

BACHELOROPPGAVE:

Erstatning av to gamle bruer med en ny bru

Erstatning av Fiskum Bro i Øvre Eiker Kommune med en ny bru som skal ta hensyn til effekt av vannføring, stedets identitet i forhold til universell utforming, kjørehastigheten, belastningen i tilfellet ved stengt E134, materialvalget for miljø og økonomi, og vedlikehold

FORFATTERE: Aras Majid Rahim

Celal Ceyhan

DATO: 18. Mai 2016

Forord

Denne bacheloroppgaven skrives ved avdeling for teknologi, økonomi og ledelse (TØL) ved NTNU våren 2016. Oppdragsgiveren er Statens vegvesen, region sør.

Bacheloroppgaven utgjør de siste 20 studiepoengene ved bachelorprogrammet i byggingeniør. Arbeidet er utført fra januar 2016 til mai 2016.

Vi takker mye våre veiledere, Leif Erik Storm og Tom Hedalen for deres hjelp. Samt vil vi takke Eskild Narum Bakken og Terje Bokalrud fra NTNU, Bent Ek fra Øvre Eiker kommune, de personene som har gitt oss opplysninger om flommen i Fiskum, våre venner og familier for deres motivasjon og hjelp.

Sammendrag

Titel:	Erstatning av to gamle bruer med en ny bru	Dato: 18.05.2016
Deltagere:	Aras Majid Rahim (120443) Celal Ceyhan (130661)	
Veiledere:	Leif Erik Storm (NTNU) Tom Hedalen (Statens vegvesen) Mobil: +4790959433 e-post/Lync: tom.hedalen@vegvesen.no	
Oppdragsgiver:	Staten vegvesen Region sør, Arendal	
Stikkord/nøkkelord:	ÅDT, flom, fartsdempende tiltak, kulturminne, Ansys	
Antall sider/ord: 107/15937	Antall vedlegg: 10	Publiseringsavtale inngått: Ikke enda

Kort beskrivelse av bacheloroppgaven:

Oppgaven er om erstatning av Fiskum Bro i Øvre Eiker Kommune med en ny bru som skal ta hensyn til effekt av vannføring, stedets identitet i forhold til universell utforming/kulturminne, kjørehastigheten, belastningen i tilfellet ved stengt E134, materialvalget for miljø og økonomi, og vedlikehold. Mange parametere som ADT, fartsgrense, 200 år flomverdier, veitype påvirkte dimensjonene av broen. Belastning på broen har blitt funnet og simulert ved hjelp av ANSYS på 50 cm og 60 cm tykkelse betong- og stålplater.

Resultatene viste at begge oppfyller kravene. Det ble rådet til å velge betong dekke.

Abstract

Title:	Replacement of two old bridges with a new one	Dato: 18.05.2016
Participants:	Aras Majid Rahim (120443) Celal Ceyhan (130661)	
Supervisors:	Leif Erik Storm (NTNU) Tom Hedalen (Statens vegvesen) Mobil: +4790959433 e-post/Lync: tom.hedalen@vegvesen.no	
Employer:	Norwegian Public Roads Administration, Region South, Arendal	
Key words:	ÅDT, flood, speed-reducing prevention, cultural heritage, Ansys	
Number of pages/words: 107 /15937	Number of appendix: 10	Availability (open/confidential): Open
<p><i>Short description of the bachelor thesis:</i></p> <p>The thesis is about replacement of two old bridges with a new one which will take into account the effect of flood, its identity according to universal design and cultural heritage, speed limit of the vehicles, the extra load in case of closed E134, the material choice for the environment and economy as well as maintenance. Many parameters such as ÅDT, speed limit, 200 years flood values, type of road affect the dimensions of the bridge. Loads on the bridge has been found and simulated by using ANSYS on 50 cm and 60 cm thickness concrete and steel plates. The results showed that both of them fulfill the requirements. It was advised to choose concrete.</p>		

Figurliste

Figurnummer	Forklaring
Figur1.1.1	Fiskum ligger i grønne omgivelser, og er med sin nærhet til Konsberg og Drammen et attraktivt sted å bo
Figur 1.1.2	Eksisterende gangbru er for small til at den kan brøytes.
Figur 1.1.3	En skisse som viser fremtidige planer i Fiskum: grønn parkeringsplass, ny butikk, stiene langs elva, hvileplass, veg heves, veglinje justeres.
Figur1.2.1	E-posten fra Bent Ek – Øvre Eiker kommune.
Figur 1.2.2	Smedrua og Fiskum bro.
Figur 1.2.3	Fiskum bro.
Figur 3.1.1	Tverrsnitt, tangentialsnitt og radialsnitt i en trestamme.
Figur 3.1.2	Forholdet melom densitet og mekaniske egenskaper.
Figur 3.1.3	Skjematisk fremstilling for limtreproduksjon.
Figur 3.1.4	Oppbygging av kombinert limtre.
Figur 3.1.5	Betydningen av bygningsmessige ytelser i forhold til brannutvikling.
Figur 3.1.6	Forkullingsprosessen.
Figur 3.1.7	Utviklingen av de mekaniske egenskapene til noen bygningsmaterialer når de utsettes for en standard brann.
Figur 3.1.8	Arbeidsdiagram for stål.
Figur 3.1.9	Et eksempel for stålklasser.
Figur 3.1.10	Forenklet korrosjonsmodell.
Figur 3.1.11	Karbonatisering over tid i armert betong.
Figur 3.1.12	Kloridinntrenging med påfølgende armeringskorrosjon.
Figur 3.1.13	Omtrentlig volumfordeling av delmaterialene i betong.
Figur 3.2.1	Smedbrua- opprinnelige form.
Figur 3.2.2	Smedbrua (Fiskum Bro)- nåværende form.
Figur 3.2.3	Den andre smedbrua- nåværende form.
Figur 3.2.4	Mulige geometriske former for bruene.

Figur 3.3.1	Illustrasjon for trykkrefter på en dam.
Figur 3.3.2	Illustrasjon av kontinuitetsprinsippet.
Figur 3.3.3	Illustrasjon av kontinuitetsprinsippet i en strømning med fritt vannspeil.
Figur 3.4.1	Typisk Bathtub kurve.
Figur 3.4.2	Vedlikehold klassifisering.
Figur 3.4.3	Prissammenligning mellom plasstøpt betong og prefabrikkert betong.
Figur 3.4.4	Kostnadkurve og tidsbesparelse prefabrikat kontra plassbygd.
Figur 4.1.1	ÅDT ved stengt E134, situasjon 1.
Figur 4.1.2	ÅDT ved stengt E134, situasjon 2.
Figur 4.1.3	ÅDT ved stengt E134, situasjon 3.
Figur 4.1.4	Tverrprofil H1- 8,5 m vegbredde og ÅDT 4000 -12 000 (mål i m).
Figur 4.1.5	Tverrprofil for gang- og sykkelveg (mål i m).
Figur 4.1.6	Vannmengde for Fiskum fra 01.01.1977 til 31.12.2015, målt hver dag kl. 12:00.
Figur 4.1.7	Vannmengde for Fiskum fra 01.01.1980 til 31.12.2015, målt hver time.
Figur 4.1.8	Skisse for å finne nåværende minste tverrsnitt areal av bruene.
Figur 4.1.9	Sammenheng mellom gjennomsnitt vannhastighet og vannmengde for et gitt tverrsnitt for Stillwater elven i nærheten Absarokee, Montana.
Figur 4.1.10	Sammenheng mellom gjennomsnitt vannhastighet og vannmengde for noen elver i USA.
Figur 4.1.11	Vannmengde og vannstand for Fiskum fra 02.03.2016 til 29.04.2016, målt hver dag kl. 12:00 og vannhastighet antatt ved gjennomsnitt lengde på 9 m.
Figur 4.1.12	Fiskum målestasjon, bro 1, bro 2, bro 3 og Fiskum Bro med tilsvarende nåværende arealer og flom informasjon.
Figur 4.1.13	Avstander og høydeprofil fra målestasjonen til bro 2.
Figur 4.1.14	Avstander og høydeprofil fra målestasjonen til bro 3.
Figur 4.1.15	Avstander og høydeprofil fra målestasjonen til Fiskum Bro.
Figur 4.1.16	Bro 2, bro 3 og Fiskum Bro.
Figur 4.1.15	Kulminasjonsvannføringer ved ulike gjentakintervall for Ranaelva ved Reinfossen og Fiskum elva.
Figur 4.1.17	Vannmengde og vannstand for Fiskum fra 02.03.2016 til 29.04.2016, målt hver dag kl. 12:00 og vannhastighet antatt gjennomsnitt lengde på 9 m.

Figur 4.1.18	Tverrprofil for den nye Fiskum Broen med dimensjonerende arealer og lengder.
Figur 4.2.1	Fiskum Bro ved flom opplysninger og plassering av fremtidige støttemur.
Figur 4.2.2	Fiskum Bro ved flom opplysninger og plassering av fremtidige støttemur.
Figur 4.3.1	Ilustrasjoner som viser fremtidige fartsdempende tiltak i Fiskum, opphevet belegg.
Figur 4.3.2	Ilustrasjoner for opphevede områder, plan- og tverrprofil.
Figur 4.3.1	Fartsdempende tiltak.
Figur 4.3.2	Visuelle fartsdempende tiltak.
Figur 4.3.3	Hump av asphalt og prefabrikkerte betong elementer.
Figur 4.4.1	E-post fra Bent Ek.
Figur 4.4.2	Stampen bru i Brumunddal.
Figur 4.5.1	Tverrprofil for vegoverbygning.
Figur 5.1.1	ÅDT av Fiskum bro.
Figur 5.1.2	Tverrprofil for gang- og sykkelveg og veg.
Figur 5.1.3	Vegoverbygning med trafikkklasse D for Fv73 i Fiskum bro området.
Figur 5.2.1	Flom verdier for Fiskum elva, og dimensjonerende 200-års flom verdier for Fiskum bro.
Figur 5.2.2	Karakteriske- og dimensjonerende laster for Fiskum Bro med 60 cm betongdekke.
Figur 5.3.1	Tegninger om den nye Fiskum Bro.
Figur 5.3.2	Fiber volum endringer mot effektiv E-modul i armertbetong.
Figur 5.3.3	Max. nedbøyning- og spenningsintensiteter for B45 betong- og stål dekke (area 125 m ³) med 50 cm og 60 cm tykkelser, simulert av ANSYS ved elementtype <i>solid 187</i> .
Figur 7.1	Minste trafikkskille uten rekkverk mellom bilveg og gang – og sykkelveg.
Figur 7.2	1 km avstand fra Fiskum Bro og tilsvarende høyde profil.
Figur 7.3	Høyde profil fra Fiskum Bro til Fiskum vannet.
Figur 7.4	Andre mulige alternativer for den nye Fiskum Bro.
Figur 7.5	Forholder mellom kostnader og mengde av forebyggende vedlikehold.
Figur 10.1.1	Fasthetsklasser definert I EN 14080 for bade homogent- og kombinert limtre.
Figur 10.2.1	Oppmålingsskjema nr.1.
Figur 10.2.2	Ferdigbrutegning.
Figur 10.2.3	Armeringstegning.
Figur 10.3.1	Prosjektavtale /tilleggskontrakt med oppdragsgiveren (Statens vegvesen Region sør).

Figur 10.4.1	Dimensjoneringsklasser for veg, standardkrav.
Figur 10.4.2	Bredder for gang- og sykkelveg og sykkelveg med fortau, eksklusive skuldre (mål i m).
Figur 10.5.1	Mannings ruhetskoeffisient, n.
Figur 10.6.1	Bilder for fartsdempende tiltak fra Håndbok V128.
Figur 10.7.1	Valg av dekkeløsninger.
Figur 10.7.2	Valg av trafikkklasse gitt ÅDT-tunge, antall kjørefelt, tillatt aksellast, dimensjonerende periode og trafikkvekst
Figur 10.7.3	Tabell for dimensjonering av veger.
Figur 10.8.1	Trafikkklaster, lasttype V1, V2, bremselast og sidelast.
Figur 10.9.1	Betongrekkverk, standard rekkverk type Sv1 med H2 styrkeklasse.
Figur 10.10.1	Felles last plassering for alle situasjoner på 125 m ² dekke.
Figur 10.10.2	Deformasjon og spenningsintensitet med 50 cm betong dekke , 8 cm asphalt og resten betong med kvalitet B45.
Figur 10.10.3	Deformasjon og spenningsintensitet med 50 cm stål dekke , 8 cm asphalt og resten betong med kvalitet B45.
Figur 10.10.4	Deformasjon og spenningsintensitet med 60 cm betong dekke , 8 cm asphalt og resten betong med kvalitet B45.
Figur 10.10.5	Deformasjon og spenningsintensitet med 60 cm stål dekke , 8 cm asphalt og resten betong med kvalitet B45.

Tabelliste

Tabellnummer	Forklaring
Tabell 3.5.1	Miljøklasser etter NS3420.
Tabell 3.5.2	Energibehovet ved fremstilling av ulike byggematerialer.
Tabell 4.1.1	Målte- og beregnede verdier for bruene
Tabell 10.10.1	ANSYS programkoder for situasjoner ovenfor.

Formelliste

Formelnummer og navn	Formel
1- Hookes lov	$\sigma = E\varepsilon$
2- Kraftbalanse (Trykk på en dam)	$P = \rho gh$
3- Kontinuitets lov	$Q_1 = A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q_2$
4- Energibevaring (Bernouilli)	$P_1 + \rho g z_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = P_2 + \rho g z_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} = \text{konstant}$
5- Netto nåverdi	$NNV = -CF_0 + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+i)^n}$
6- Masseforhold	$M = \frac{v}{c + \sum(kp)}$
7- Mannings formel	$v = M R^{2/3} I^{1/2}$
8- Hydraulisk radius	$R = \frac{A}{P}$
9- Mannings formel (andre versjon)	$v = 1,5 R^{2/3} \frac{s^{1/2}}{n}$
10- Steinstørrelse formel	$D_{50} = \frac{1}{0,05 (s-1)} \frac{v^2}{M^2 R^{1/3}}$

Terminologi

BEGREP	DEFINISJON
<i>2-feltsveg</i>	Veg med to gjennomgående kjørefelt.
<i>Bru</i>	Byggverk som fører vegen over en fri horisontal åpning på minst 2,5 m [N100].
<i>fartsgrense</i>	Høyeste tillatte fart på en vegstrekning.
<i>fri høyde</i>	Minste høyde mellom kjørebane og overliggende hinder. Det tas hensyn til en viss reservehøyde pga snø, tele, byggtoleranse og vedlikehold av slitelag. Fri høyde i tunnel måles fra kjørebane kant og definerer øvre grense for trafikkrommet.
<i>fylkesveg</i>	Offentlig veg med fylkeskommunen som vegmyndighet.
<i>gang- og sykkelveg</i>	Veg som ved offentlig trafikkskilt er bestemt for gående, syklende eller kombinert gang- og sykkeltrafikk. Vegen er skilt fra annen veg med gressplen, grøft, gjerde, kantstein eller på annen måte.
<i>ÅDT</i>	Årsdøgntrafikk. Det totale antall kjøretøy som passerer et snitt på en veg i løpet av ett år, dividert med 365.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag.....	2
Abstract	3
Figurliste.....	4
Tabelliste	8
Formelliste.....	8
Terminologi.....	9
1 Innledning.....	12
1.1 Bakgrunn	12
1.2 Bruen	13
1.3 Problemstilling	16
1.4 Omfang.....	16
2 Metode.....	17
3 Teori	19
3.1 Materialtyper	19
3.1.1 Tre (Limtre).....	19
3.1.2 Stål.....	24
3.1.3 Betong	26
3.2 Universell utforming og kulturminner.....	28
3.3 Hydraulikk.....	30
3.4 Økonomi og Vedlikehold	32
3.5 HMS	35
4 Dimensjonering / Beregninger	38
4.1 Størrelser- geometrien i forhold til standarder, håndbøker.....	38
4.2 Tiltak for flom	51
4.3 Fartsdempende tiltak	54
4.4 Tiltak for identitet.....	56
4.5 Laster	58
4.5.1 Permanente laster.....	58
4.5.1.1 Jordtrykk.....	58
4.5.1.2 Egenlast	59

