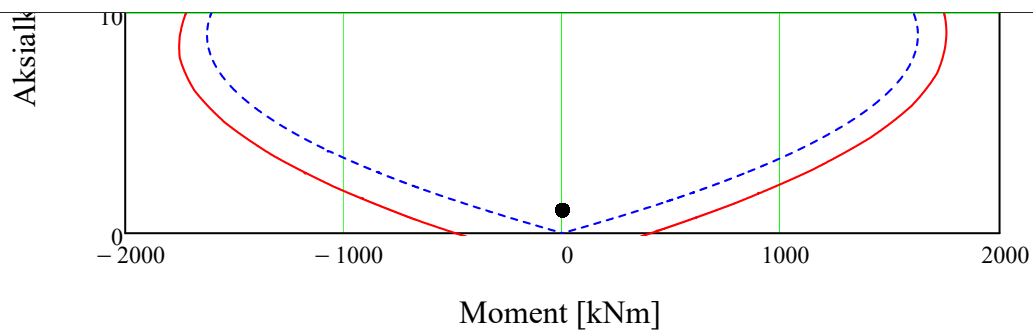
Utnyttelser:

MN-diagram - x-akse



MN-diagram - y-akse





Biaksial bøyning:

Biaksial kontroll kan utelates dersom kriteriene i 5.8.9 (3) er oppfylt.

Sjekk 5.8.9 = ■

Biaksial utnyttelse:

$UR_{xy} = \cdot\%$

Rektangulær søyle, jmf NS-EN 1992-1-1:2004/NA:2008

Prosjekt : Klimagassreduksjon i betongkonstruksjoner

Konstruksjonsdel : Tunnelportal bunn_450 mm, 10 m oppfylling

Materiallegenskaper:

Betong: *Fasthetsklasse:* $f_{ck} := 45\text{MPa}$; *Sylinderfasthet, jmfør Tabell 3.1*

Tab. NA.2.1 $\gamma_c := 1.5$; *Materialfaktor*

$\varphi := 2.2$; *Kryptall*

Armering:

NA.3.3.6 $f_{sk} := 500\text{MPa}$ $\epsilon_{ud} := 0.03$ $E_s := 200\text{GPa}$

Tab. NA.2.1 $\gamma_s := 1.15$

Geometri og armering:

Dimensjoner: $h := 724\text{mm}$ $b := 1000\text{mm}$

Knekk lengder: $L_{kx} := 0\text{mm}$ $L_{ky} := 0\text{mm}$

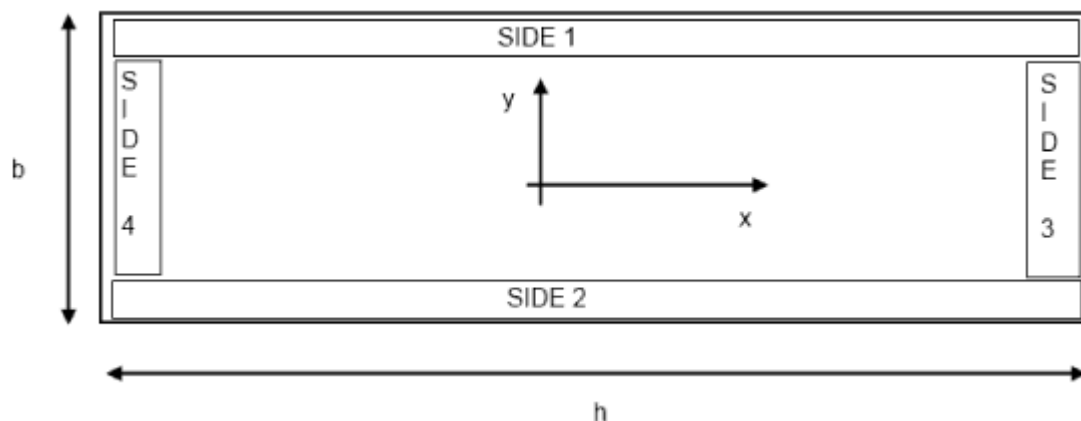
Overdekning: $c_{\min} := 75\text{mm}$ *Bøylediameter:* $\phi_b := 16\text{mm}$

Armering, side 1: $\phi_1 := 20\text{mm}$ $n_1 := 13.34$

Armering, side 2: $\phi_2 := 16\text{mm}$ $n_2 := 6.67$

Armering, side 3: $\phi_3 := 16\text{mm}$ $n_3 := 0$

Armering, side 4: $\phi_4 := 16\text{mm}$ $n_4 := 0$



Belastning: *Langtidslast:*

Korttidslast:

Påført belastning:

	$N_{Ed.g} := 1729\text{kN}$	$N_{Ed.p} := 0\text{kN}$	$N_{Ed} := N_{Ed.g} + N_{Ed.p} = 1729 \cdot \text{kN}$
<i>"Svak akse"</i>	$M_{Edx.g} := 1822\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{Edx.p} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{00Edx} := M_{Edx.g} + M_{Edx.p} = 1822 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$
<i>"Sterk akse"</i>	$M_{Edy.g} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{Edy.p} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{00Edy} := M_{Edy.g} + M_{Edy.p} = 0 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$



Resultater:Armering:

Krav til armering:

$A_{s.min} = 8492.5 \cdot \text{mm}^2$

$A_{s.max} = 28960 \cdot \text{mm}^2$

Armeringsareal:

$A_s = 5290.4 \cdot \text{mm}^2$

check_As = "IKKE OK"

Mekanisk armeringsforhold:

$w = 0.125$

Belastning:

Svak akse

Sterk akse

Dimensjonerende aksialkraft

$N_{Ed} = 1729 \cdot \text{kN}$

$N_{Ed} = 1729 \cdot \text{kN}$

Utilsiktet eksentrisitet

$e_{1x} = 33.3 \cdot \text{mm}$

$e_{1y} = 0 \cdot \text{mm}$

Andreordens eksentrisitet

$e_{2x} = 0 \cdot \text{mm}$

$e_{2y} = \blacksquare \cdot \text{mm}$

Førsteordens moment

$M_{0Edx} = 1879.6 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{0E dy} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Andreordens moment

$M_{2x} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{2y} = \blacksquare \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

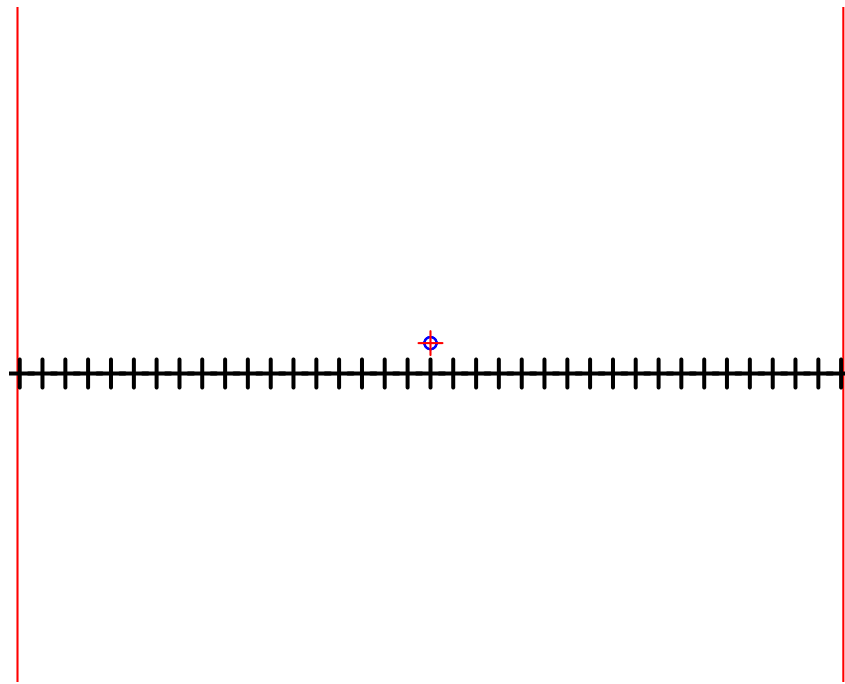
Dimensjonerende moment

$M_{Edx} = 1879.6 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{E dy} = \blacksquare \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