4.5.2	Variable laster.....	60
4.5.2.1	Snølast	60
4.5.2.2	Vanntrykk.....	60
4.5.2.3	Trafikklaster	60
4.3.3	Deformasjonslaster.....	62
4.3.4	Ulykkeslaster.....	62
4.3.5	Lastkombinasjoner	62
5	Resultater.....	63
5.1	ÅDT, tverrprofil for 1- gang- og sykkel veg, 2- veg, vegoverbygning	63
5.2	Flom, laster.....	64
5.3	Komponenter	65
6	Analyse.....	70
7	Diskusjon.....	72
8	Konklusjon	76
9	Referanser.....	78
10	Vedlegg	82
10.1	Vedlegg A: Fasthetsklasser definert i EN 14080 for både homogent- og kombinert limtre.	82
10.2	Vedlegg B: Dokumenter om nåværende bru	83
10.3	Vedlegg C: Prosjektsavtale med Statens vegvesen	86
10.4	Vedlegg D: Dimensjoneringsklasser for veg, standardkrav	88
10.5	Vedlegg E: Mannings ruhetskoeffisient, n	89
10.6	Vedlegg F: Bilder for fartsdempende tiltak fra Håndbok V128	90
10.7	Vedlegg G: Figurer med krav for vegoverbygning fra Håndbok N200	92
10.8	Vedlegg H: Trafikklaster, lasttype V1, V2, bremselast og sidelast.....	95
10.9	Vedlegg I: Betongrekkverk, kantdrag og standard rekkverk type SVV1, styrkeklasse H2.....	97
10.10	Vedlegg J: Resultat og programkoder fra ANSYS.....	98

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Dette prosjektet er om to bruer (gang- og sykkel bru + tofeltsvegbru) som skal slås sammen til en bru i Fiskum i Buskerud fylke mellom Kongsberg og Drammen. Selv om de er to bruer, skal de kalles en bru fra nå av. Fiskum er en liten bygd i Øvre Eiker kommune, og ligger sentralt plassert i forhold til både Kongsberg (bare 10 minutter unna med bil) og Drammen. Fiskum er under stadig vekst og de grønne omgivelsene, godt lokalmiljø og den sentrale plasseringen gjør at Fiskum er et særlig attraktivt sted for barnefamilier.



Figur 1.1.1: Fiskum ligger i grønne omgivelser, og er med sin nærhet til Kongsberg og Drammen et attraktivt sted å bo[1].

Men dette er i fare grunnet at Fv.73 som er hovedvegen i Fiskum, ligger som en rett snor gjennom bygda. I gamle tider var den en trafikkert hovedveg mellom Kongsberg og Drammen. I dag er E134 hovedvegen. Derfor har Fiskum ikke lenger så mye gjennomgangstrafikk, men vegen er utformet som en hovedveg, og den snorrette urformingen gjør at farten er høy selv om

fartsgrensen er 50 og 60 km/t. Dette fører til at vegen føles utrygg, og det er stort behov for tiltak som kan dempe farten. Det er ønskelig at den nye bruene skal bidra til å dempe farten.

Det andre behovet er visuell opprustning av vegen gjennom Fiskum. Når man kjører gjennom Fiskum, er det ingenting ved vegen som signaliserer at den går gjennom et sted. Vegbelysningen i form av gamle trestolper med luftstrek samt vegrekkverk og brorekkverk med dårlig estetisk utforming er eksempler på utstyr langs vegen som bidrar til et inntrykk av en hovedveg. Det er derfor nødvendig å gi vegen gjennom Fiskum en visuell opprustning og utforme vegen med utgangspunkt i stedets identitet slik at den framstår som et positivt element i bygga.



Figur 1.1.2: Eksisterende gangbru er for small til at den kan brøytes[1].

Eksisterende gangbru over Fiskuelva er for small til at den kan brøytes, og den bør derfor erstattes. I tillegg bør vegrekkverk på eksisterende vegbru skiftes ut med noe som er mer tilpasset stedet. Eksisterende burekkverk er slitent og har en dårlig utforming.

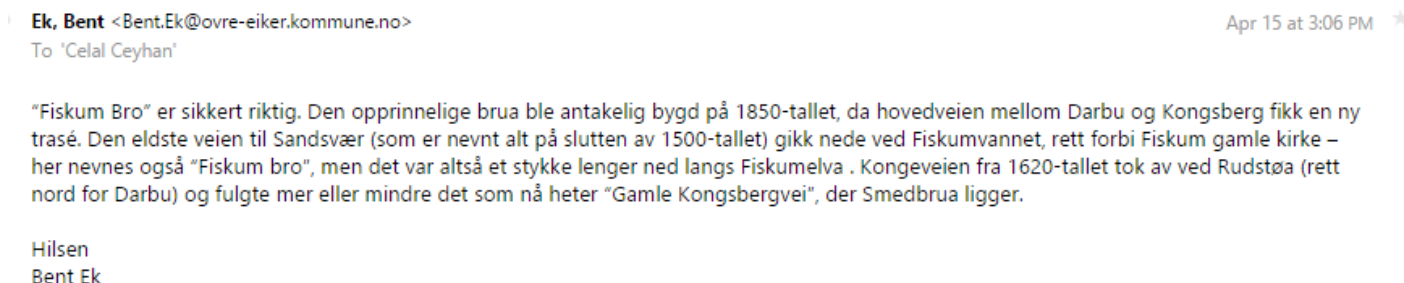


Figur 1.1.3: En skisse som viser fremtidige planer i Fiskum: grønn parkeringsplass, ny butikk, stiene langs elva, hvileplass, veg heves, veglinje justeres[1].

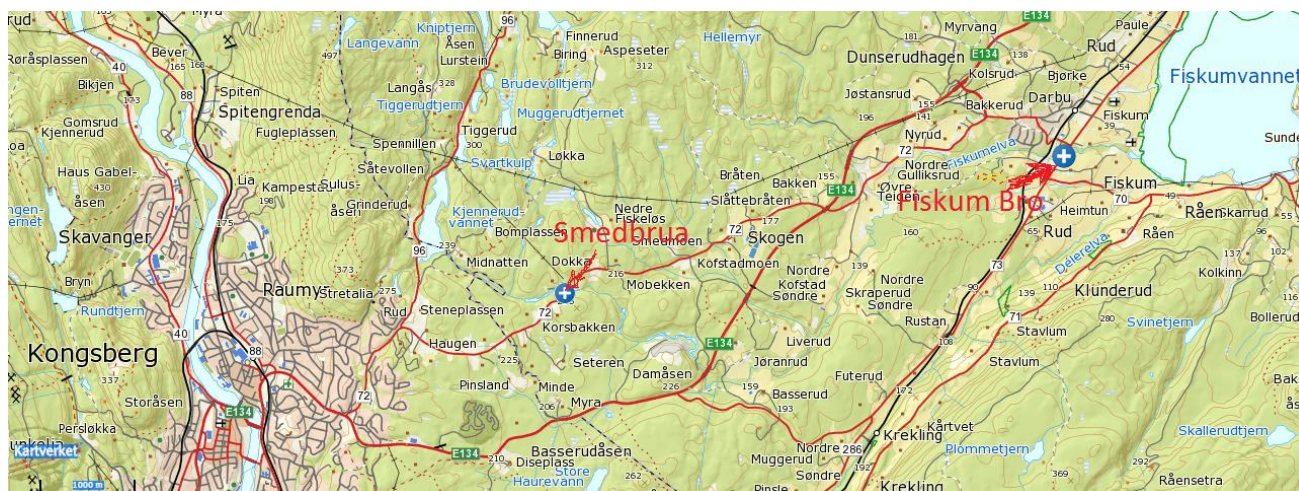
1.2 Bruen

Den ligger i nærheten av *Smedbrua* som ligger på Gamle Kongsbergvei på Fv.72. Smedbrua er kulturminne som er bygd av tørmur i form av bue. I begynnelsen tenkte gruppen at vår bru var en av de smedbruene og derfor ble det kalt smedbrua i vår prosjektplan og prosjektbeskrivelse. Men

etter videre undersøkelse er navnet på bruene funnet, **Fiskum Bro**. Både navnet og litt historie om bruene er vist i figur 1.2.1 som er E-posten fra **Bent Ek** fra Øvre Eiker Kommune. Navnet **Fiskum Bro** kan også sees på armeringstegningen i figur 10.2.3.

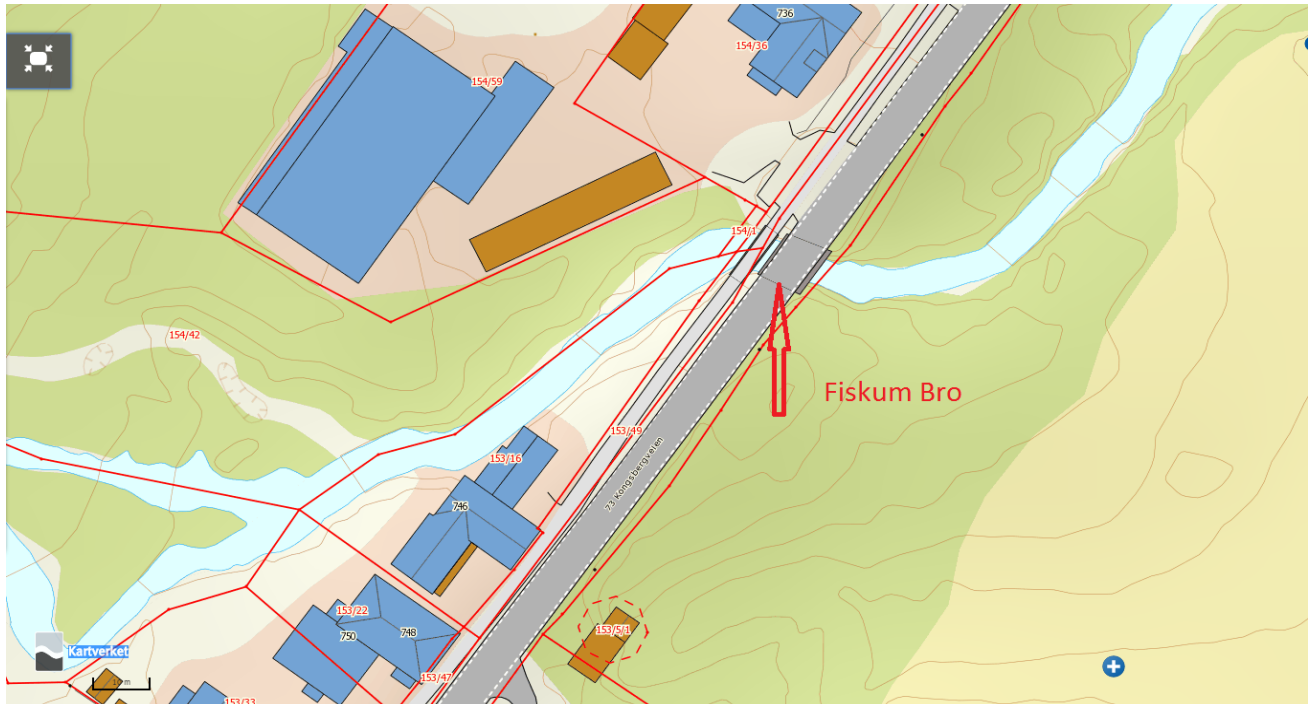


Figur 1.2.1: E-posten fra Bent Ek – Øvre Eiker kommune.



Figur 1.2.2: Smedbrua og Fiskum bro[2].

Man får 0 treff på Norgeskart.no hvis man søker "Fiskum Bro". Som Bent sier ble den opprinnelige bruene antakelig bygd på 1850-tallet. Da antar man at den hadde samme form som smedbrua. Derfor hadde Fiskum bro potensiell å være kulturminne som Smedbrua. Men den ble revet og ombygd i 1962-1964 som platebru av armert betong (nåværende bru). Dette hadde skjedd før kulturminneloven ble vedtatt i 1978. Derfor skal det undersøkes hva slags frihet man har når man utformer bruene igjen.



Figur 1.2.3: Fiskum bro[2].

Fiskum Bro ser ut som figuren ovenfor. Vannet strømmer fra venstre til høyre. På grunn av formen av elven bidrar bruene til oppstuvning av vann / flom ved store vannmengder. Det er ønskelig at den nye bruene skal løse dette problemet.

I tillegg til disse problemene (dempe fart, understreke stedets identitet, flom) har bruene følgende problemer/ opplysninger:

- Gang- og sykkelvegbrua er smal og ligger noe lavere enn vegbrua. Dette gir blant annet utfordringer mht drift av gang- og sykkelvegen.
- Veggen opprettholder sin funksjon som en viktig omkjøringsrute ved stengt E134. I fv 73 ligger offentlig infrastruktur (VA og el-kabler).

Hvis man oppsummer: I prosjektoppgaven ønskes vurdert riving av dagens bruer og etablering av en ny bru som bedre tilrettelegger for helårs gang- og sykkeltrafikk samtidig som løsningen reduserer bruas oppstuvende effekt ved stor vannføring. Brueløsningen skal bidra til at kjørehastigheten på fv 73 reduseres. Brua skal bidra til å understreke stedets identitet, og det skal

i oppgaven vurderes valg av materiale (betong, stål eller tre). Det utarbeides kostnadsoverslag for de ulike løsningene. Vurdering av vegens linjeføring kan inngå i oppgaven.

1.3 Problemstilling

- Hvordan skal den nye Fiskum broa være?
 1. Hvordan reduseres bruas oppstuvende effekt ved stor vannføring?
 2. Hvordan skal man understreke stedets identitet?
 3. Hvordan skal bruene bidra til å dempe farten?
 4. Hvordan skal økonomiske vurdering utføres?

1.4 Omfang

I denne bacheloroppgaven legges vekt på følgende viktige punkter:

1. Bruke universell utforming / kulturminneloven for å understreke stedets identitet.
2. Bidra til å dempe kjørehastigheten til 50 km/t.
3. Redusere bruas oppstuvende effekt ved stor vannføring.
4. Utforme bruene slik at de opprettholder sin funksjon som en viktig omkjøringsrute ved stengt E134.

I punkt 1 begrenser man seg og bruker bare kulturminne delen av universell utforming. For eksempel, øker verdien av kulturminnen med økende alder. I vårt tilfellet er det nødvendig å finne ut først om bruene er kulturminne eller ikke. Deretter finne hvordan de kan utformes fordi bruene har en funksjon og den må utnyttes av flest mulig og være tilgjengelig til flest mulig samt beholde sin spesielle form dersom den er kulturminne.

I punkt 2 begrenser man seg til *bare bruene*, ikke veglinjen. I fremdige planen til kommunen [1], skal farten reduseres på veglinjen ved å heve vegen før og etter bruene.

I punkt 3 fokuserer man seg mest på horisontallast på bruene fra elven og finne en eller flere geometrier som løser problemet mest mulig. Her kan det være behov å rive/kutte noen tre/planter. Dette skal vurderes som effekt på miljøet.

I punkt 4 begrenser man seg til å finne laster på bruene, størrelser i forhold til standarder, og fokus på hovedkomponenter som fundament, dekke, bjelker, søyler. Dette er *ikke* en ren dimensjoneringsoppgave. Derfor bør det ikke forventes at man dimensjonerer fra A til Å som alle forbindelser i form av plater, bolter, skruer, sveis og liknende. Hva er viktig her er å finne ut de delene som koster mye for å gjøre en økonomisk- og miljø vurdering av ulike bruløsninger. Økonomi delen avhenger av hvor mye data man kan få fra Statens vegvesen fordi de har sine egne priser når de kjøper noe fra leverandører. Fundament delen avhenger av hvor mye geoteknikk arbeid skal utføres. Hvis det blir mye geoteknikk arbeid da begrenser man seg til å få riktig størrelse på fundamentene og ikke går i detaljert beregning av setninger og liknende.

Tidsrammen / fristen for å innlevere bacheloroppgaven er 18.05.2016. Endelig tittel på oppgaven er innen 02.05.2016. Frist for nettside etablert med info som fyller minimumskrav, unntatt engelsk abstract, er 29.02.2016. Oppgaven er 20 studiepoeng per student som tilsvarer 22,5 timer per uke og 460 timer per semester.

2 Metode

Følgende metoder skal benyttes for å utføre prosjektet:

- Litteraturgjennomgang (standarder og liknende):
 1. Her snakker man om handbøker fra Statens vegvesen som N200, N100, N400, V420 for å finne svar til forskjellige krav angående vei og bruer. For eksempel, bredde til en tofeltsveg og liknende.
 2. Bruke bøker og artikler om materialer (betong, stål, tre/limtre) for å finne svar til forskjell blant dem, effekt på miljø og økonomi, og bestemme materialtype ut ifra en bærekraftig perspektiv.
 3. Bruke enkle hydraulikk ligninger som Bernoulli for å finne ut horisontallast på bruene fra elven.
 4. Bruke standarder om tre (eurokode 5), stål (eurokode 3) og betong (eurokode 2) og andre standarder om laster for å finne riktige størrelser til eventuelle bjelker, søyler, dekker og liknende.

- Bruk av beregnings- og simuleringsverktøy som Robot, Fokus konstruksjon, Ansys, Windows Excell for dimensjonering og analyse:
 1. Bruke *Excell* for å vurdere økonomien fra NÅ-verdi metoden, tegne grafer.
 2. Bruke *Ansys* for å bestemme de kritiske (nedbøyning og spenning). punktene i visse deler av bruene.
 3. Bruke *Robot* for å dimensjonere hele konstruksjonen og finne tingene som stivhetssenter.
 4. Bruke *Fokus Konstruksjon* for å tegne moment – og skjær diagrammer til bjelker, søyler ect.
 5. Bruke *Revit* for å tegne konstruksjonen. Til sist er det viktig å si at man ikke vet nå hvor mye man kan bruke disse programmene. Det er mulig at man kanskje ikke bruker en eller noen av dem hvis en av dem gir oss same resultat.
- Spørre arkitekten Eskild Narum Bakken fra NTNU, Statens vegvesen, Buskerud fylkes kommune og Øvre Eiker kommune om bruene estetisk og identitet:
 1. Bruene skal understreke stedets identitet. På grunn av sin historie må det tas hensyn til kulturminneloven og finne ut om bruene er kulturminne eller ikke. Hvis den er kulturminne, finne ut ved hjelp av kulturminneloven / kommunene hvor mye man skal gå tilbake angående formen til bruene.
- Økonomien skal vurderes ved å bruke NÅ-verdi metoden ut i fra levetidskostnader:
 1. Her får man data om kostnader /priser fra Statens vegvesen.
- Andre perspektiver utenfor økonomi er miljø og universell utforming.
- Snakke med folk i nærheten av bruene om flommen: når den skjer, hvordan den skjer.
- Jobbe sammen på bibliotekene til Universitetet i Oslo og av og til alene hjemme.

3 Teori

3.1 Materialtyper

I naturen finnes mange forskjellige materialtyper som stein, jord, glass, stokker og andre plantevekster. Mennesker har brukt dem og materialkuunskaper utviklet seg gjennom praktisk erfaring og gikk i arv fra generasjon til generasjon. I den moderne tiden bruker man ofte betong, stål, tre, aluminium, naturstein, glass. Det er vanlig å bruke flere forskjellige materialer som er satt sammen i en bygningskonstruksjon. Grunnet er at man kan utnytte visse egenskaper av hver seg av dem slik at konstruksjonen tilfredstiller kravene man ønsker som styrke, stivhet, tetthet og isolasjon mot brann og lyd, bestandighet, estetiske krav, varmeisolering, samhörighet, og liknende.

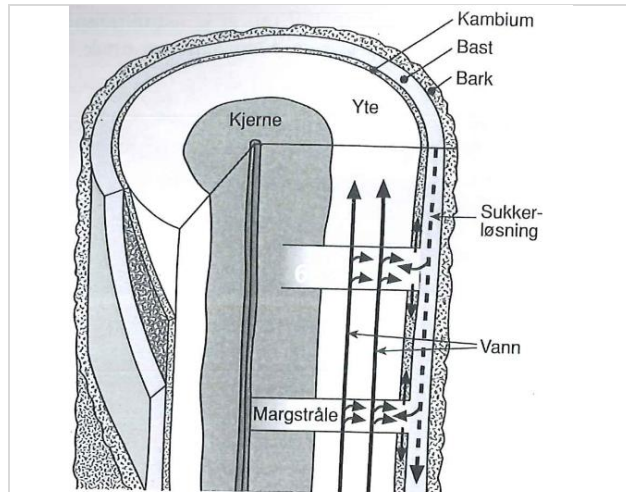
Hvis man for eksempel ser på bestandighet, kan den deles slik:

- *Temperaturbestandighet*: når solen skinner, må materialen ikke renne av konstruksjonen.
- *Kjemisk bestandighet*: her snakker man om korrosjon av stål og andre metaller.
- *Frostbestandighet*: man tenker hva skjer hvis vannet (fukt) i porene i en konstruksjon som betong går fra væskeform til isform eller omvendt.
- *Lysbestandighet*: dette er viktig for materialer som maling, fugematerialer og andre sollyseksponeerte materialer. Man ser hva skjer med farge, elastisitet, og mykhet.
- *Bestandighet mot organiske angrep*: man ser hvordan materialet skal reagere mot mikroorganismer som angriper det. Tre er svak for slike angrep.

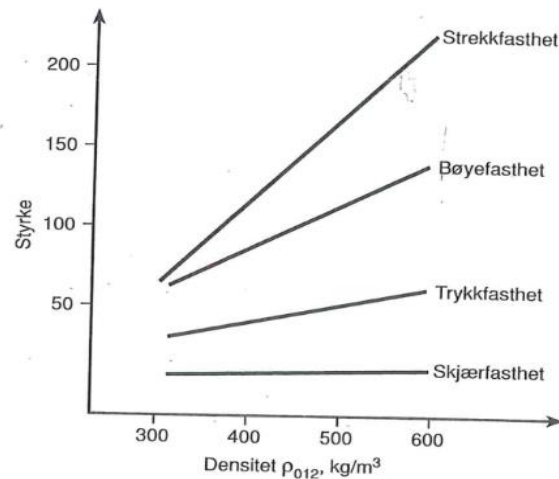
Det er mulig å bruke noen parametere som densitet, fasthet og elastisitetsmodul (E-modul), varmekonduktiviteten (λ -verdien), vanndampermeabiliteten, etterklangtid, og liknende å beskrive disse egenskapene. Til eksempel høy E-modul betyr at materialet er stivt og blir lite deformert under belastning.

3.1.1 Tre (Limtre)

Tre er et biologisk materiale som har vært i bruk som konstruksjonsmateriale fra de eldste tider. Det er lett å finne og bearbeides. I tillegg er tre mer estetisk, naturlig, og miljøvennlig.



Figur 3.1.1: Tverrsnitt, tangentsnitt og radialsnitt i en trestamme[3].

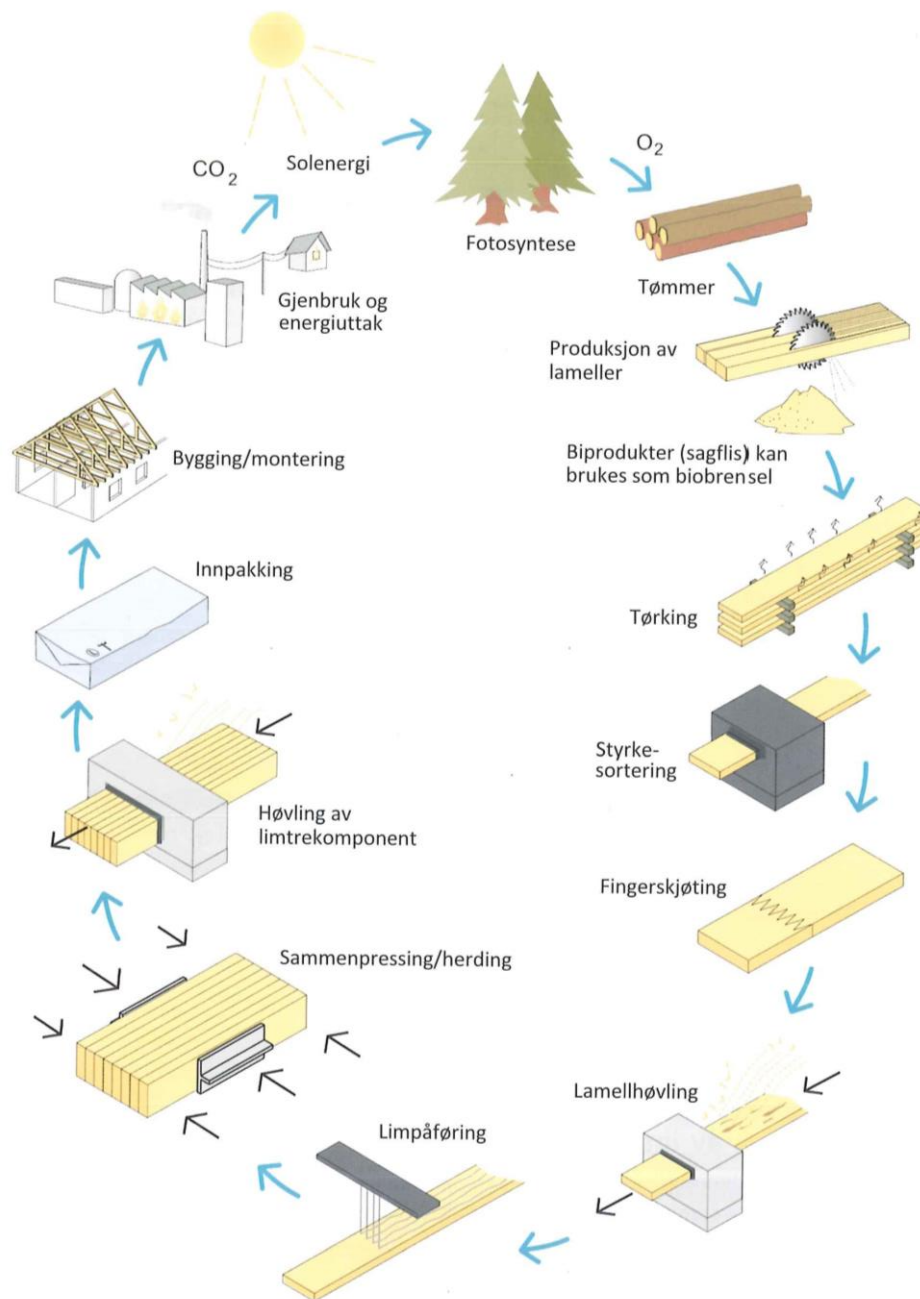


Figur 3.1.2: Forholdet mellom densitet og mekaniske egenskaper[3].

Figuren på venstre side viser trevirkeets oppbygging. **Kjerneveden** består av døde celler. Den er tørrere, tyngre, hardere og mer varig enn yteveden. **Yteveden** transporter vann og næringsstoffer oppover i treet. **Kambium** består av levende celler som deler seg, og fleste av dem settes av innover, men det dannes også bastceller utover. **Bastceller** er også levende celler som transporterer byggestoffer nedover i treet. **Barkceller** er døde celler som beskytter vekstlaget innenfor.

Densitet er en av de viktigste faktorene/parameterene for vurdering av trets egenskaper som fasthet, holdbarhet, impregnerbarhet. Figuren på høyre side viser hvordan mekaniske egenskaper avhenger av densitet i treet. Jo tyngre tre er, jo høyere er strekkfasthet, bøyefasthet og trykkfasthet. Skjærfasthet øker ikke med økende densitet. Man kan også si at gjennomsnitt densitet av tre er cirka 500 kg/ m³.

Tre er ikke et homogent materiale. Det vil si at egenskapene ikke er samme i alle retning. Fra figur 10.1.1 i vedlegg A kan man se at tres både strekkfasthet- og trykkfasthet i tangentiellretning (tverrs på fiberretning) er minst 10 ganger mindre enn det i fiberretningen. Samme ting gjelder for E-modul (omtrent 40 ganger). Dette er en svakhet for tre og man må være veldig nøye når man dimensjonerer en belastning 90° på fiberretningen.



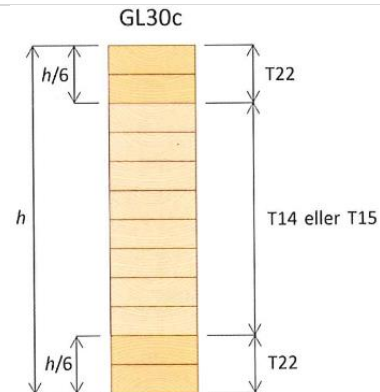
Figur 3.1.3: Skjematisk fremstilling for limtreproduksjon[4].

Figur 3.1.3 viser prosessen hvordan limtre er produsert. Fingerskjøtte lameller av styrkesortert virke er brukt for å produsere bjelker av varierende form og størrelse. Når lameller limes sammen, skal fuktigheten i lamellene være 6-15 %, og fuktighet forskjell mellom lamellene skal ikke overstige 5 % fordi dette gir limfugen optimal styrke samtidig som fuktigheten i det ferdige limtreet er godt balansert at man unngår uheldig sprekkdannelse. Ifølge EN 14080 skal

lamelltykkelsen være minst 6 mm, men ikke større enn 45 mm, og fiberretningen må falle sammen med komponentens lengderetning[4]. For enkelhets skyld kan man si at limtre er lik omtrent 99 % tre + 1 % lim.

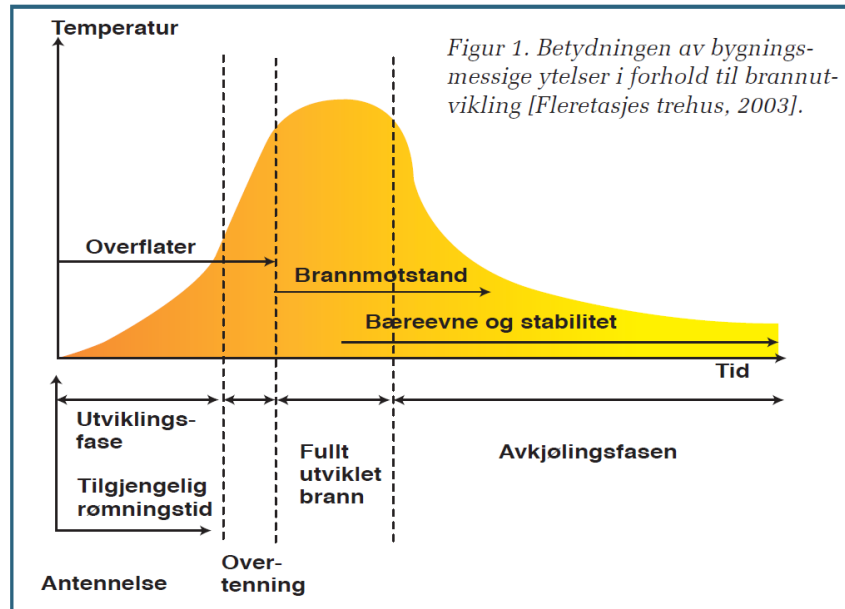
Man kan se i figur 3.1.4 hvordan tverrsnitt av en bjelke laget av varierende lameller ser ut. På grunn av større skjærspenninger i overkant – og underkant av bjelken benytter man høy kvalitet lameller i disse områdene og lav kvalitet i midten. Hensikten er å spare penger og ressurs. T22, T14, T15 angir styrkeklassene som benyttes.