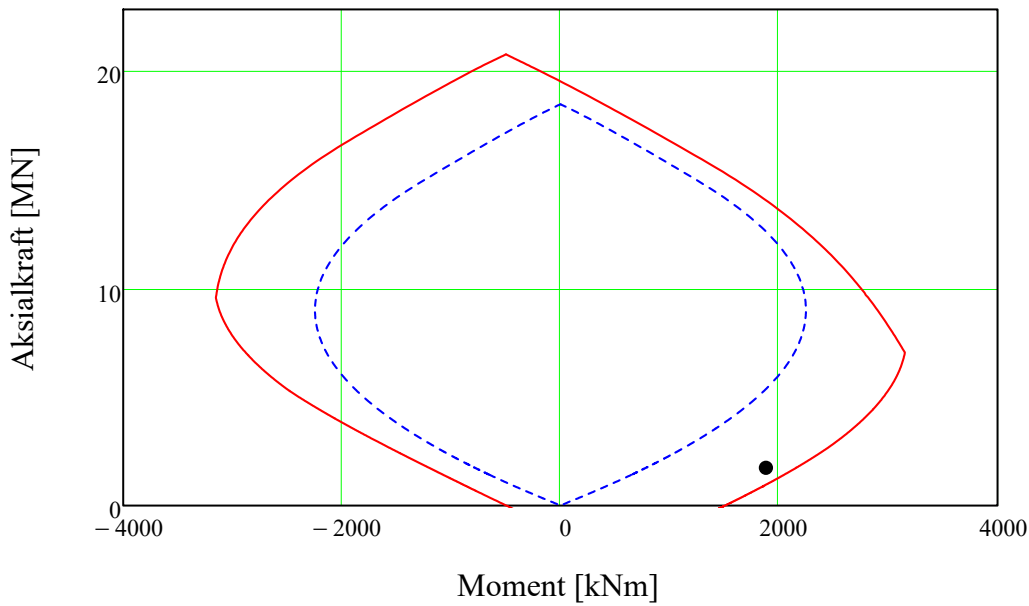
Skisse:

Armeringsskissen viser plassering av armeringen, men ikke stangdiameter.
Sort kryss viser andreordens plassering av aksiallast.



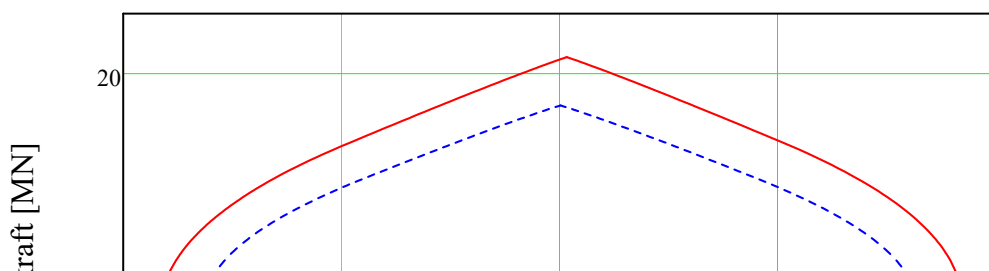
Utnyttelser:

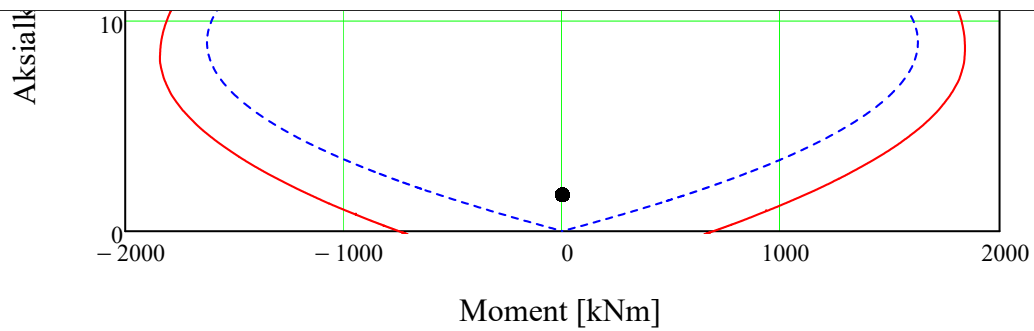
MN-diagram - x-akse



$UR_{M,x} = 87.2\%$

MN-diagram - y-akse





Biaksial bøyning:

Biaksial kontroll kan utelates dersom kriteriene i 5.8.9 (3) er oppfylt.

Sjekk 5.8.9 = ■

Biaksial utnyttelse:

$UR_{xy} = \cdot\%$

Sign.	Dato	Prosjekt	Side
Eko	30.11.2017	Klimagasreduksjon i betongkonstruksjoner	Prosjekt.nr.
Ktr.	Dato		
DB	30.11.2017	Skjærkapasitet 5 meter T450	5176077

1. Skjærkraftkapasitet i konstruksjonsdeler uten beregningsmessig behov for skjærarmering

iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4

Sjekk først om konstruksjonsdelen har tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarmering. Dersom ikke tilstrekkelig, må legges inn skjærarmering - gå til pkt. 2.

Betongens fasthetsklasse		B45	NA.3.1.2(2)
Betongens karakteristiske sylindertykkfasthet	f_{ck}	45 N/mm ²	
Partialfaktor for betong	γ_c	1.5	
Koeffisient for langtidslast-trykkfasthet/lastpåføring	α_{cc}	0.85	NA.3.1.6(1)P
Betongens dimensjonerende trykkfasthet	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	25.50 N/mm ²	
Tverrsnittstykkelse konstruksjonsdel	t	724 mm	
Minimum bredde av tverrsnittet i strekksone	b_w	1 000 mm	
Antatt diameter lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_1	25 mm	
Evt antatt diameter tversgående lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_2	0 mm	
Overdekning	o	75 mm	
	$d = t - o - (\phi_1 + \phi_2) / 2$	636.5 mm	

Evt gunstig bidrag fra aksialkraft fra forspenning i tverrsnittet

Aksialkraft i tverrsnittet fra laster og forspenning (Trykk = pos. tall)	N_{Ed}	1 001 000 N
Areal av betongtverrsnittet	A_c	724 000 mm ²

Valgt lengdearmering $A_{s,l}$ 2 093 mm² evt. mm²/m

$A_{s,l}$ er tverrsnittsarealet av strekkarmeringen med en forankringslengde $\geq (l_{bd} + d)$ forbi det betraktete snittet

Armeringsforhold for lengdearmeringen $\rho_1 = A_{s,l} / b_w d \leq 0,02$ ρ_1 0.0033 [dim.løs] (6.2.b)

Faktorer kfr. NA.6.2.2

k_1 lik 0,15 ved trykk i tverrsnittet. Lik 0,3 ved strekk k_1 0.15 NA.6.2.2(1)

k_2 større enn 0,15 krever spesiell dokumentasjon av tilslaget. k_2 0.18 NA.6.2.2(1)

$C_{Rd,c} = k_2 / \gamma_c$ $C_{Rd,c}$ 0.12 [dim.løs] NA.6.2.2(1)

Max verdi av f_{ck} for formel (6.2.a) og (6.3N). $f_{ck,max} = \min [f_{ck}; 65 \text{N/mm}^2]$ $f_{ck,max}$ 45 N/mm² NA.6.2.2(1)

$k = 1 + ((200/d))^{1/2} \leq 2,0$ k 1.56 [dim.løs] (6.2.b)

Evt. gunstig aksialspenning σ_{cp} 1.382596685 N/mm²

Minimumsverdi skjærfaktor $v_{min} = 0,035 \cdot k^a \cdot f_{ck,max}^{1/2}$, $a = 1,5$ v_{min} 0.46 [dim.løs] (NA.6.3N)

Minimum skjærkapasitet $V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w d$ $V_{Rd,c,min}$ 423 kN evt. kN/m