For å minske de indre spenninger som oppstår som følge av fuktighetsvariasjoner snur man lamellene slik at kjernesiden ligger same vei i hele tverrsnittet. I tillegg snus de ytterste lamellene alltid slik at kjernesiden vender ut.

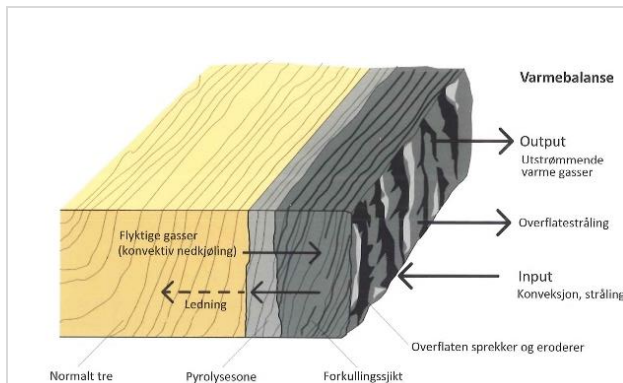


Figur 3.1.4: Oppbygging av kombinert limtre[4].

Den mest farligste situasjonen for en konstruksjon er brann. Brann kan brenne og ødelegge hele konstruksjonen. For at brann skal skje, trenges tre ting: oksygen, varme, og brennbart materiale. Hva skjer / kan gjøres i løpet av brann er vist med figur 3.1.5.

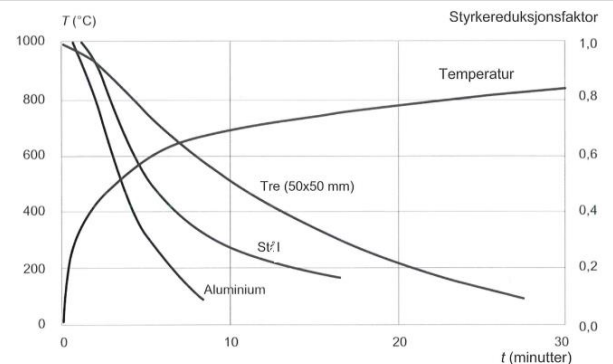


Figur 3.1.5: Betydningen av bygningsmessige ytelser i forhold til brannutvikling[5].



Figur 3.1.6: Forkullingsprosessen[4].

Tre har lavere antennelsestemperatur i forhold til betong eller naturstein. Derfor begynner tre å brenne lett. Men kulletet/forkullingssjikt (vist i figuren ovenfor) reduserer oksygentilgang og beskytter tre mot brann. Denne evnen gir tre høyere bæreevne og stabilitet i løpet av brann. Man kan hindre brann ved å bruke materialer som har høyere antennelsestemperaturer.



Figur 3.1.7: Utviklingen av de mekaniske egenskapene til noen bygningsmaterialer når de utsettes for en standard brann[4].

Figuren ovenfor viser at tre er bedre enn både stål og aluminium når det gjelder om brann. Grunnet er kulletet.

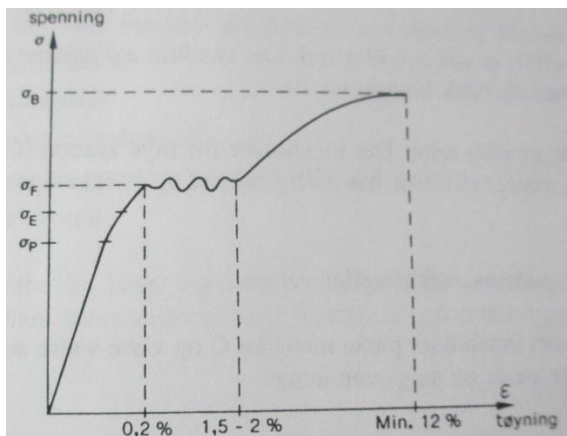
3.1.2 Stål

Stål er et materiale som brukes mye i bygg-industrien. Stål defineres som “en legering av jern og karbon pluss eventuelle elementer som i flytende tilsand har gjennomgått en raffinering med justering av kjemisk sammensetning”[6]. Dette kalles også karbonstål. Stål deles inn i to grupper:

- *Ulegert stål* som er det vanlige stålet, et stål der egenskapene i hovedsak blir bestemt av karboninnholdet, selv om det også kan inneholde noe fosfor, svovel, nickel og andre stoffer.
- *Legert stål* er tilsatt andre metaller i større mengder for å få fram spesielle egenskaper.

Konstruksjonsstål er et varmvalset, ulegert karbonstål (kullstoff) som i tillegg til jern kan inneholde[7]:

- Karbon (C): 0,17 – 0,24 %
- Fosfor (P)
- Svovel (S) } maks. ca. 0,10 %
- Nitrogen (N)
- Mangan (Mn): 1,4 – 1,6 %
- Silisium (Si): opptil 0,55 %



Figur 3.1.8: Arbeidsdiagram for stål[7].

Arbeidsdiagrammet (figuren til venstre) viser forholdet mellom spenning σ og tøyningen ϵ i et prøvestykke som utsettes for strekkrefter. Dette forholdet for elastisk området (opp til σ_E) defineres ved *Hookes lov* som sier at

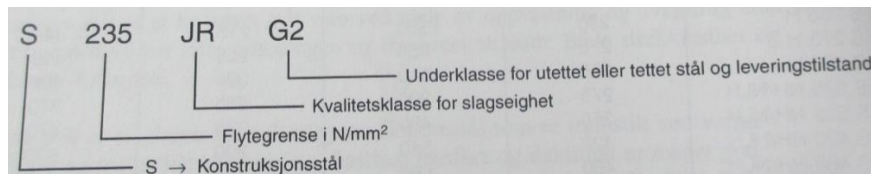
$$\sigma = E\epsilon \quad (1)$$

hvor E er elastisitetens modul. Når man går over elastisk området, gjelder *Hookes lov* ikke lenger.

- σ_P = proporsjonalitetsgrense: forholdet mellom tøyning og spenning er proporsjonal frem til $\sigma = \sigma_P$. Tøyningen går til null ved avlastning.

- σ_E = elastisitetensgrense: ligger i området mellom proporsjonalitetensgrensen og flytegrensen. Ved avlastning har stålet fått en liten varig forlengelse, og $\epsilon = 0,2 \%$.
- σ_F =flytegrense: ved σ_F vil øket belastning ikke gi øket spenning, men øket tøyning opp til 1,5-2 %.
- σ_B = bruddgrense: videre belastning øker spenningen frem mot brudd ved σ_B ved tøyning $\epsilon = 15 \%$.

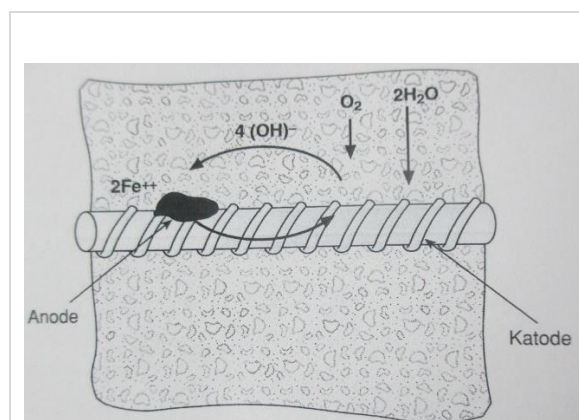
Stålkvalitet, avhengig av kjemiske sammensetningen av materialet, termisk- og mekanisk bearbeiding, er representert av kvalitetsklasser og et eksempel for dette er vist i figur 3.1.9. Jo høyere flytegrense er, desto bedre er kvaliteten. Slagsieghet er motstandsevne mot sprøbrudd.



Figur 3.1.9: Et eksempel for stålkvalitetsklasser[7].

Stål er også brukt som armering spesiell i betong. Armeringsstålet som er brukt i dag er stort sett såkalt *tempcore* kamstål i klasse K500TS, og nominell strekkfasthet er 500 N/mm^2 [7].

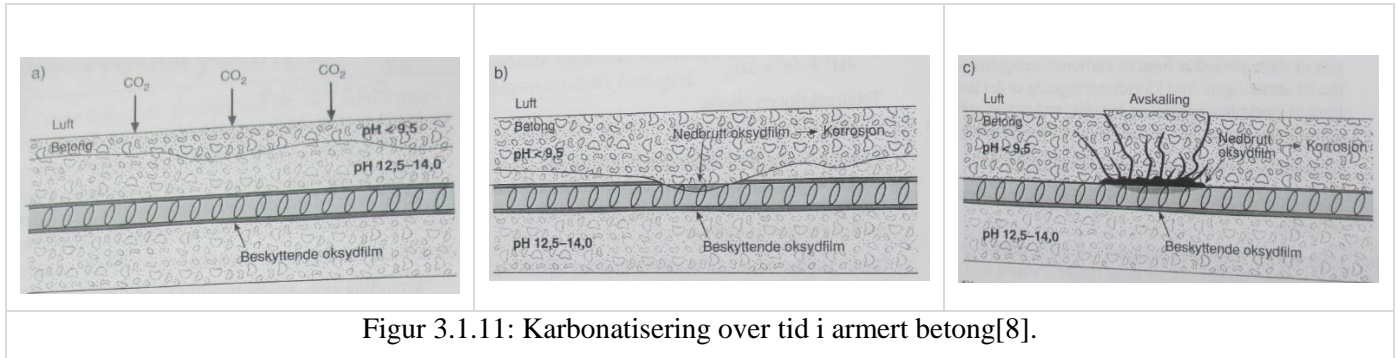
Stål har to viktige svakheter. Den første er at det mister bæreevnen ved stigende temperatur selv om stål ikke brenner og er derfor gunstig siden materialet ikke blir antent av ild. Men ved høyere temperatur enn $400\text{-}500 \text{ }^\circ\text{C}$ faller materialfastheten drastisk, og konstruksjonen kan kollapse fullstendig som kan sees i figure 3.1.6. Den andre svakheten er *korrosjon*.



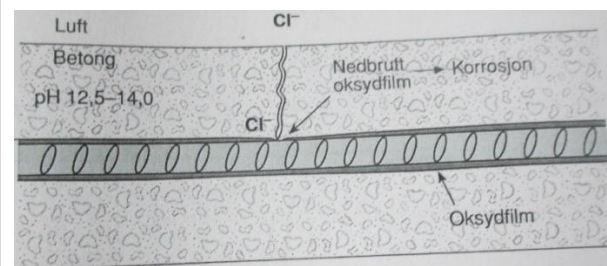
Figur 3.1.10: Forenklet korrosjonsmodell[8].

Korrosjon trenger et metall, et elektrolytt (for eksempel vann), og luft (oksygen) for å oppstå. Korrosjon av stål oppstår når metallet oksideres det vil si at metallet mister elektroner. Korrosjonen er nesten neglisjerbar hvis det mangler oksygen [9].

Da et av dem virker som *anode* (mister elektron). Hvilket metall som skal miste elektron og deretter korroderes avhenger av det potensialet mellom dem. I figur 3.1.11 foregår det en karbonatisering som presser pH verdien til en verdi < 9.5 og oksidfilmen blir nedbrutt.



Når stål korroderer kan det skape forebyggende filmer (som $Fe(OH)_3$) på overflaten av stålet. Denne prosessen skjer naturlig og det sies at overflaten ble *passivert* (mer hindring av korrosjon). Slike filmer kan ødelegges av noen aggressive ioner som kloride (Cl^-) så ytterlige prevensjon behøves spesielt i sjøvann som inneholder slike ioner.



Forebygging av korrosjon i stål kan oppnås på to måter: hindre at metallet ikke mister elektron eller hindring av hydroxide ioner/andre liknende ioner slik at de ikke kan angripe metallet. Det finns noen metoder for å utføre disse oppgavene: katodisk beskyttelse (brukes offeranoder som sink), legering (Cr, Ni, Mo), barriere/belegging (maling, inhibitorer).

3.1.3 Betong

Betong er et av de mest brukte bygningsmaterialene i verden. Grunnet er dens bestandighet og evnen til å motstå store trykkpåkjenninger samt dens naturlige råvaretilgang, lang levetid, lave driftskostnader. Bruksområdene for betong er mange. Alt fra dammer, kaier og veier til boligblokker, kontor – og industribygg og vann – og avløpsanlegg. Betong består av *tilslag + sement + vann + tilsetningsstoffer*.

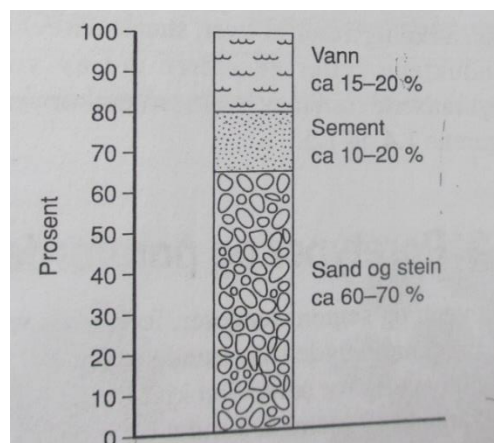
Tilslag er en fellesbetegnelse for sand, grus og stein. Dersom tilslagsmaterialet har god gradering og rundest mulig overflate, gir det minst mulig hulrom i betongen, relativt høyt innhold av tilslag og behov for mindre sementlim.

Sement er hovedbestanddelen i betongens bindemiddel, og er finkornet pulver fremstilles av kalkstein og som omdannes til lim ved tilsetning av vann. Portlandsement som ble brukt første gang i 1824 av Josef Aspdin inneholder 90-95 % av kalsium + silisium + aluminium + jern, og resten mangan + svovel[8]. Sement er et *hydraulisk bindemiddel* som herdner ved tilsetting av vann. Det finns også *ikke hydraulisk bindemiddel* som flygeaske og silikastøv som ikke trenger vann når det herdnes.

Et *tilsetningsstoff* er et materiale som brukes i betong i få mengder i forhold til sementmengden for å endre egenskapene til fersk betong eller herdnet betong. NS-EN 934-2 angir følgende klasser av tilsetningsstoffer[8]:

- vannreducerende / plastiserende
- superplastiserende
- størkningsretarderende
- herdningsakselerende
- luftinnførende

For eksempel gjør plastiserende / superplastiserende tilsetningsstoffer at vannbehovet blir redusert. Omtrentlig volumfordeling i betongen er vist i figur 3.1.13.



Figur 3.1.13: Omtrentlig volumfordeling av delmaterialene i betong[8].

Plasstøpt betong er det tradisjonelle alternativet å bygge på. Man lager forskalingsformer, binder armering i formene og fyller med ferdig betong. Det andre alternativet er å bygge med betongelementer. Der prefabrikeres elementer på fabrikk og transporteres til byggeplass før de monteres. Prefabrikerte betong elementer har blitt mer populære på grunn av mindre tid og kostnader.

Betong kan også ha følgende problemer:

- *Kryp*: lastendringer gir tøyningssendringer. Hvis man fortsetter belastningen lenge, fortsetter tøyningssendringene i langsomt tempo. Dette kalles kryping.
- *Svelling og svinn*: Fuktendringer i betongen vil utløse dimensjonsendringer. Oppfukning vil gi svelling, og uttørking gir svinn. Betong med lavt vanninnhold vil ha mindre svinn.
- *Riss*: Man får riss på strekksiden i armert betong på grunn av ytre belastninger. Men man kan også få svinn grunnet setninger i betongmassen, varmeutvikling gjennom herdingen, påførte tøyninger, temperaturendringer og armeringskorrosjon.

I tillegg til problemene overfor kan armert betong få samme problemer som stål, korrosjon og brann.

Betong har høy trykkstyrke men lav strekkstyrke. For å kompensere den lave strekkstyrken brukes armeringsstål, som tåler store strekktøyninger. Armeringsstålet i betongen begrenser rissvidder og gir konstruksjonen en duktil oppførsel[10]. Betong er bra mot lyd, uten armeringsstål bra også mot korrosjon og brann.