Dim. skjærkraftkapasitet uten skjærarmering: $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck,max})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = 425 \text{ kN}$ (kN/m, ved b=1m) (6.2.a)

Tilsvarende dimensjonerende skjærspenning uten skjærarmering lik: $v_{Rd,c} = V_{Rd,c} / b_w d = 0.667 \text{ N/mm}^2$ (6.47)

$V_{Rd,c}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft i en avstand fra opplegg lik:

For konstruksjonsdeler hovedsaklig påvirket av jevnt fordelt belastning:

$x = 1 d = 636.5 \text{ mm}$ 6.2.1(8)

For plater påvirket av konsentrerte laster mindre enn 2 d fra opplegg/mottrykk:

$x = 1.5 d = 954.8 \text{ mm}$ 6.4.2(2)

Typisk for plater påvirket av konsentrerte laster (typ. gjennomlokking):

$x = 2 d = 1273.0 \text{ mm}$ 6.4.2(1)

Max dimensjonerende skjærkraftkapasitet uten skjærarmering

$v = 0.492$ (NA.6.6N)

$V_{Rd,max,1} = 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd}$

= 3 993 kN (kN/m, ved b=1m) 6.2.2(6)

$V_{Rd,max,2} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$

= 3 593 kN (kN/m, ved b=1m) 6.2.1(8)+(6.9)

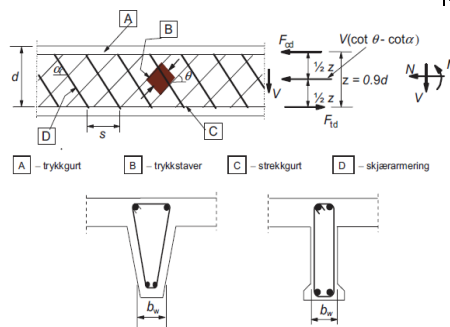
$V_{Rd,c,max}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft ved kant av opplegg.

Sign.	Dato	Prosjekt	Side
Eko	30.11.2017	Klimagasreduksjon i betongkonstruksjoner	Prosjekt.nr.
Ktr.	Dato	Skjærkapasitet 5 meter T450	5176077
DB	30.11.2017		

2. Konstruksjonsdeler med beregningsmessig behov for skjærarmring iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4

Dersom det iht. pkt. 1 ikke er tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarmring, legges her inn skjærarmring.

Utsnitt av figur 6.5 under pkt. 6.2.3



Figur 6.5 – Fagverksmodell og betegnelser for skjærarmerte konstruksjonsdeler

Vinkel mellom skjærarmring og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften (positiv retning som vist på figur 6.5)	α	90 grader	90 grader er vanlig
Vinkel mellom betongtrykkstaven og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften ($1 \leq \cot \theta \leq \theta_{max}$)	θ	45 grader	45 grader er vanlig
$\theta_{max,a} = 2.5$ (typ.)	$\tan \theta$	1.00 [dim.løs]	
$\theta_{max,b} = 1.25$ dersom $\sigma_t \geq f_{ctk,0,005}$	$\cot \theta$	1.00 [dim.løs]	Gyldig θ -verdi
$\sigma_t = N_{Ed}/A_c =$ Uaktuell N/mm^2 (strekk er pos. tall)	$\tan \alpha$	1.63246E+16	
$\theta_{max} = 2.50$	$\cot \alpha$	6.12574E-17	
	$\sin \alpha$	1.00	
Bredde, evt minste bredde mellom strekk- og trykkgurt (bjelker med steg)	b_w	1 000 mm	

Innvendig momentarm for en konstruksjonsdel med konstant høyde, beregnet for bøyemomentet i den aktuelle konstruksjonsdelen. Ved skjærkraftdimensjonering av armert betong uten aksialkraft kan vanligvis den tilnærmete verdien $z = 0,9 d$ brukes

$z = 0.90 d = 573 \text{ mm}$ (6.2.3(1))

Skjærarmingens karakteristiske flytespenning:	$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$	$y_s = 1.15$	
Skjærarmingens tverrsnittsareal pr snitt/nål	$a_w = 16 \text{ mm}$	$A_{sw} = 670 \text{ mm}^2$	
Senteravstand mellom bøyer/nåler parallelt med spennretning		$s_x = 300 \text{ mm}$	
Skjærarmingens effektive dimensjonerende flytegrense:	$f_{ywd} = \text{MIN}[250 + 0,25d ; f_{sk}/y_s]$	378 N/mm^2	6.4.5
Fasthetsreduksjonsfaktor for betong opprisset pga skjærkraft v_1 kan settes lik v	$v_1 = 0.492$		NA.6.2.3(3)+(NA.6.6N)
Koeffisient som tar hensyn til spenningstilstanden i trykkgurten ($\alpha_{cw} = 1$ for ikke forspente konstruksjoner)	$\alpha_{cw} = 1.0$		NA.6.2.3(3)

For konstruksjonsdeler med vertikal skjærarmring:

$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$:			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$	$V_{Rd,s}$	483 kN evt kN/m	(6.8)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}/(\cot \theta + \tan \theta)$	$V_{Rd,max}$	3 593 kN evt kN/m	(6.9)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skjærarmring	V_{Rd}	483 kN evt kN/m	

For konstruksjonsdeler med skrå skjærarmring:

$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \tan \theta) \cdot \sin \theta$	$V_{Rd,s}$	UAKTUELL kN evt. kN/m	(6.13)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)/(1 + \cot 2\alpha)$	$V_{Rd,max}$	UAKTUELL kN evt. kN/m	(6.14)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skrå skjærarmring	V_{Rd}	UAKTUELL kN evt. kN/m	

Sign.	Dato	Prosjekt	Side
Eko	30.11.2017	Klimagasreduksjon i betongkonstruksjoner	Prosjekt.nr.
Ktr.	Dato		
DB	30.11.2017	Skjærkapasitet 5 meter T450	5176077

1. Skjærkraftkapasitet i konstruksjonsdeler uten beregningsmessig behov for skjærarmering

iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4

Sjekk først om konstruksjonsdelen har tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarmering. Dersom ikke tilstrekkelig, må legges inn skjærarmering - gå til pkt. 2.

Betongens fasthetsklasse		B45	NA.3.1.2(2)
Betongens karakteristiske sylindertykkfasthet	f_{ck}	45 N/mm ²	
Partialfaktor for betong	γ_c	1.5	
Koeffisient for langtidslast-trykkfasthet/lastpåføring	α_{cc}	0.85	NA.3.1.6(1)P
Betongens dimensjonerende trykkfasthet	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	25.50 N/mm ²	
Tverrsnittstykkelse konstruksjonsdel	t	480 mm	
Minimum bredde av tverrsnittet i strekksone	b_w	1 000 mm	
Antatt diameter lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_1	25 mm	
Evt antatt diameter tversgående lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_2	0 mm	
Overdekning	o	75 mm	
	$d = t - o - (\phi_1 + \phi_2) / 2$	392.5 mm	

Evt gunstig bidrag fra aksialkraft fra forspenning i tverrsnittet

Aksialkraft i tverrsnittet fra laster og forspenning (Trykk = pos. tall)	N_{Ed}	1 001 000 N
Areal av betongtverrsnittet	A_c	480 000 mm ²

Valgt lengdearmering $A_{s,l}$ 2 093 mm² evt. mm²/m

$A_{s,l}$ er tverrsnittsarealet av strekkarmeringen med en forankringslengde $\geq (l_{bd} + d)$ forbi det betraktete snittet

Armeringsforhold for lengdearmeringen $\rho_1 = A_{s,l} / b_w d \leq 0,02$ ρ_1 0.0053 [dim.løs] (6.2.b)

Faktorer kfr. NA.6.2.2

k_1 lik 0,15 ved trykk i tverrsnittet. Lik 0,3 ved strekk k_1 0.15 NA.6.2.2(1)

k_2 større enn 0,15 krever spesiell dokumentasjon av tilslaget. k_2 0.18 NA.6.2.2(1)

$C_{Rd,c} = k_2 / \gamma_c$ $C_{Rd,c}$ 0.12 [dim.løs] NA.6.2.2(1)

Max verdi av f_{ck} for formel (6.2.a) og (6.3N). $f_{ck,max} = \min [f_{ck}; 65N/mm^2]$ $f_{ck,max}$ 45 N/mm² NA.6.2.2(1)

$k = 1 + ((200/d))^{1/2} \leq 2,0$ k 1.71 [dim.løs] (6.2.b)

Evt. gunstig aksialspenning σ_{cp} 2.085416667 N/mm²

Minimumsverdi skjærfaktor $v_{min} = 0,035 \cdot k^a \cdot f_{ck,max}^{1/2}$, a = 1,5 v_{min} 0.53 [dim.løs] (NA.6.3N)

Minimum skjærkapasitet $V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w d$ $V_{Rd,c,min}$ 330 kN evt. kN/m

Dim. skjærkraftkapasitet uten skjærarmering: $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck,max})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$ 356 kN (kN/m, ved b=1m) (6.2.a)

Tilsvarer dimensjonerende skjærspenning uten skjærarmering lik: $v_{Rd,c} = V_{Rd,c} / b_w d =$ 0.906 N/mm² (6.47)

$V_{Rd,c}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft i en avstand fra opplegg lik:

For konstruksjonsdeler hovedsakling påvirket av jevnt fordelt belastning: x = 1 d = 392.5 mm 6.2.1(8)

For plater påvirket av konsentrerte laster mindre enn 2 d fra opplegg/mottrykk: x = 1.5 d = 588.8 mm 6.4.2(2)

Typisk for plater påvirket av konsentrerte laster (typ. gjennomlokking): x = 2 d = 785.0 mm 6.4.2(1)

Max dimensjonerende skjærkraftkapasitet uten skjærarmering

$V_{Rd,max,1} = 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd}$ v = 0.492 (NA.6.6N)

= 2 462 kN (kN/m, ved b=1m) 6.2.2(6)

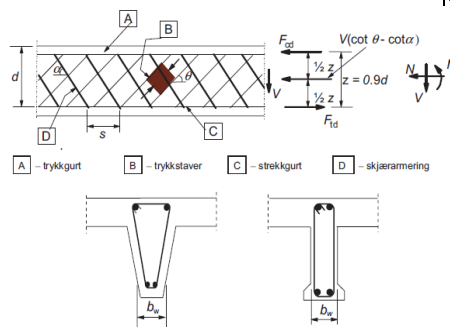
$V_{Rd,max,2} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$ = 2 216 kN (kN/m, ved b=1m) 6.2.1(8)+(6.9)

$V_{Rd,c,max}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft ved kant av opplegg.

2. Konstruksjonsdeler med beregningsmessig behov for skjærarmering iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4

Dersom det iht. pkt. 1 ikke er tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarmering, legges her inn skjærarmering.

Utsnitt av figur 6.5 under pkt. 6.2.3



Figur 6.5 – Fagverksmodell og betegnelser for skjærarmerte konstruksjonsdeler

Vinkel mellom skjærarmering og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften (positiv retning som vist på figur 6.5)	α	90 grader	90 grader er vanlig
Vinkel mellom betongtrykkstaven og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften ($1 \leq \cot \theta \leq \theta_{max}$)	θ	45 grader	45 grader er vanlig
$\theta_{max,a} = 2.5$ (typ.)	$\tan \theta$	1.00 [dim.løs]	
$\theta_{max,b} = 1.25$ dersom $\sigma_t \geq f_{ctk,0,005}$	$\cot \theta$	1.00 [dim.løs]	Gyldig θ -verdi
$\sigma_t = N_{Ed}/A_c =$ Uaktuell N/mm^2 (strekk er pos. tall)	$\tan \alpha$	1.63246E+16	
$\theta_{max} = 2.50$	$\cot \alpha$	6.12574E-17	
	$\sin \alpha$	1.00	
Bredde, evt minste bredde mellom strekk- og trykkgurt (bjelker med steg)	b_w	1 000 mm	

Innvendig momentarm for en konstruksjonsdel med konstant høyde, beregnet for bøyemomentet i den aktuelle konstruksjonsdelen. Ved skjærkraftdimensjonering av armert betong uten aksialkraft kan vanligvis den tilnærmete verdien $z = 0,9 d$ brukes

$z = 0.90 d = 353 \text{ mm}$ (6.2.3(1))

Skjærarmeringens karakteristiske flytespenning:	$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$	$y_s = 1.15$	
Skjærarmeringens tverrsnittsareal pr snitt/nål	$a_w = 16 \text{ mm}$	$A_{sw} = 670 \text{ mm}^2$	
Senteravstand mellom bøyer/nåler parallelt med spennretning		$s_x = 150 \text{ mm}$	
Skjærarmeringens effektive dimensjonerende flytegrense:	$f_{ywd} = \text{MIN}[250 + 0,25d ; f_{sk}/y_s]$	348 N/mm^2	6.4.5
Fasthetsreduksjonsfaktor for betong opprisset pga skjærkraft v_1 kan settes lik v	$v_1 = 0.492$		NA.6.2.3(3)+(NA.6.6N)
Koeffisient som tar hensyn til spenningstilstanden i trykkgurten ($\alpha_{cw} = 1$ for ikke forspente konstruksjoner)	$\alpha_{cw} = 1.0$		NA.6.2.3(3)

For konstruksjonsdeler med vertikal skjærarmering:

$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$:			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$	$V_{Rd,s}$	549 kN evt kN/m	(6.8)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}/(\cot \theta + \tan \theta)$	$V_{Rd,max}$	2 216 kN evt kN/m	(6.9)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skjærarmering	V_{Rd}	549 kN evt kN/m	

For konstruksjonsdeler med skrå skjærarmering:

$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \tan \theta) \cdot \sin \theta$	$V_{Rd,s}$	UAKTUELL kN evt. kN/m	(6.13)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)/(1 + \cot 2\alpha)$	$V_{Rd,max}$	UAKTUELL kN evt. kN/m	(6.14)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skrå skjærarmering	V_{Rd}	UAKTUELL kN evt. kN/m	

Sign.	Dato	Prosjekt	Side
Eko	30.11.2017	Klimagasreduksjon i betongkonstruksjoner	Prosjekt.nr.
Ktr.	Dato		
DB	30.11.2017	Skjærkapasitet 10 meter T450	5176077

1. Skjærkraftkapasitet i konstruksjonsdeler uten beregningsmessig behov for skjærarmering

iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4

Sjekk først om konstruksjonsdelen har tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarmering. Dersom ikke tilstrekkelig, må legges inn skjærarmering - gå til pkt. 2.

Betongens fasthetsklasse		B45	NA.3.1.2(2)
Betongens karakteristiske sylindertrykkfasthet	f_{ck}	45 N/mm ²	
Partialfaktor for betong	γ_c	1.5	
Koeffisient for langtidslast-trykkfasthet/lastpåføring	α_{cc}	0.85	NA.3.1.6(1)P
Betongens dimensjonerende trykkfasthet	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	25.50 N/mm ²	
Tverrsnittstykkelse konstruksjonsdel	t	724 mm	
Minimum bredde av tverrsnittet i strekksone	b_w	1 000 mm	
Antatt diameter lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_1	20 mm	
Evt antatt diameter tversgående lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_2	0 mm	
Overdekning	o	75 mm	
	$d = t - o - (\phi_1 + \phi_2) / 2$	639 mm	

Evt gunstig bidrag fra aksialkraft fra forspenning i tverrsnittet

Aksialkraft i tverrsnittet fra laster og forspenning (Trykk = pos. tall)	N_{Ed}	1 731 000 N
Areal av betongtverrsnittet	A_c	724 000 mm ²

Valgt lengdearmering A_{sl} 4 186 mm² evt. mm²/m

A_{sl} er tverrsnittsarealet av strekkarmeringen med en forankringslengde $\geq (l_{bd} + d)$ forbi det betraktete snittet

Armeringsforhold for lengdearmeringen $\rho_1 = A_{sl} / b_w d \leq 0,02$ ρ_1 0.0066 [dim.løs] (6.2.b)