3.2 Universell utforming og kulturminner

For universell utforming (UU) brukes ofte to definisjoner[11]:

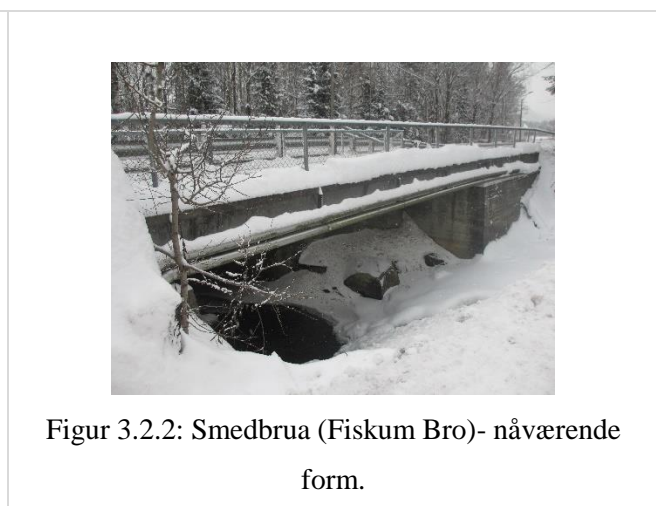
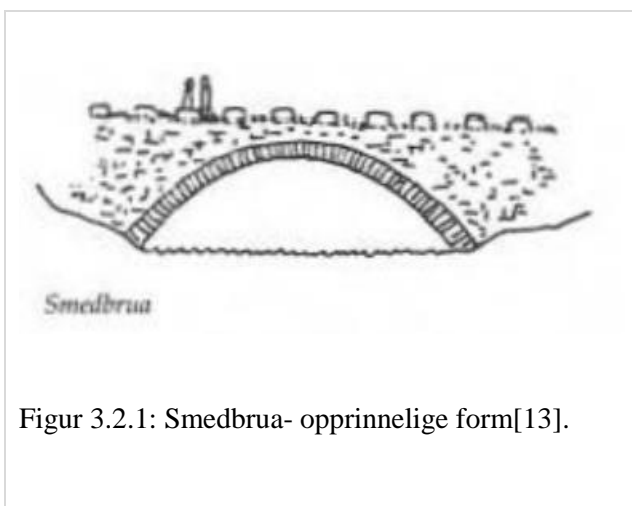
1. Politisk definisjon som ble først definert av North Carolina State University slik:
Utforming av produkter og omgivelser på en slik måte at de kan brukes av alle mennesker, i så stor utstrekning som mulig, uten spesielle tilpasninger eller hjelpemidler.
2. Juridisk definisjon som ble definert i FN's diskriminerings- tilgjengelighetsloven slik:
Utforming eller tilrettelegging av hovedløsningen i de fysiske forholdene slik at virksomhetens alminnelige funksjon kan benyttes av flest mulig.

Universell utforming som likeverd på alle nivåer kan deles:

- Praktisk: Fysisk tilgjengelighet (bevegelsesmulighet), og sansetilgjengelighet (syn, hørsel)
- Estetisk: Bokkvalitet, livskvalitet, atmosfære – et godt sted å være. Begrenset mobilitet og sansning kan gi økt sensitivitet og økte krav til omgivelsenes øvrige faktorer.
- Etisk: Verdssettelse gjennom tilgjengelighet og deltagelse. Identitet som fullverdig samfunnsmedlem.

Bruen hadde mulighet å være kulturminne. Derfor må man både ta hensyn til universell utforming og kulturminner. *Kulturminneloven* ble vedtatt i 1978. I følge loven er *formålet*: “*Kulturminner og kulturmiljøer med deres egenart og variasjon skal vernes både som del av vår kulturarv og identitet og som ledd i en helhetlig miljø- og ressursforvaltning*”[12]. Loven definerer *kulturminne* som “*alle spor etter menneskelig virksomhet i vårt fysiske miljø, herunder lokaliteter det knytter seg historiske hendelser, tro eller tradisjon til*”, og *kulturmiljøer* som “*områder hvor kulturminner inngår som del av en større helhet eller sammenheng*”. Klima- og miljødepartementet er myndigheten som avgjør/setter krav til kultuminner.

Det skrives i kapittel II at kulturminner fra oldtid og middelalder (inntil år 1537) er automatisk fredet. Bruen i vårt prosjekt var en av smedbruene som i figur 3.2.1, men den ble revet og ombyggt i 1964 som platebru laget av armert betong som i figur 3.2.2. Alt dette hadde skjedd før kulturminneloven ble vedtatt i 1978. Nå skal bruene ombygges på grunn av flere problemer og det finns mulighet å tilpasse / korrigere bruene til sin opprinnelige form slik at dens identitet kan understrekes. I samme området finns en annen smedbru som fremdeles beholder sin opprinnelige form og funksjon som er vist i figur 3.2.3.



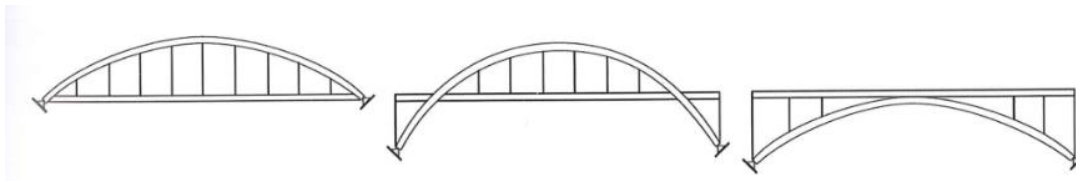


Figur 3.2.3: Den andre smedbrua- nåværende form[14].

Den andre smedbruen er fredet og er vist i figur 3.2.3. Den er en steinhelvbru i tørmur i likhet med begge landkarene. Bruens største lysvidde er 8,3 meter. Rekkeverket består av stabbestein, og bruen er i dag del av Fv 72. Bruen må ha vært bygd først rundt midten av 1700-tallet. Den er restaurert og forsterket som del av statens kulturminnetiltak i Kulturminneåret i 1997.

Bruen er den eldste dokumenterte steinhelvbrua i landet, og ligger som del av den første offentlige kjørevegen i Norge[14].

Hvordan den nye bruen skal se ut avhenger av problemene som skal løses ved å ta både hensyn til universell utforming og kulturminneloven. Noen alternativer er vist i figur 3.2.4.



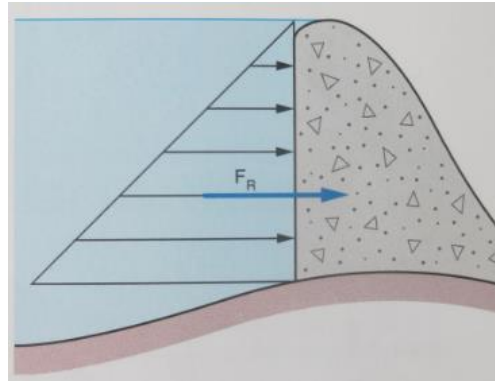
Figur 3.2.4: Mulige geometriske former for bruen[4].

3.3 Hydraulikk

Tre naturlover er avgjørende for å se hvordan vannet oppfører seg i et sted. Den første loven, *kraftbalanse*, får man ved å kombinere Newstons andre lov ($F = ma$) med trykk ($P = F/A$). Man kan se hvordan trykkrefter på en dam øker med økende høyde i figur 3.3.1:

$$P = \rho gh \quad (2)$$

Der P = trykk, g = tyndeakselerasjon, ρ = tetthet, h = høyde.

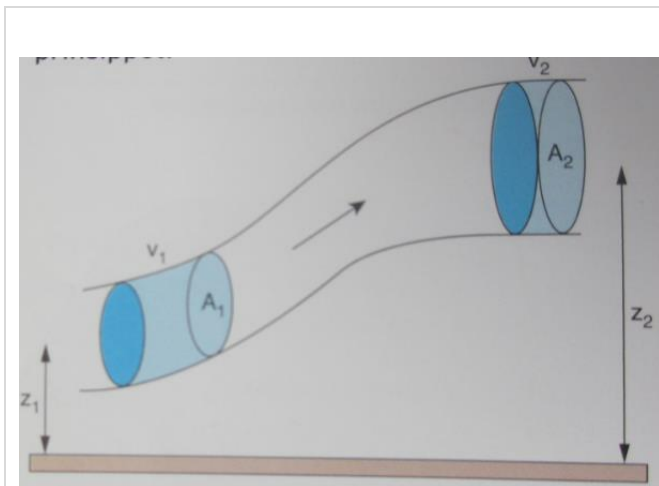


Figur 3.3.1: Illustrasjon for trykkrefter på en dam[15].

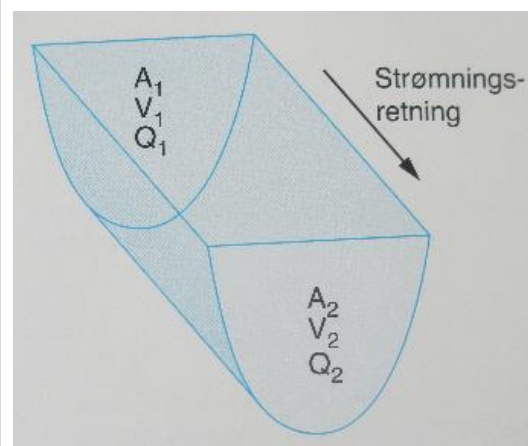
Den andre loven, *kontinuitet*, sier at masse ikke går tapt. Det vil si *vannengden inn = vannmengden ut*. Da kan man formulere den slik:

$$Q_1 = A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q_2 \quad (3)$$

Der Q = vannføringen (m^3/s), A = areal av tverrsnittet, v = vannhastighet i tverrsnittet (m/s). Man kan skrive formelen slik fordi man betrakter vann som *inkompressibelt*. Figur 3.3.2 -3.3.3 illustrerer konstitivetsprinsippet både i en rør og en åpen kanal.



Figur 3.3.2: Illustrasjon av kontinuitetsprinsippet[15].



Figur 3.3.3: Illustrasjon av kontinuitetsprinsippet i en strømning med fritt vannspeil[15].

Den tredje loven, *energibevaring*, sier at energy ikke går tapt, men endrer tilstand. Det vil si at **inn energi** {arbeid inn + stillingsenergi inn+ bevegelsesenergi inn = arbeid ut + stillingsenergi ut + bevegelsesenergi ut + tap energi i form av varme (friksjonstap)} = **ut energi**. Denne loven formuleres med *Bernoulli likningen*:

$$P_1 + \rho g z_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = P_2 + \rho g z_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} = \textit{konstant} \quad (4)$$

Der P = trykk i gitt tverrsnitt, z = høyde, v_l = vannhastighet. Disse lovene skal benyttes for å regne ut horisontal lastene på bruene.

3.4 Økonomi og Vedlikehold

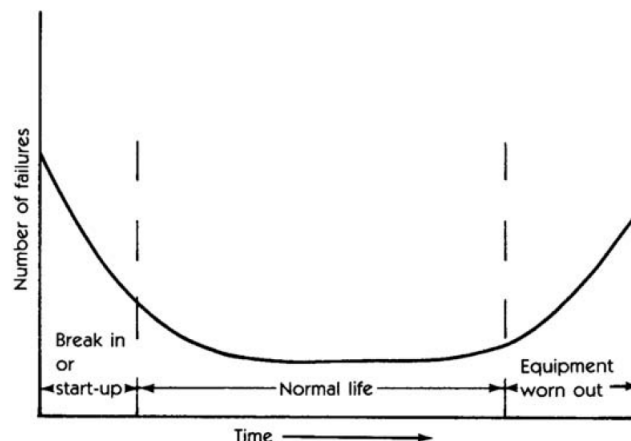
Økonomien i dette bruprojektet avhenger av stort sett hvilke materialtyper man velger for å bygge bruene og dens drifts kostnader. Det vil si at hvor mye belysning og hvor ofte vedlikehold bruene trenger og liknende kostnader. Statens vegvesen har sine egne avtaler med leverandører angående priser og kostnader. Disse tallene skal brukes når en økonomisk vurdering av bruene skal utføres. *Nåverdi metoden*, som tar hensyn til både renter og tid, skal benyttes. Metoden beregner lønnsomheten av en investering basert på hva nåverdien av fremtidige diskonterte kontantstrømmer er. Formelen for netto nåverdi av kontantstrøm er [16]:

$$NNV = -CF_0 + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+i)^n} \quad (5)$$

Der n = levetiden, CF_0 = investeringskostnader, CF_n = kontantoverskudd for n . året, i = kalkulasjonsrente (internrente).

Denne metoden sier at dersom NNV er positiv er investeringen lønnsom, og når den er negativ er den ikke lønnsom.

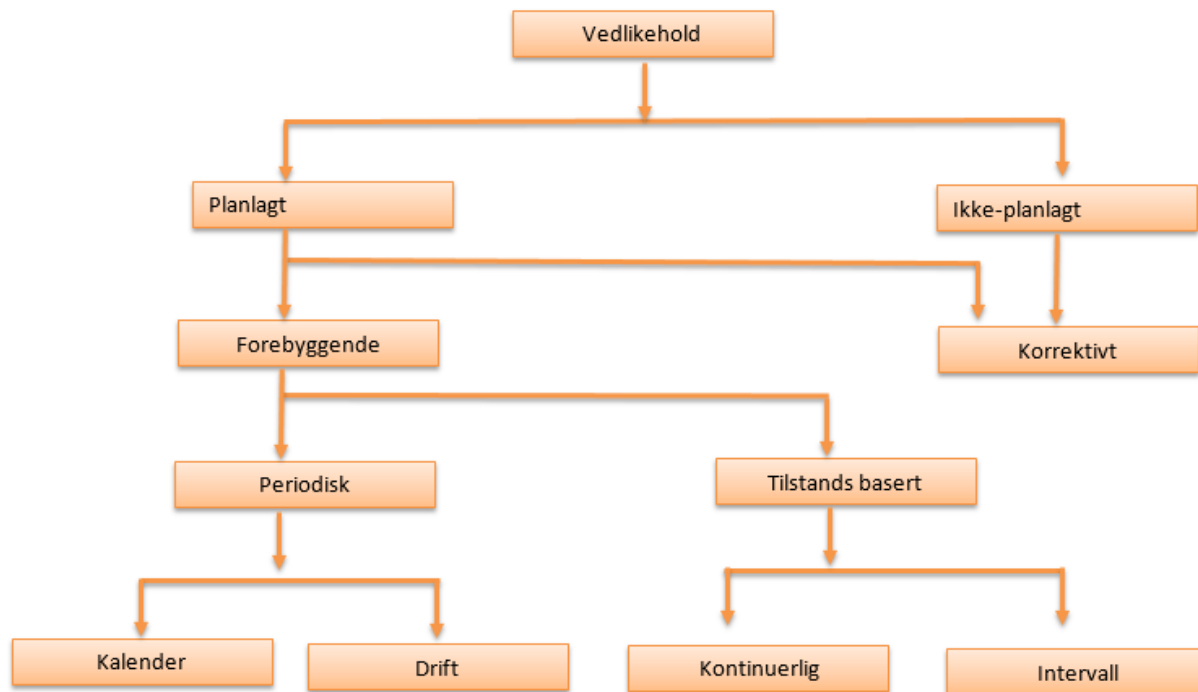
Den gjennomsnittlige tiden mellom sviktene (The mean-time-between-failures (MTBF)) eller *Bathtub kurve* indikerer at en ny maskin / instrument / bil / bru har en høy sannsynlighet for svikt på grunn av installasjonsproblemer i løpet av de første ukene av drift. Etter denne starte perioden, er sannsynligheten for svikt forholdsvis lav for en lengre periode. Etter denne normale perioden, vil sannsynligheten øke kraftig som er vist i figur 3.4.1.



Figur 3.4.1: Typisk Bathtub kurve[17].

Vedlikehold er en prosess av beholdning av utsyret, konstruksjonen, og anlegget i god tilstand for å opprettholde eller øke effektiviteten av utstyr, produksjon og sikkerhet. Vedlikehold kan deles inn i to grupper: planlagt og ikke-planlagt. Når gjenstanden (la oss si bruen) svikter, korrigerer man svikten med korrektivt vedlikehold. I planlagt vedlikehold kan man bruke både korrektivt og forebyggende vedlikehold som enten kan være periodisk eller tilstands basert vedlikehold.

Hvilken type skal brukes avhenger av hva slag konstruksjon den er. For eksempel et atomkraftverk må vedlikeholdes med planlagt og forebyggende og ikke med *ikke-planlagt*. Fordi risikoen er veldig høy. *Risiko* er definert som *sannsynlighet ganger konsekvens*. En feil med atomkraftverket kan ha eskrem høy konsekvens. Man kan ha stor risiko når bruen kollapser mens en eller flere busser med flere titals passager krasjer først og faller ned etterpå selv om sannsynligheten er lite. Derfor er det lurt å tenke en gang til før man bestemmer seg. Figur 3.4.2 viser hvordan vedlikehold klassifiseres. Man kan vente at noe feil først skjer og deretter korrigerer den. Eller kan man forebygge feilen med periodisk eller tilstands basert vedlikehold. Hvilken type vedlikehold koster mer bør vurderes godt.

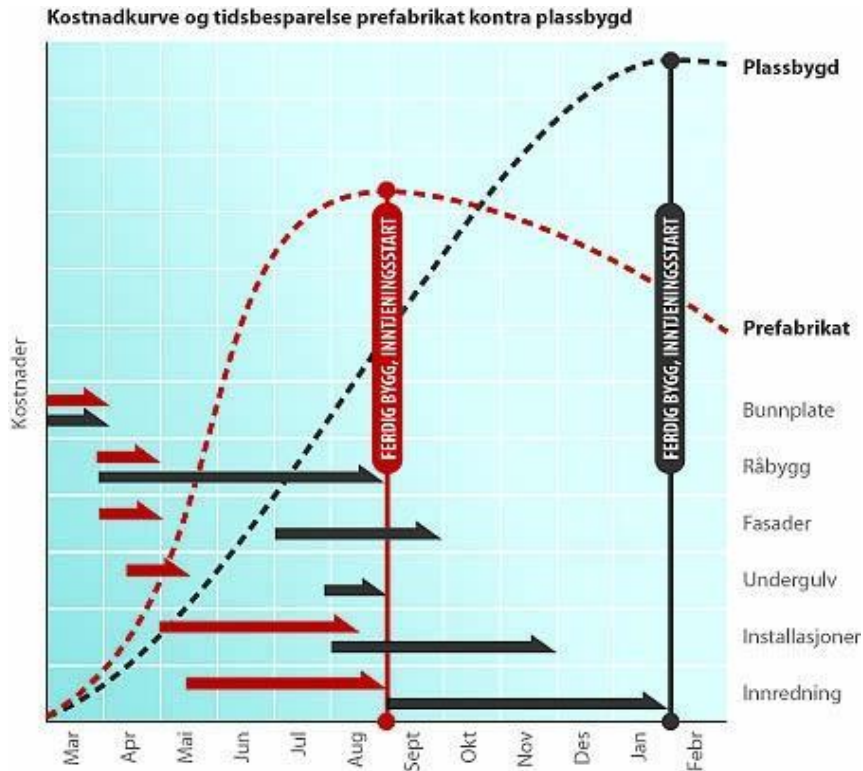


Figur 3.4.2: Vedlikehold klassifikasjon[18].

Prisforskjel mellom plasstøpt betong og prefabrikkert betong er vist i figuren nedenfor. Stort sett er prefabrikkert betong billigere enn plasstøpt betong. I tillegg kan man spare mer tid ved valg av prefabrikkert betong som er vist i figur 3.4.4.

	Plasstøpt betong	Prefabrikkert betong
Dekke	1250 kr/m ²	600 kr/m ²
Vegg	1550 kr/m ²	1500 kr/m ²
Søyler	1500 kr/m	3000 kr/m

Figur 3.4.3: Prissammenigning mellom plasstøpt betong og prefabrikkert betong[19].



Figur 3.4.4: Kostnadkurve og tidsbesparelse prefabrikat kontra plassbygd[20].

3.5 HMS

Helse, Miljø og Sikkerhet (HMS) er en svært viktig forutsetning for å sikre sikkerhet, helse og miljø av mennesker, dyr, planter og konstruksjonselementer både i bygge – og driftfasen.

Materialet som brukes må produseres i henhold til styrende dokumenter, standarder og direktiver. Alle faser av konstruksjonen som påvirker livssyklus-kostnader, inkludert installasjon / bygging, vedlikehold, renhold, materialhåndtering og drift skal vurderes. Å redde liv, miljø hindre skader skal være viktigere enn penger. For eksempel, støy fra utstyret som benyttes i løpet av produksjonen ikke skal overstige en viss lydtrykk verdi. Ellers kan arbeidere og folk i nærheten få alvorlige øreskader.

Økt sikkerhet har vist seg å være økonomisk gunstig ettersom det blir færre feil, dermed får bygget en generelt høyere kvalitet og det vil ikke være nødvendig med reparasjon og eventuell riving som koster prosjektet penger. Anleggsplasser hvor det settes opp prefabrikkerte betongelementer har vist seg å være sikrere for både arbeidere og bygget enn byggeplasser hvor det plasstøpes.

Man må vurdere godt hvilken materialtype skal brukes før man starter å bygge. For eksempel, det finns miljøklasser etter NS3420:

	Meget aggressivt	Noe aggressivt	Lite aggressivt
Miljøklasse	MA	NA	LA
Masseforhold	0,45	0,6	0,9

Tabell 3.5.1: Miljøklasser etter NS3420.

Der defineres masseforholdet (v/c - tallet) slik:

$$M = \frac{v}{c + \sum(kp)} \quad (6)$$

Hvor M = masseforhold, v = vann, c = sement, p = tilsetningsmaterial, k = virkingsfaktor. Når man øker M , blir betongen for bløt og svak. For å oppnå 100 % hydratisering av sementen, trenger man et M - tall minst ca. 4 og man kan ikke redusere M enda mer enn 0,4. M - tallet sier hva slags betong kan brukes i forskjellige miljøområder. Dersom man bruker betong med $M = 0,9$ i et meget aggressivt miljø, kolliderer konstruksjonen. Dette fører til både misbruk av ressurser og skade til miljø og dyr.

Når det gjelder *miljø* kan man sammenligne hvor mye energy trenges for å produsere 1 kg eller 1 m³ av materialet. Dette vises i tabellen nedenfor. Energiforbruket varierer mye fra bedrift til bedrift.

Materiale	Primær energibehov	
	kWh/kg	kWh/m ³
Limtre	2,4	1200
Betong	0,3	700
Stål	5,9	46000
PVC	18,0	24700
Aluminium	52,0	141500

Tabell 3.5.2: Energibehovet ved fremstilling av ulike byggematerialer[21].

Gjenbruk av disse materialene bør også tas hensyn til. Limtre etter riving kan gjenbrukes eller sendes til et bioenergianlegg. Limet er syntetisk og derfor ikke fornybart. Betong kan også gjenbrukes etter riving i vegbygging opp til og med trafikkgruppe D (ÅDT = 5000)[22]. Når man

river betong trenger man energy spesielt på grunn av armert stål. Eneste problem med betong kunne være eventuelle tilsetningsstoffer. Stål kan rives, monteres lett og gjenbrukes. Problemet med stål er korrosjon. Ved korrosjon kan Fe^{2+} ioner flytte seg inn i vannkilder og andre viktige steder.

4 Dimensjonering / Beregninger

Dimensjonering baserer seg på *partialfaktormetoden* etter NS-EN 1990. Metoden legger *sikkerhetsfaktorer (partialfaktorer)* inn på flere ledd i beregningene:

- *Karakteriske laster økes* ved å gange med *lastfaktorer* ($\geq 1,0$) og så kombinere etter oppskrift i standarden.
- *Karakteriske fastheter* for materialene **reduseres** ved å dividere med *materialfaktorer* ($\geq 1,0$).
- Man påviser at *dimensjonerende påkjenning ikke* overskrider *dimensjonerende kapasitet*.
- Påvisning gjennomføres for flere grensetilstander:
 - ✓ *Bruddgrensetilstander*: likninger 6.10a og 6.10b i standarden.
 - ✓ *Bruksgrensetilstand*:

1- Karakteristisk kombinasjon - 6.14b,

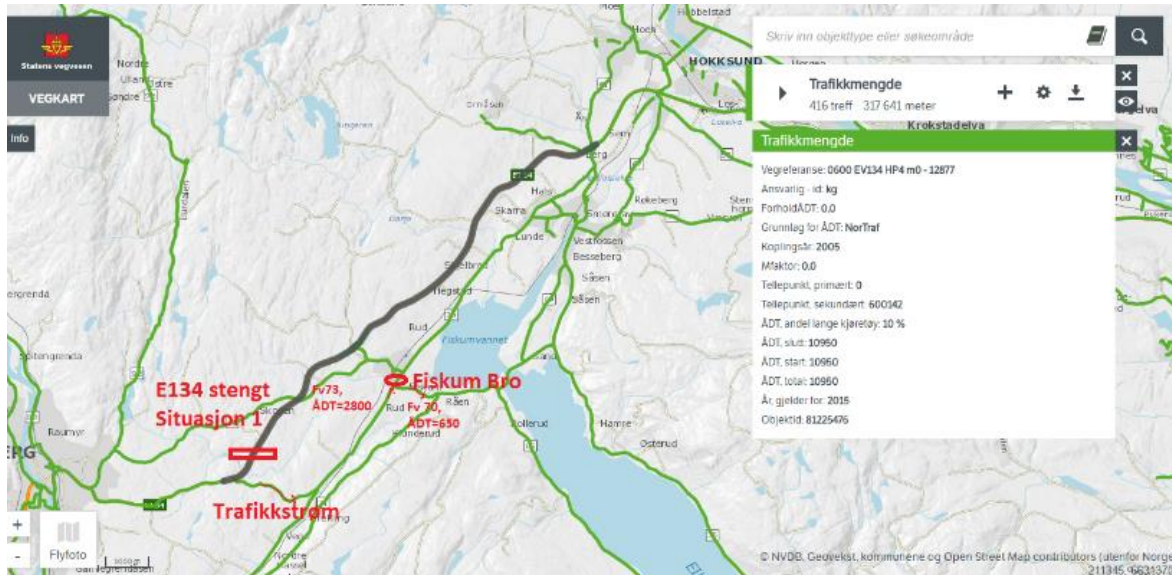
2- Ofte forekommende kombinasjon- 6.15b,

3- Tilnærmet permanent (Kvasipermanent) kombinasjon – 6.16b.

I bruddgrensetilstand er *brudd* viktig og i bruksgrensetilstand er *nedbøyning* viktig.

4.1 Størrelser- geometrien i forhold til standarder, håndbøker

I denne delen skal først bredde til bruene finnes i forhold til kravene for en tofeltsvegbru. Ifølge håndboken N100 ser man at fartgrense og ÅDT bestemmer bredden. Fartgrensen er kjent, 50 km/t. ÅDT må beregnes ved å ta hensyn til stengt E134:



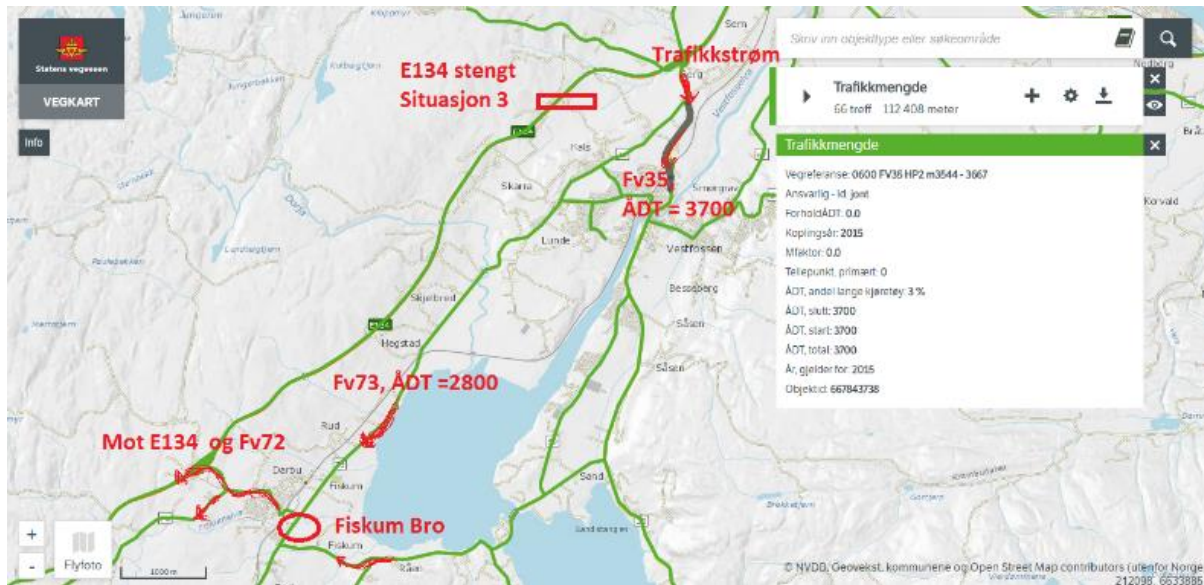
Figur 4.1.1: ÅDT ved stengt E134, situasjon 1[23].

På figuren ovenfor ser man trafikkmengde om E134 med ÅDT = 10950 og situasjon 1 ved stengt E134. Trafikken strømmer først til Fv73 med ÅDT = 2800 og før den nås til bruene kommer en alternativ veg, Fv70 med ÅDT = 650, mot Drammen. Man antar at E134 ÅDT = 10950 deles mellom Fv73 og Fv70 proporsjonal med sine ÅDT. Da blir ÅDT for bruene (Fv73) = $(10950 * 4,31 / 5,31) = 8883$. Der finner man $4,31 = 2800 / 650$. Sum ÅDT for Fv73 = $8883 + 2800 = 11683$.



Figur 4.1.2: ÅDT ved stengt E134, situasjon 2[23].

På figuren ovenfor ser man trafikkmengde om Fv73 med ÅDT = 2800 og situasjon 2 ved stengt E134. Trafikken strømmer til Fv73 via Fv72 og til Fv72 med ÅDT = 500 mot Smedbrua. Man antar at E134 ÅDT = 10950 deles mellom Fv73 og Fv72 proporsjonal med sine ÅDT. Da blir ÅDT for bruene (Fv73) = $(10950 * 5,6 / 6,6) = 9291$. Der finner man $5,6 = 2800 / 500$. Sum ÅDT for Fv73 = $9291 + 2800 = 12091$.



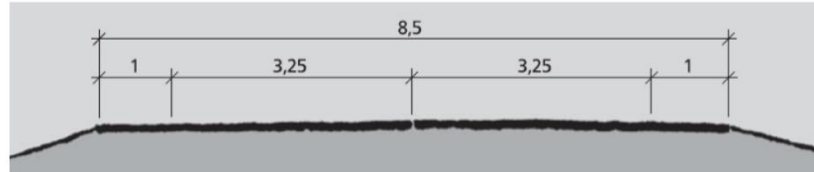
Figur 4.1.3: ÅDT ved stengt E134, situasjon 3[23].

På figuren ovenfor ser man trafikkmengde om Fv35 med ÅDT = 3700 og situasjon 3 ved stengt E134 mot Konsberg. Trafikken strømmer til Fv73 og til Fv70 eller Fv71 mot Konsberg via Fv35 med ÅDT = 3700. Man antar at E134 ÅDT = 10950 deles først mellom Fv73 og Fv35 proporsjonal med sine ÅDT. Da blir ÅDT for bruene (Fv73) = $(10950 * 1,32 / 2,32) = 6237$. Der finner man $1,32 = 3700 / 2800$. Sum ÅDT for Fv73 = $6237 + 2800 = 9037$.