Faktorer kfr. NA.6.2.2

k_1 lik 0,15 ved trykk i tverrsnittet. Lik 0,3 ved strekk k_1 0.15 NA.6.2.2(1)

k_2 større enn 0,15 krever spesiell dokumentasjon av tilslaget. k_2 0.18 NA.6.2.2(1)

$C_{Rd,c} = k_2 / \gamma_c$ $C_{Rd,c}$ 0.12 [dim.løs] NA.6.2.2(1)

Max verdi av f_{ck} for formel (6.2.a) og (6.3N). $f_{ck,max} = \min [f_{ck}; 65N/mm^2]$ $f_{ck,max}$ 45 N/mm² NA.6.2.2(1)

$k = 1 + ((200/d))^{1/2} \leq 2,0$ k 1.56 [dim.løs] (6.2.b)

Evt. gunstig aksialspenning σ_{cp} 2.390883978 N/mm²

Minimumsverdi skjærfaktor $v_{min} = 0,035 \cdot k^a \cdot f_{ck,max}^{1/2}$, a = 1,5 v_{min} 0.46 [dim.løs] (NA.6.3N)

Minimum skjærkapasitet $V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w d$ $V_{Rd,c,min}$ 521 kN evt. kN/m

Dim. skjærkraftkapasitet uten skjærarmering: $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck,max})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$ 599 kN (kN/m, ved b=1m) (6.2.a)

Tilsvarer dimensjonerende skjærspenning uten skjærarmering lik: $v_{Rd,c} = V_{Rd,c} / b_w d =$ 0.937 N/mm² (6.47)

$V_{Rd,c}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft i en avstand fra opplegg lik:

For konstruksjonsdeler hovedsaklig påvirket av jevnt fordelt belastning:

$x = 1 d =$ 639.0 mm 6.2.1(8)

For plater påvirket av konsentrerte laster mindre enn 2 d fra opplegg/mottrykk:

$x = 1.5 d =$ 958.5 mm 6.4.2(2)

Typisk for plater påvirket av konsentrerte laster (typ. gjennomlokking):

$x = 2 d =$ 1278.0 mm 6.4.2(1)

Max dimensjonerende skjærkraftkapasitet uten skjærarmering

v = 0.492 (NA.6.6N)

$V_{Rd,max,1} = 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd}$

= 4 008 kN (kN/m, ved b=1m) 6.2.2(6)

$V_{Rd,max,2} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot V_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$

= 3 608 kN (kN/m, ved b=1m) 6.2.1(8)+(6.9)

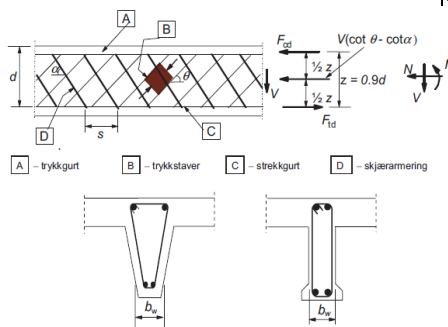
$V_{Rd,c,max}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft ved kant av opplegg.

Sign.	Dato	Prosjekt	Side
Eko	30.11.2017	Klimagasreduksjon i betongkonstruksjoner	Prosjekt.nr.
Ktr.	Dato	Skjærkapasitet 10 meter T450	5176077
DB	30.11.2017		

2. Konstruksjonsdeler med beregningsmessig behov for skjærarmering iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4

Dersom det iht. pkt. 1 ikke er tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarmering, legges her inn skjærarmering.

Utsnitt av figur 6.5 under pkt. 6.2.3



Figur 6.5 – Fagverksmodell og betegnelser for skjærarmerte konstruksjonsdeler

Vinkel mellom skjærarmering og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften (positiv retning som vist på figur 6.5)	α	90 grader	90 grader er vanlig
Vinkel mellom betongtrykkstaven og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften ($1 \leq \cot \theta \leq \theta_{max}$)	θ	45 grader	45 grader er vanlig
$\theta_{max,a} = 2.5$ (typ.)	$\tan \theta$	1.00 [dim.løs]	
$\theta_{max,b} = 1.25$ dersom $\sigma_t \geq f_{ctk,0,005}$	$\cot \theta$	1.00 [dim.løs]	Gyldig θ -verdi
$\sigma_t = N_{Ed}/A_c =$ Uaktuell N/mm^2 (strekk er pos. tall)	$\tan \alpha$	1.63246E+16	
$\theta_{max} = 2.50$	$\cot \alpha$	6.12574E-17	
	$\sin \alpha$	1.00	
Bredde, evt minste bredde mellom strekk- og trykkgurt (bjelker med steg)	b_w	1 000 mm	
Innvendig momentarm for en konstruksjonsdel med konstant høyde, beregnet for bøyemomentet i den aktuelle konstruksjonsdelen. Ved skjærkraftdimensjonering av armert betong uten aksialkraft kan vanligvis den tilnærmete verdien $z = 0,9 d$ brukes	$z =$	0.90 d = 575 mm	6.2.3(1)
Skjærarmeringens karakteristiske flytespenning:	$f_{sk} =$	500 N/mm ²	$y_s =$ 1.15
Skjærarmeringens tverrsnittsareal pr snitt/nål	$a_w =$	16 mm	$A_{sw} =$ 670 mm ²
Senteravstand mellom bøylere/nåler parallelt med spennretning	$s_x =$	150 mm	
Skjærarmeringens effektive dimensjonerende flytegrense:	$f_{ywd} = \text{MIN}[250 + 0,25d ; f_{sk}/y_s]$	378 N/mm ²	6.4.5
Fasthetsreduksjonsfaktor for betong opprisset pga skjærkraft v_1 kan settes lik v	$v_1 =$	0.492	NA.6.2.3(3)+(NA.6.6N)
Koeffisient som tar hensyn til spenningstilstanden i trykkgurten ($\alpha_{cw} = 1$ for ikke forspente konstruksjoner)	$\alpha_{cw} =$	1.0	NA.6.2.3(3)

For konstruksjonsdeler med vertikal skjærarmering:

$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$:			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$	$V_{Rd,s}$	971 kN evt kN/m	(6.8)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}/(\cot \theta + \tan \theta)$	$V_{Rd,max}$	3 608 kN evt kN/m	(6.9)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skjærarmering	V_{Rd}	971 kN evt kN/m	

For konstruksjonsdeler med skrå skjærarmering:

$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \tan \theta) \cdot \sin \theta$	$V_{Rd,s}$	UAKTUELL kN evt. kN/m	(6.13)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)/(1 + \cot 2\alpha)$	$V_{Rd,max}$	UAKTUELL kN evt. kN/m	(6.14)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skrå skjærarmering	V_{Rd}	UAKTUELL kN evt. kN/m	

Sign.	Dato	Prosjekt	Side
Eko	30.11.2017	Klimagasreduksjon i betongkonstruksjoner	Prosjekt.nr.
Ktr.	Dato		
DB	30.11.2017	Skjærkapasitet 10 meter T450	5176077

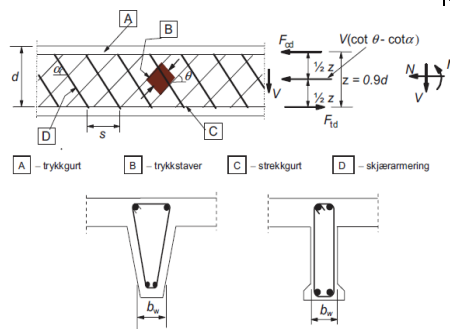
1. Skjærkraftkapasitet i konstruksjonsdeler uten beregningsmessig behov for skjærarmering iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4			Ref.
Sjekk først om konstruksjonsdelen har tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarmering. Dersom ikke tilstrekkelig, må legges inn skjærarmering - gå til pkt. 2.			
Betongens fasthetsklasse		B45	NA.3.1.2(2)
Betongens karakteristiske sylindertykkfasthet	f_{ck}	45 N/mm ²	
Partialfaktor for betong	γ_c	1.5	
Koeffisient for langtidslast-trykkfasthet/lastpåføring	α_{cc}	0.85	NA.3.1.6(1)P
Betongens dimensjonerende trykkfasthet	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	25.50 N/mm ²	
Tverrsnittstykkelse konstruksjonsdel	t	480 mm	
Minimum bredde av tverrsnittet i strekksone	b_w	1 000 mm	
Antatt diameter lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_1	20 mm	
Evt antatt diameter tversgående lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_2	0 mm	
Overdekning	o	75 mm	
	$d = t - o - (\phi_1 + \phi_2) / 2$	395 mm	
Evt gunstig bidrag fra aksialkraft fra forspenning i tverrsnittet			
Aksialkraft i tverrsnittet fra laster og forspenning (Trykk = pos. tall)	N_{Ed}	1 750 000 N	
Areal av betongtverrsnittet	A_c	480 000 mm ²	
Valgt lengdearmering	A_{sl}	4 186 mm ² evt. mm ² /m	
A_{sl} er tverrsnittsarealet av strekkarmeringen med en forankringslengde $\geq (l_{bd} + d)$ forbi det betraktete snittet			
Armeringsforhold for lengdearmeringen $\rho_1 = A_{sl} / b_w d \leq 0,02$	ρ_1	0.0106 [dim.løs]	(6.2.b)
Faktorer kfr. NA.6.2.2			
k_1 lik 0,15 ved trykk i tverrsnittet. Lik 0,3 ved strekk	k_1	0.15	NA.6.2.2(1)
k_2 større enn 0,15 krever spesiell dokumentasjon av tilslaget.	k_2	0.18	NA.6.2.2(1)
$C_{Rd,c} = k_2 / \gamma_c$	$C_{Rd,c}$	0.12 [dim.løs]	NA.6.2.2(1)
Max verdi av f_{ck} for formel (6.2.a) og (6.3N). $f_{ck,max} = \min [f_{ck}; 65N/mm^2]$	$f_{ck,max}$	45 N/mm ²	NA.6.2.2(1)
$k = 1 + ((200/d))^{1/2} \leq 2,0$	k	1.71 [dim.løs]	(6.2.b)
Evt. gunstig aksialspenning	σ_{cp}	3.645833333 N/mm ²	
Minimumsverdi skjærfaktor $v_{min} = 0,035 \cdot k^a \cdot f_{ck,max}^{1/2}$, $a = 1,5$	v_{min}	0.53 [dim.løs]	(NA.6.3N)
Minimum skjærkapasitet $V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w d$	$V_{Rd,c,min}$	424 kN evt. kN/m	
Dim. skjærkraftkapasitet uten skjærarmering:	$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck,max})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	510 kN (kN/m, ved b=1m)	(6.2.a)
Tilsvarer dimensjonerende skjærspenning uten skjærarmering lik:	$v_{Rd,c} = V_{Rd,c} / b_w d =$	1.292 N/mm²	(6.47)
$V_{Rd,c}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft i en avstand fra opplegg lik:			
For konstruksjonsdeler hovedsaklig påvirket av jevnt fordelt belastning:	$x = 1 d =$	395.0 mm	6.2.1(8)
For plater påvirket av konsentrerte laster mindre enn 2 d fra opplegg/mottrykk:	$x = 1.5 d =$	592.5 mm	6.4.2(2)
Typisk for plater påvirket av konsentrerte laster (typ. gjennomlokking):	$x = 2 d =$	790.0 mm	6.4.2(1)
Max dimensjonerende skjærkraftkapasitet uten skjærarmering	$v =$	0.492	(NA.6.6N)
$V_{Rd,max,1} = 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd}$	$=$	2 478 kN (kN/m, ved b=1m)	6.2.2(6)
$V_{Rd,max,2} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$	$=$	2 230 kN (kN/m, ved b=1m)	6.2.1(8)+(6.9)
$V_{Rd,c,max}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft ved kant av opplegg.			

Sign.	Dato	Prosjekt	Side
Eko	30.11.2017	Klimagasreduksjon i betongkonstruksjoner	Prosjekt.nr.
Ktr.	Dato	Skjærkapasitet 10 meter T450	5176077
DB	30.11.2017		

2. Konstruksjonsdeler med beregningsmessig behov for skjærarmering iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4

Dersom det iht. pkt. 1 ikke er tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarmering, legges her inn skjærarmering.

Utsnitt av figur 6.5 under pkt. 6.2.3



Figur 6.5 – Fagverksmodell og betegnelser for skjærarmerte konstruksjonsdeler

Vinkel mellom skjærarmering og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften (positiv retning som vist på figur 6.5)	α	90 grader	90 grader er vanlig
Vinkel mellom betongtrykkstaven og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften ($1 \leq \cot \theta \leq \theta_{max}$)	θ	45 grader	45 grader er vanlig
$\theta_{max,a} = 2.5$ (typ.)	$\tan \theta$	1.00	[dim.løs]
$\theta_{max,b} = 1.25$ dersom $\sigma_t \geq f_{ctk,0,005}$	$\cot \theta$	1.00	[dim.løs]
$\sigma_t = N_{Ed}/A_c =$ Uaktuell N/mm^2 (strekk er pos. tall)	$\tan \alpha$	1.63246E+16	
$\theta_{max} = 2.50$	$\cot \alpha$	6.12574E-17	Gyldig θ -verdi
Bredde, evt minste bredde mellom strekk- og trykkgurt (bjelker med steg)	b_w	1 000 mm	

Innvendig momentarm for en konstruksjonsdel med konstant høyde, beregnet for bøyemomentet i den aktuelle konstruksjonsdelen. Ved skjærkraftdimensjonering av armert betong uten aksialkraft kan vanligvis den tilnærmete verdien $z = 0,9 d$ brukes

$z = 0.90 d = 356 \text{ mm}$ (6.2.3(1))

Skjærarmeringens karakteristiske flytespenning:	$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$	$y_s = 1.15$	
Skjærarmeringens tverrsnittsareal pr snitt/nål	$a_w = 16 \text{ mm}$	$A_{sw} = 1339 \text{ mm}^2$	
Senteravstand mellom bøyer/nåler parallelt med spennretning	$s_x = 150 \text{ mm}$		
Skjærarmeringens effektive dimensjonerende flytegrense:	$f_{ywd} = \text{MIN}[250 + 0,25d ; f_{sk}/y_s]$	349 N/mm^2	6.4.5
Fasthetsreduksjonsfaktor for betong opprisset pga skjærkraft v_1 kan settes lik v	$v_1 = 0.492$		NA.6.2.3(3)+(NA.6.6N)
Koeffisient som tar hensyn til spenningstilstanden i trykkgurten ($\alpha_{cw} = 1$ for ikke forspente konstruksjoner)	$\alpha_{cw} = 1.0$		NA.6.2.3(3)

For konstruksjonsdeler med vertikal skjærarmering:

$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$:			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$	$V_{Rd,s}$	1 107 kN evt kN/m	(6.8)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}/(\cot \theta + \tan \theta)$	$V_{Rd,max}$	2 230 kN evt kN/m	(6.9)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skjærarmering	V_{Rd}	1 107 kN evt kN/m	

For konstruksjonsdeler med skrå skjærarmering:

$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \tan \theta) \cdot \sin \theta$	$V_{Rd,s}$	UAKTUELL kN evt. kN/m	(6.13)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)/(1 + \cot 2\alpha)$	$V_{Rd,max}$	UAKTUELL kN evt. kN/m	(6.14)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skrå skjærarmering	V_{Rd}	UAKTUELL kN evt. kN/m	

Sign.	Dato	Prosjekt	Side
Eko	30.11.2017	Klimagasreduksjon i betongkonstruksjoner	Prosjekt.nr.
Ktr.	Dato		
DB	30.11.2017	Skjærkapasitet 10 meter T450	5176077

1. Skjærkraftkapasitet i konstruksjonsdeler uten beregningsmessig behov for skjærarmering

iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4

Sjekk først om konstruksjonsdelen har tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarmering. Dersom ikke tilstrekkelig, må legges inn skjærarmering - gå til pkt. 2.