Deretter deles 9037 mellom bruene (Fv73) og Fv72 (ÅDT = 1200) mot E134 som man antar at den delen er åpent mot Konsberg. Ny ÅDT for bruene blir: $(9037 * 2,33 / 3,33) = 6323$. Til slutt tar vi gjennomsnitt av alle ÅDT fra 3 situasjoner for å finne ut den omtrentlige ÅDT for Fiskum Bro:

$\text{ÅDT}_{\text{Fiskum Bro}} = (11683 + 12091 + 6323) / 3 = 10032$. Her er det viktig å nevne at man antar stengt E134 i løpet av 1 år.

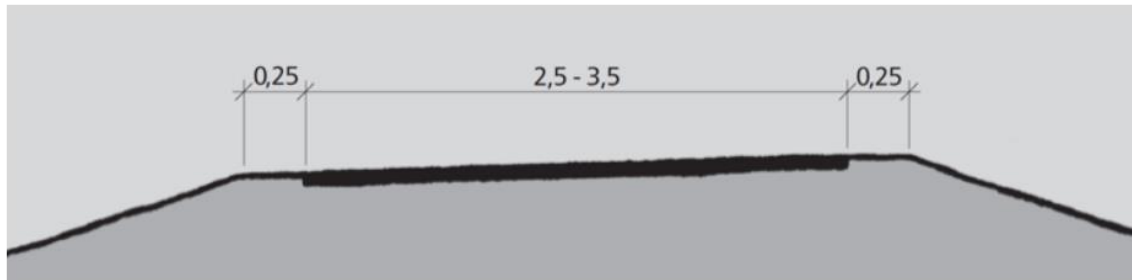
I følge figur 10.4.1 fra N100 håndboken om dimensjoneringsklasser for veg ser man at nærmeste kombinasjon for vår veg med fartsgrense = 50 km/t og ÅDT = 10 032 blir H1 = Nasjonale hovedveg (ÅDT < 12 000 og fartsgrense = 60 km/t) med følgende tverrprofil:



Figur 4.1.4: Tverrprofil H1- 8,5 m vegbredde og ÅDT 4000 -12 000 (mål i m)[24].

Her ser man kjørefelt 1 = 3,5 m, kjørefelt 2 = 3,5 m og skulder på ventre og høyre = 1 m. I temakapittel E.9: *Brue og tunneler* i N100 står “Veg på bru skal ha same bredde som tilstøtende veg. Denne bredden skal på bruer på 2-felts veg uten midtrekkverk ikke være mindre enn 7,5 m.”[24]. Derfor blir bredde til vegbruen **8,5 m**.

Når det gjelder gang- og sykkelveg har man følgende opplysninger fra N100:



Figur 4.1.5: Tverrprofil for gang- og sykkelveg (mål i m)[24].

Her varierer bredde til gang- og sykkelvegen fra 2,5 m til 3,5 m. I tillegg kommer en grusskulder på 0,25 m på hver side. Bredden bestemmes ut ifra figur 10.4.2. Der er *antall gående og syklende for maksimaltiden i et normaldøgn* dimensjonerende parametere. Den største bredden til gang- og sykkelveg i figur 10.4.2 (Tabell E.7 i N100) er 3,5 m.

Det står i N100 “*Fortaue eller gang- og sykkelveg skal ha uendret bredde over bru. Fortau skal minst være 2,5 m bredt. Gang- /sykkelveg som er skilt fra kjørebanelen med rekkverk, skal ha fri bredde mellom rekkverk på minimum 3 m.*”[24].

Det forventes at snø skal ryddes bort fra gang- og sykkelvegen av traktør. Etter alle disse forutsetningene kan man beregne total bredden for gang- og sykkelveg inkludert skulderene: $3,5 + 0,25 + 0,25 = 4 \text{ m}$.

Total bredde til Fiskum Bro blir: **Bredde_{Fiskum Bro} = 8,5 + 4 = 12,5 m.**

For å finne *lengde* må man først ta hensyn til flom problemet. Flom avhenger av det minste tverrsnitte arealet bruene skal ha og vannhastigheten. Det arealet, $A_{\text{minste tverrsnitt}}$, varierer med lengde til bruene, høyden fra bunnen til nederste brudelen over vannet, og formen av tverrsnittet. Man kan beregne $A_{\text{minste tverrsnitt}}$ fra formel (3): $Q = A v$. Q -verdine for Fiskum elva er målt og vist i figur 4.1.6-7. Hvis man måler/beregner v da kan man finne A og deretter eventuelle *lengde* og høyde.

Man kan finne gjennomsnitt vannhastigheten, v , ved to forskjellige måter:

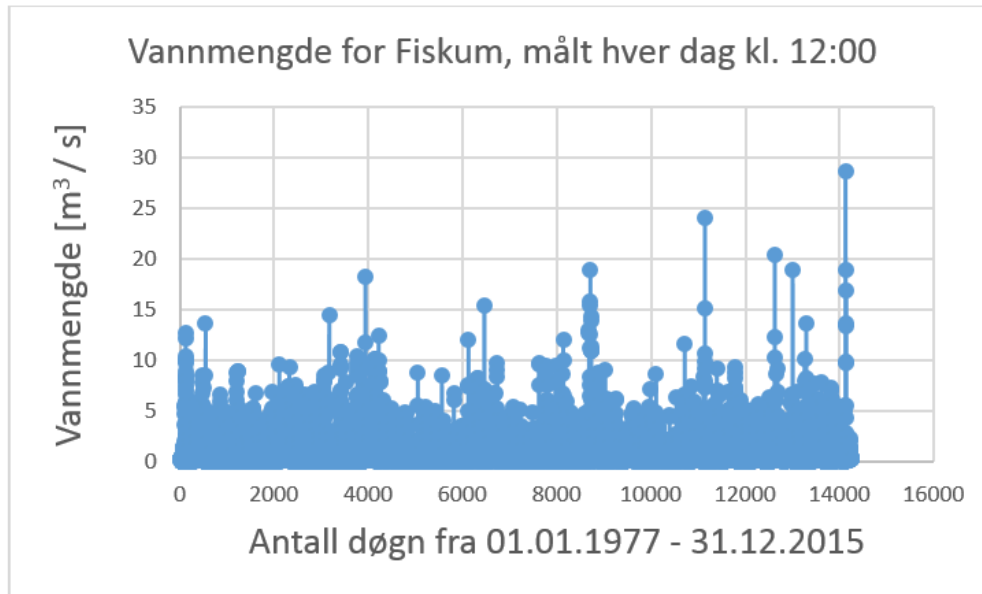
- Direkte malinger på stedet
- Bruke *Mannings formel* som forutsetter at vanntransporten ikke skjær i lukkede rør under trykk men i en fri vannflate inne i et rør, en kulvert eller en kanal[15]:

$$v = M R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

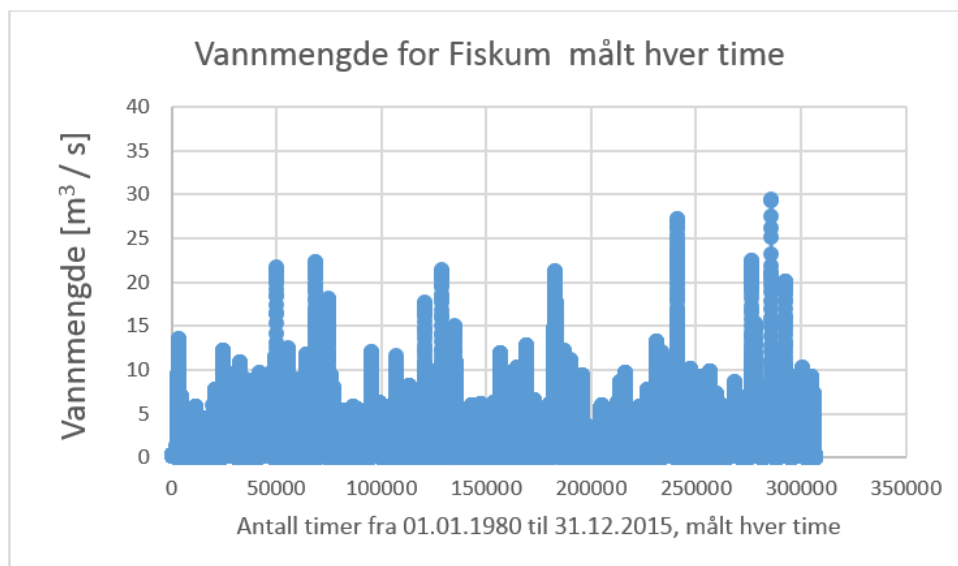
Der M = Mannings tall for friksjonsforholdene langs vegen tverrsnittet (Normal $M = 29$ for fjellgrøfter eller kanaler i fjell), R = hydraulisk radius (m), I = fallet på kanalen (m/m).

$$R = \frac{A}{P} \quad (8)$$

Der A = arealet av vått tverrsnitt, P = lengden av neddykket tverrsnitt.



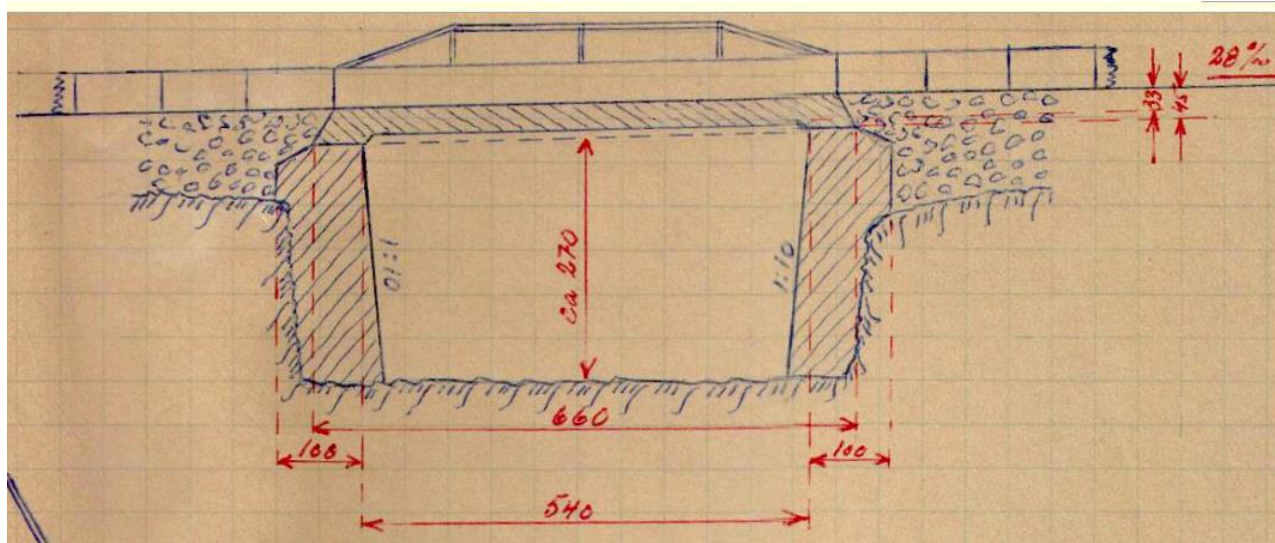
Figur 4.1.6: Vannmengde for Fiskum fra 01.01.1977 til 31.12.2015, målt hver dag kl. 12:00[25].



Figur 4.1.7: Vannmengde for Fiskum fra 01.01.1980 til 31.12.2015, målt hver time[25].

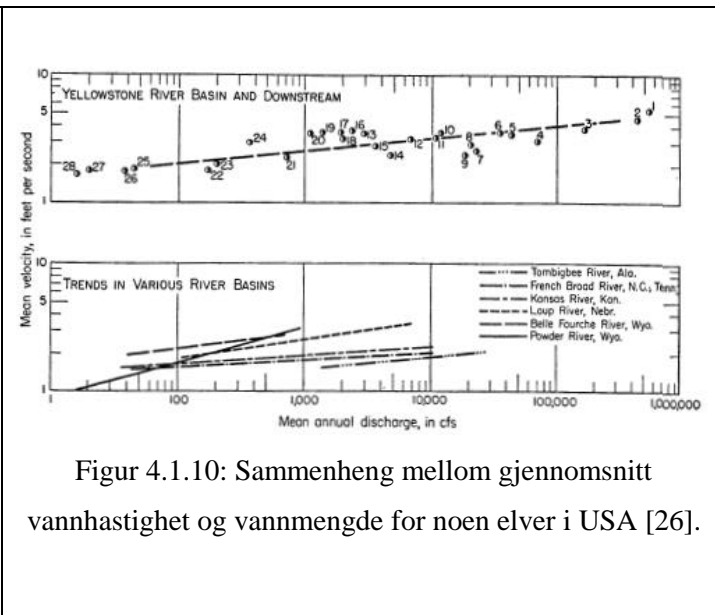
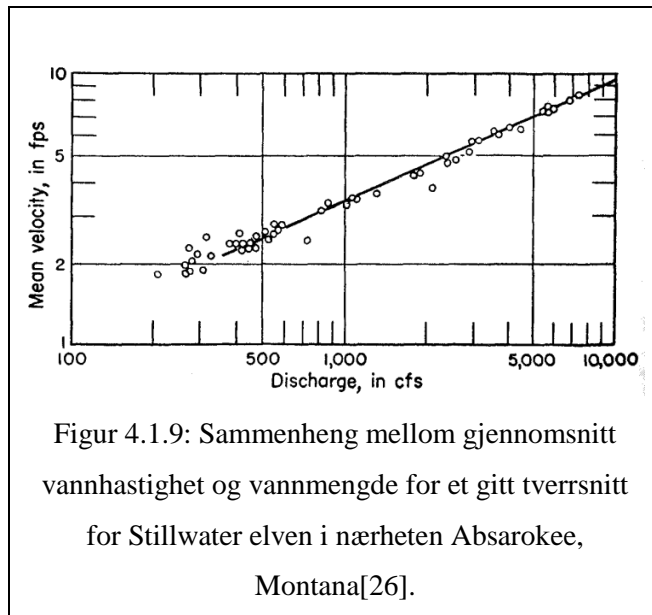
I figuren ovenfor var det mange timer uten måling registrert som -9999. Største verdi er 29,37 m^3/s . Men registrert malinger er mye mer enn det i figur 4.1.6.

Nåværende areal for Fiskum Bro, $A_{\text{Fiskum Bro, nå}}$ kan finnes fra følgende figur:

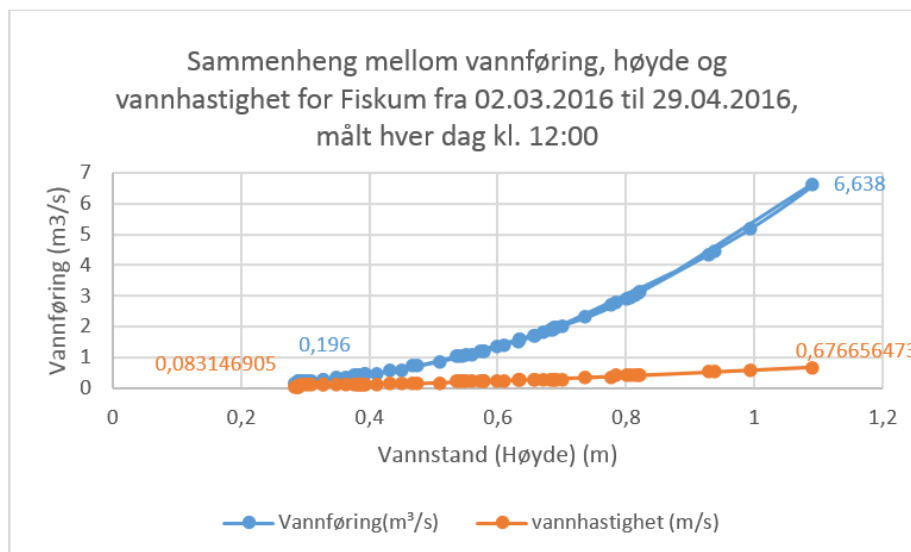


Figur 4.1.8: Skisse for å finne nåværende minste tverrsnitt areal av bruene.