Betongens fasthetsklasse		B45	NA.3.1.2(2)
Betongens karakteristiske sylindertykkfasthet	f_{ck}	45 N/mm ²	
Partialfaktor for betong	γ_c	1.5	
Koeffisient for langtidslast-trykkfasthet/lastpåføring	α_{cc}	0.85	NA.3.1.6(1)P
Betongens dimensjonerende trykkfasthet	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	25.50 N/mm ²	
Tverrsnittstykkelse konstruksjonsdel	t	730 mm	
Minimum bredde av tverrsnittet i strekksone	b_w	1 000 mm	
Antatt diameter lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_1	20 mm	
Evt antatt diameter tversgående lengdearmering (for utregning av d)	ϕ_2	0 mm	
Overdekning	o	75 mm	
	$d = t - o - (\phi_1 + \phi_2) / 2$	645 mm	

Evt gunstig bidrag fra aksialkraft fra forspenning i tverrsnittet

Aksialkraft i tverrsnittet fra laster og forspenning (Trykk = pos. tall)	N_{Ed}	1 750 000 N
Areal av betongtverrsnittet	A_c	730 000 mm ²

Valgt lengdearmering $A_{s,l}$ 4 186 mm² evt. mm²/m

$A_{s,l}$ er tverrsnittsarealet av strekkarmeringen med en forankringslengde $\geq (l_{bd} + d)$ forbi det betraktete snittet

Armeringsforhold for lengdearmeringen $\rho_1 = A_{s,l} / b_w d \leq 0,02$ ρ_1 0.0065 [dim.løs] (6.2.b)

Faktorer kfr. NA.6.2.2

k_1 lik 0,15 ved trykk i tverrsnittet. Lik 0,3 ved strekk k_1 0.15 NA.6.2.2(1)

k_2 større enn 0,15 krever spesiell dokumentasjon av tilslaget. k_2 0.18 NA.6.2.2(1)

$C_{Rd,c} = k_2 / \gamma_c$ $C_{Rd,c}$ 0.12 [dim.løs] NA.6.2.2(1)

Max verdi av f_{ck} for formel (6.2.a) og (6.3N). $f_{ck,max} = \min [f_{ck}; 65 \text{ N/mm}^2]$ $f_{ck,max}$ 45 N/mm² NA.6.2.2(1)

$k = 1 + ((200/d))^{1/2} \leq 2,0$ k 1.56 [dim.løs] (6.2.b)

Evt. gunstig aksialspenning σ_{cp} 2.397260274 N/mm²

Minimumsverdi skjærfaktor $v_{min} = 0,035 \cdot k^a \cdot f_{ck,max}^{1/2}$, a = 1,5 v_{min} 0.46 [dim.løs] (NA.6.3N)

Minimum skjærkapasitet $V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w d$ $V_{Rd,c,min}$ 526 kN evt. kN/m

Dim. skjærkraftkapasitet uten skjærarmering: $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck,max})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$ 603 kN (kN/m, ved b=1m) (6.2.a)

Tilsvarer dimensjonerende skjærspenning uten skjærarmering lik: $v_{Rd,c} = V_{Rd,c} / b_w d =$ 0.935 N/mm² (6.47)

$V_{Rd,c}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft i en avstand fra opplegg lik:

For konstruksjonsdeler hovedsaklig påvirket av jevnt fordelt belastning:

$x = 1 d =$ 645.0 mm 6.2.1(8)

For plater påvirket av konsentrerte laster mindre enn 2 d fra opplegg/mottrykk:

$x = 1.5 d =$ 967.5 mm 6.4.2(2)

Typisk for plater påvirket av konsentrerte laster (typ. gjennomlokking):

$x = 2 d =$ 1290.0 mm 6.4.2(1)

Max dimensjonerende skjærkraftkapasitet uten skjærarmering

$v =$ 0.492 (NA.6.6N)

$V_{Rd,max,1} = 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd}$

$=$ 4 046 kN (kN/m, ved b=1m) 6.2.2(6)

$V_{Rd,max,2} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$

$=$ 3 641 kN (kN/m, ved b=1m) 6.2.1(8)+(6.9)

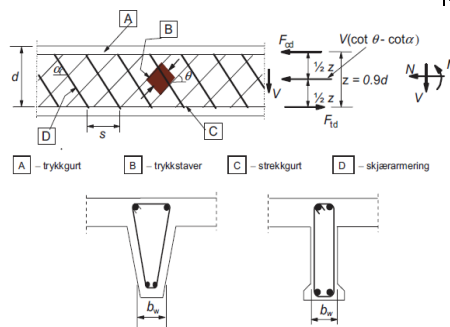
$V_{Rd,c,max}$ kontrolleres mot opptredende skjærkraft ved kant av opplegg.

Sign.	Dato	Prosjekt	Side
Eko	30.11.2017	Klimagasreduksjon i betongkonstruksjoner	Prosjekt.nr.
Ktr.	Dato	Skjærkapasitet 10 meter T450	5176077
DB	30.11.2017		

2. Konstruksjonsdeler med beregningsmessig behov for skjærarming iht NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 pkt. 6.2 og 6.4

Dersom det iht. pkt. 1 ikke er tilstrekkelig skjærkraftkapasitet uten skjærarming, legges her inn skjærarming.

Utsnitt av figur 6.5 under pkt. 6.2.3



Figur 6.5 – Fagverksmodell og betegnelser for skjærarmete konstruksjonsdeler

Vinkel mellom skjærarming og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften (positiv retning som vist på figur 6.5)	α	90 grader	90 grader er vanlig
Vinkel mellom betongtrykkstaven og bjelkeaksen vinkelrett på skjærkraften ($1 \leq \cot \theta \leq \theta_{max}$)	θ	45 grader	45 grader er vanlig
$\theta_{max,a} = 2.5$ (typ.)	$\tan \theta$	1.00	[dim.løs]
$\theta_{max,b} = 1.25$ dersom $\sigma_t \geq f_{ctk,0,005}$	$\cot \theta$	1.00	[dim.løs]
$\sigma_t = N_{Ed}/A_c =$ Uaktuell N/mm^2 (strekke er pos. tall)	$\tan \alpha$	1.63246E+16	
$\theta_{max} = 2.50$	$\cot \alpha$	6.12574E-17	Gyldig θ -verdi
Bredde, evt minste bredde mellom strekk- og trykkgurt (bjelker med steg)	b_w	1 000 mm	

Innvendig momentarm for en konstruksjonsdel med konstant høyde, beregnet for bøyemomentet i den aktuelle konstruksjonsdelen. Ved skjærkraftdimensjonering av armert betong uten aksialkraft kan vanligvis den tilnærmete verdien $z = 0,9 d$ brukes

$z = 0.90 d = 581 \text{ mm}$ (6.2.3(1))