Her ser man høyden (ca. 270 cm) opp til el-kabler som ligger cirka 35 cm under betongdekket. Høyden blir egentlig omtrent $270 + 35 = 305$. Men 4 bjelker under vegbru ligger cirka 15 cm under betongdekket. Da blir den siste høyden $305 - 15 = 290$ cm. Antar tverrsnittet som en trapes: $A_{\text{Fiskum Bro, nå}} = \{(540 + (540 - 29 - 29))/2\} * 290 = 14,819 \text{ m}^2 \approx 15 \text{ m}^2$. Fra vannmengde målinger ser man at vannmengden har en tendens til å øke hver år. Samtidig vet man at vannmengden ikke kan øke så mye før den treffes med bruene. Fordi vannet renner ut fra sidekantene av elven hvis vannmengde øker dramatisk. Her påvirker vannhastigheten, v , det dimensjonerende arealet mye. Derfor er det viktig å velge riktig vannhastighet.



Figurene ovenfor viser sammenheng mellom gjennomsnitt vannhastighet og vannmengde (1000 cfs = 28,32 m³/s) i noen elver i USA. Her ser man at økende vannmengde gir økende vannhastighet. v kan ha forskjellige verdier. For 1000 cfs er v mest rundt 2 m/s for flest elver men for Stillwater elven er mer enn 3 m/s. Det viktigste punktet er å se at vannhastigheten øker grunnet økende dypte selv om det forventes at vannet skulle miste hastigheten på grunn av minskende høydeprofil (fall) på veien nederst.



Figur 4.1.11: Vannmengde og vannstand for Fiskum fra 02.03.2016 til 29.04.2016, målt hver dag kl. 12:00 og vannhastighet antatt ved gjennomsnitt lengde på 9 m[25].

Samme ting ser man for Fiskum elven fra figuren ovenfor. Her antar man et trapes areal med en gjennomsnitt lengde på $l = 9$ m. Da blir arealet $A = h l = 9h$. Høyde, h , og vannføring, Q , varierer. Til slutt finner man vannhastigheten fra $v = Q/9h$.

En vannføring økning på $6,638 - 0,196 = 6,442$ m³/s gir en vannhastighet økning på $0,6766 - 0,0831 = 0,5935$ m/s. Dersom man antar lineær forhold mellom disse økningene og ($Q = 0$, $v = 0$), finner man den gjennomsnittlige vannhastigheten for 30 m³/s omtrent $= (30 * 0,6766) / 6,638 = 3,06$ m/s.

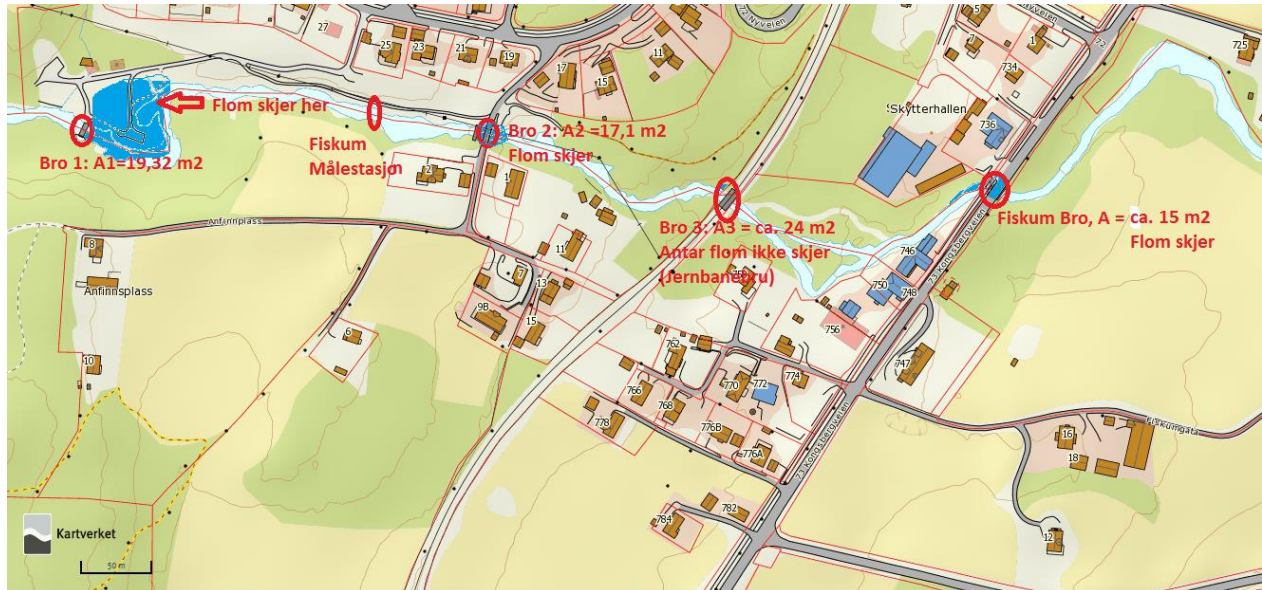
Man kan finne også v fra formel (7) og den andre versjonen for Mannings formel[28]:

$$v = 1,5 R^{2/3} \frac{s^{1/2}}{n} \quad (9)$$

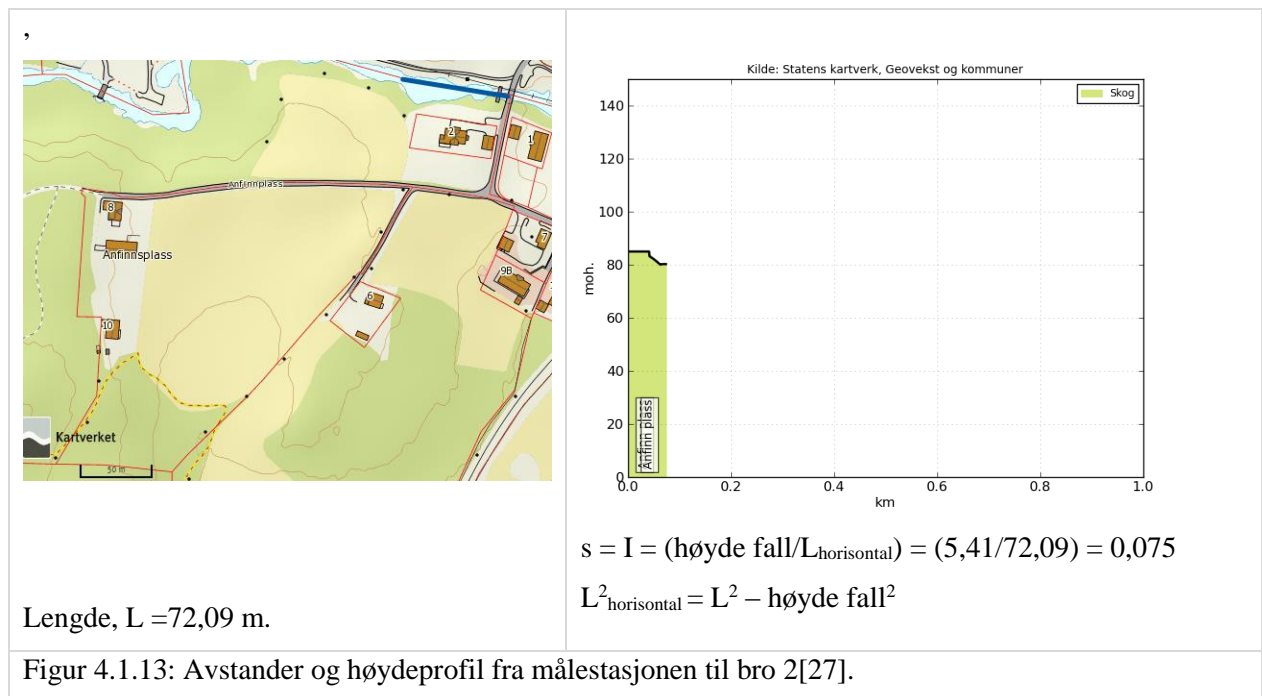
Der $n =$ ruhet, $s =$ stigningstallet for energi linjen som er lik stigningstallet for vannoverflaten for stabile strøm, det vil si $s = I$. $R =$ hydralisk radius samme i formel (8). For naturlige elver kan man anta[28] $R =$ dybde $= d$.

Man kan finne n fra figur 10.5.1 som er omtrent $n = 0,050$ for stabile elver med stein. $1,5/n = 1,5/0,050 = 30 = M$, Mannings tallet i formel (7), der $M = 29$. $R =$ dypte $= d =$ høyde, og man kan bruke dypten til Fiskum Bro når høyden tilfredstiller kravet (minst $0,5$ m under nederste brukomponent). Da finner man $d = 2,9 - 0,5 = 2,4$. Graver grunnet og /eller hever bruene $0,1$ m for å spare penger. Da blir dimensjonerende $R = d = h = 2,4 + 0,1 = 2,5$ m.

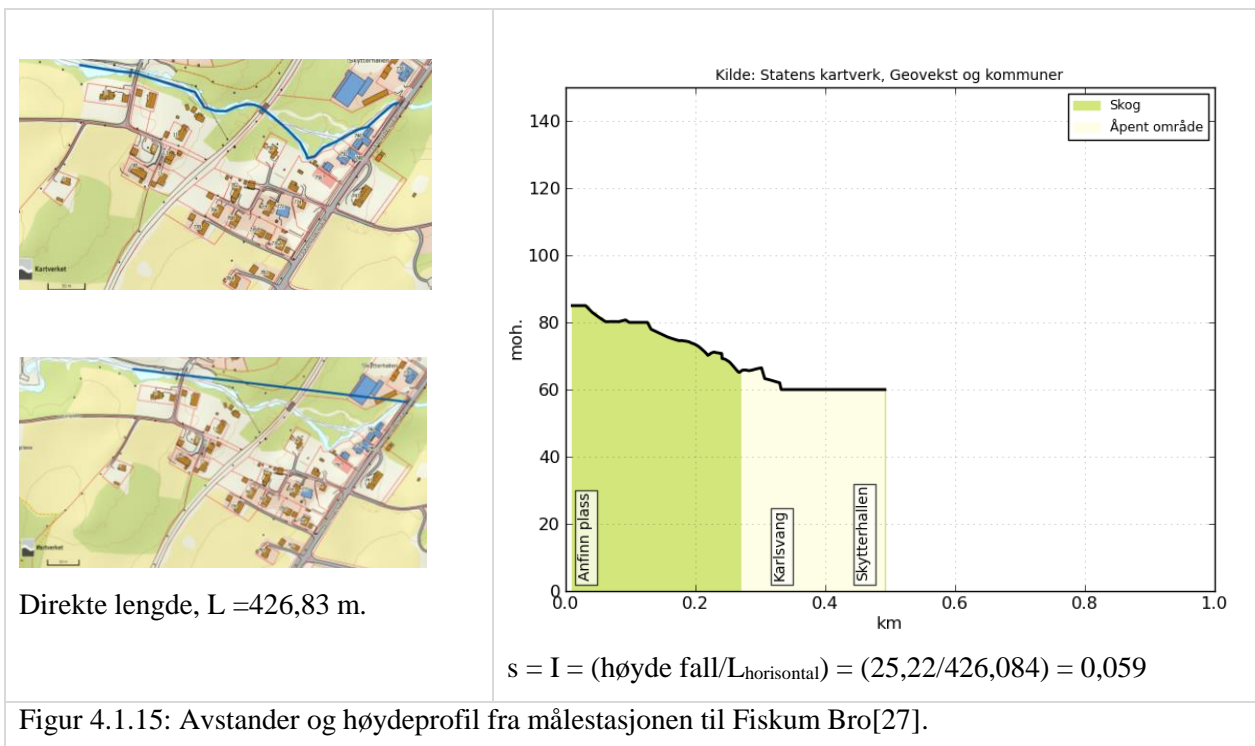
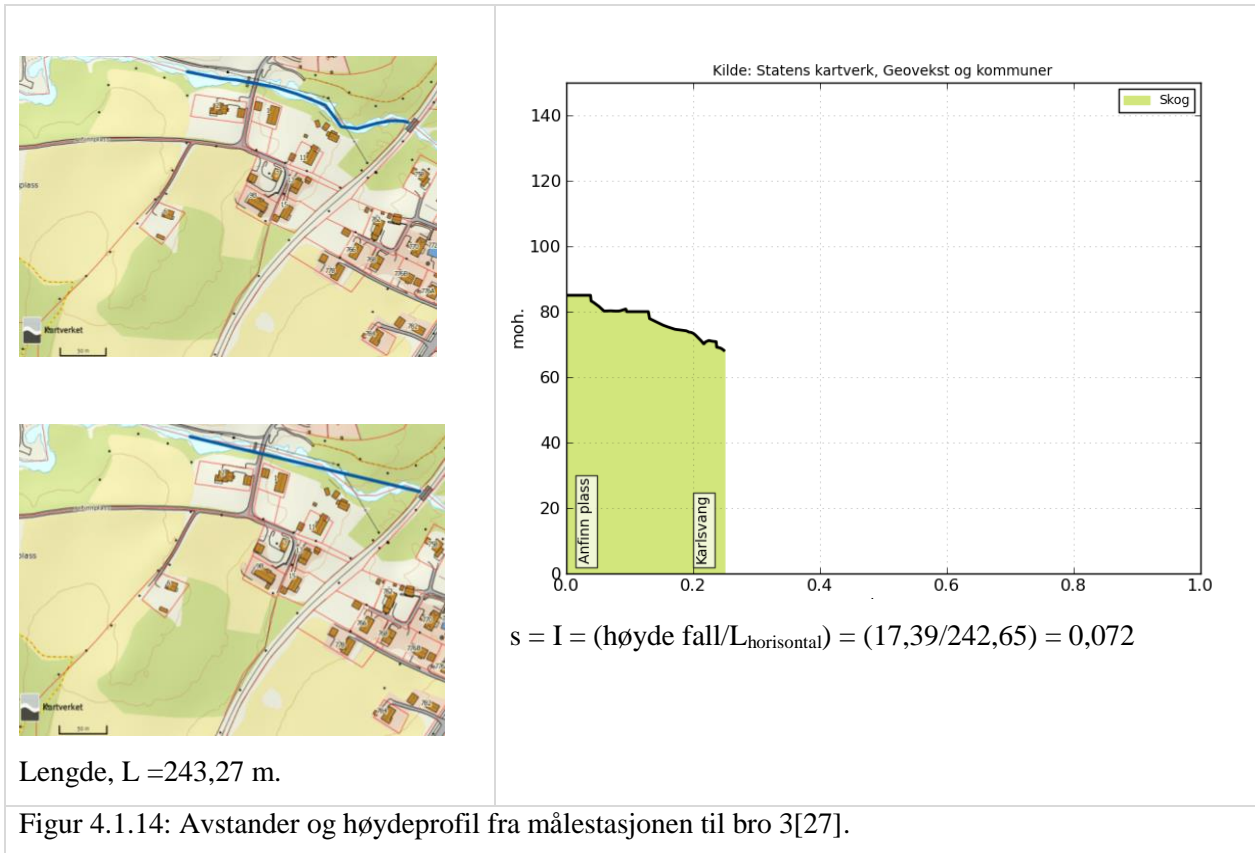
For å finne $s = I$ har man følgende opplysninger fra 3 andre bruer over Fiskum elva mellom Fiskum målestasjon og Fiskum Bro som er vist i figur 4.1.12. Arealene til bro 1, bro 2, bro 3 er målt og flom informasjonen er tatt av personer som bor i området. Mellom bro 1 og målestasjonen er området flate og elven har s-formen som fører til flom i det blått markede området. Derfor er det lurt å måle $s = I$ høyde fallet fra målestasjonen til bronene for å finne v fra formel (9).



Figur 4.1.12: Fiskum målestasjon, bro 1, bro 2, bro 3 og Fiskum Bro med tilsvarende nåværende arealer og flom informasjon[27].



Figur 4.1.13: Avstander og høydeprofil fra målestasjonen til bro 2[27].