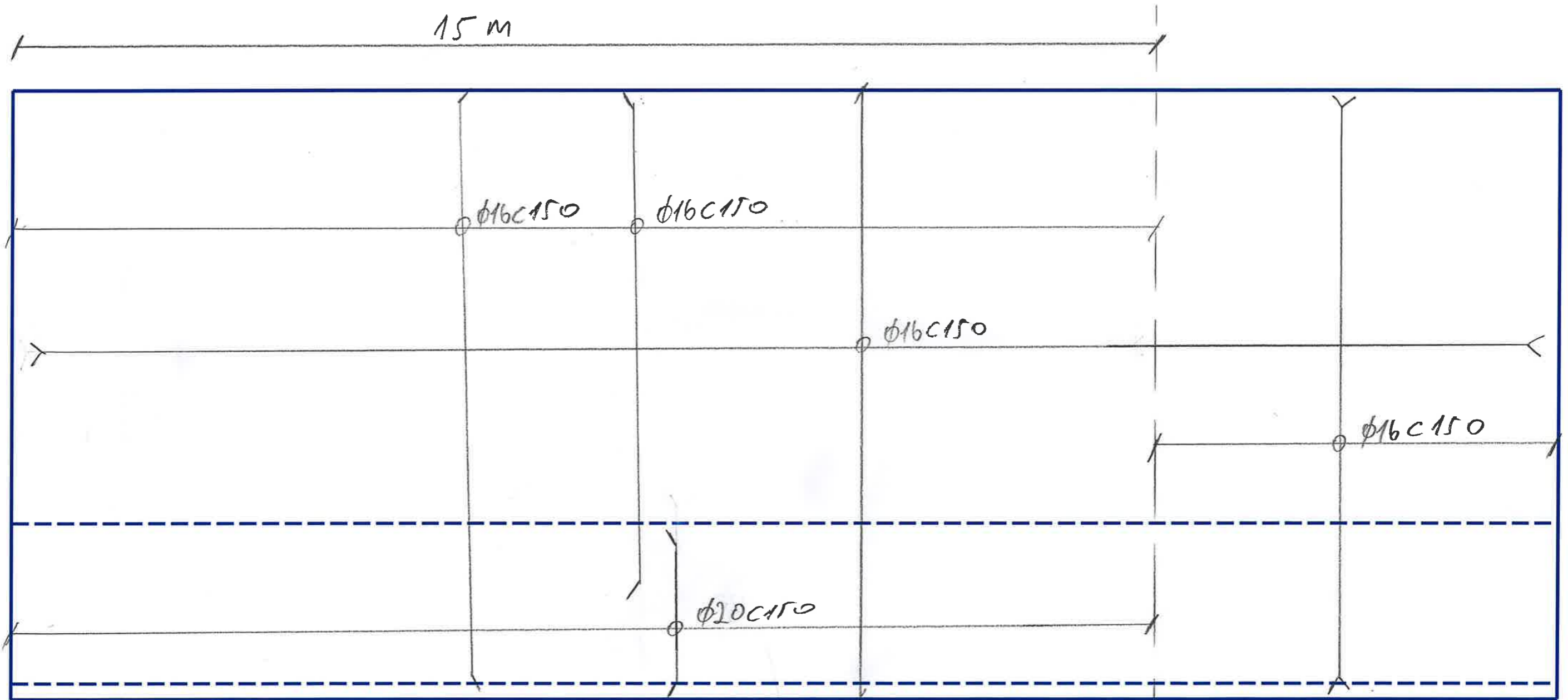
Skjærarmingens karakteristiske flytespenning:	$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$	$y_s = 1.15$	
Skjærarmingens tverrsnittsareal pr snitt/nål	$a_w = 16 \text{ mm}$	$A_{sw} = 670 \text{ mm}^2$	
Senteravstand mellom bøylere/nåler parallelt med spennretning	$s_x = 150 \text{ mm}$		
Skjærarmingens effektive dimensjonerende flytegrense:	$f_{ywd} = \text{MIN}[250 + 0,25d ; f_{sk}/y_s]$	378 N/mm^2	6.4.5
Fasthetsreduksjonsfaktor for betong opprisset pga skjærkraft v_1 kan settes lik v	$v_1 = 0.492$		NA.6.2.3(3)+(NA.6.6N)
Koeffisient som tar hensyn til spenningstilstanden i trykkgurten ($\alpha_{cw} = 1$ for ikke forspente konstruksjoner)	$\alpha_{cw} = 1.0$		NA.6.2.3(3)

For konstruksjonsdeler med vertikal skjærarming:

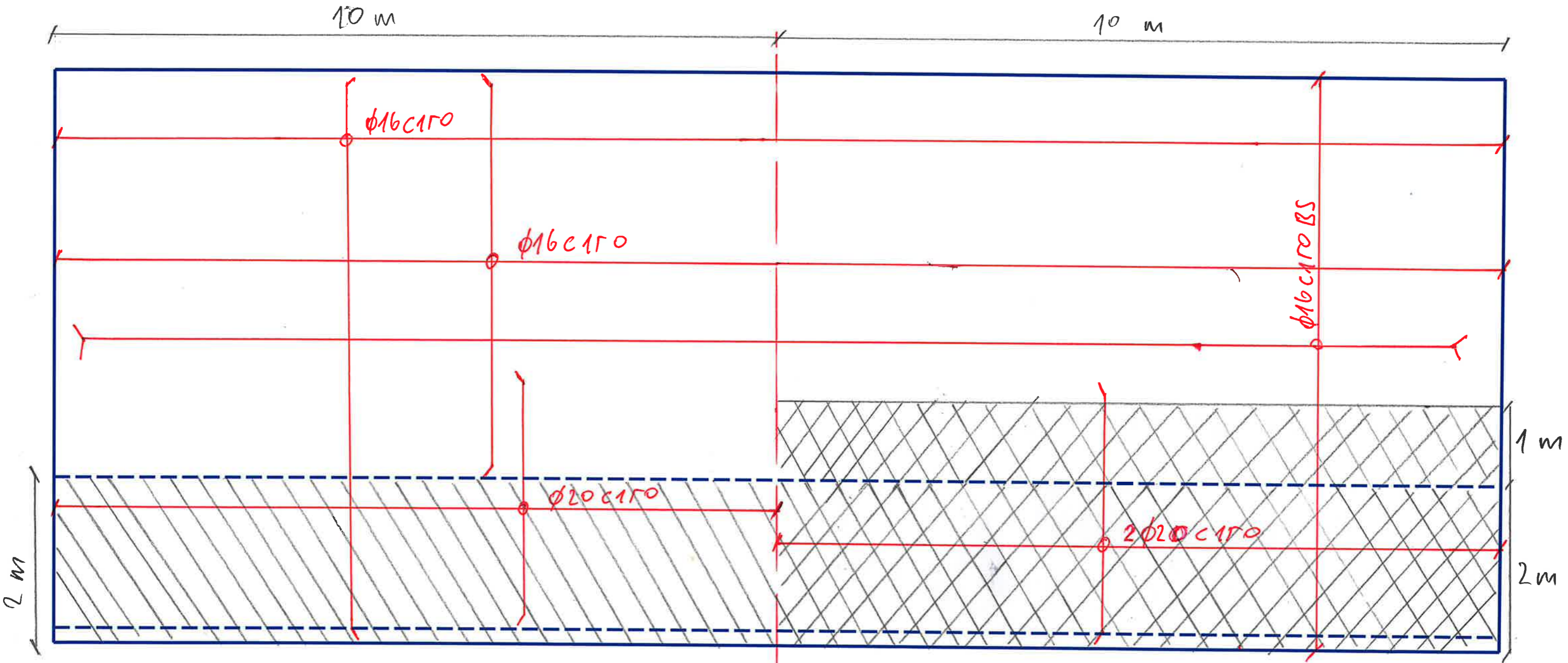
$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$:			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$	$V_{Rd,s} = 980 \text{ kN evt kN/m}$		(6.8)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}/(\cot \theta + \tan \theta)$	$V_{Rd,max} = 3\ 641 \text{ kN evt kN/m}$		(6.9)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skjærarming	$V_{Rd} = 980 \text{ kN evt kN/m}$		

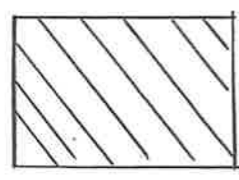
For konstruksjonsdeler med skrå skjærarming:

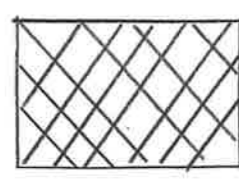
$V_{Rd} =$ den minste av $V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max}$:			
$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \tan \theta) \cdot \sin \theta$	$V_{Rd,s} = \text{UAKTUELL}$	kN evt. kN/m	(6.13)
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)/(1 + \cot 2\alpha)$	$V_{Rd,max} = \text{UAKTUELL}$	kN evt. kN/m	(6.14)
Skjærkraftkapasitet med innlagt skrå skjærarming	$V_{Rd} = \text{UAKTUELL}$	kN evt. kN/m	



#50 mm - manuell



 - $\phi 16 c 300 c 150$

 - $\phi 16 c 170 c 150$



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen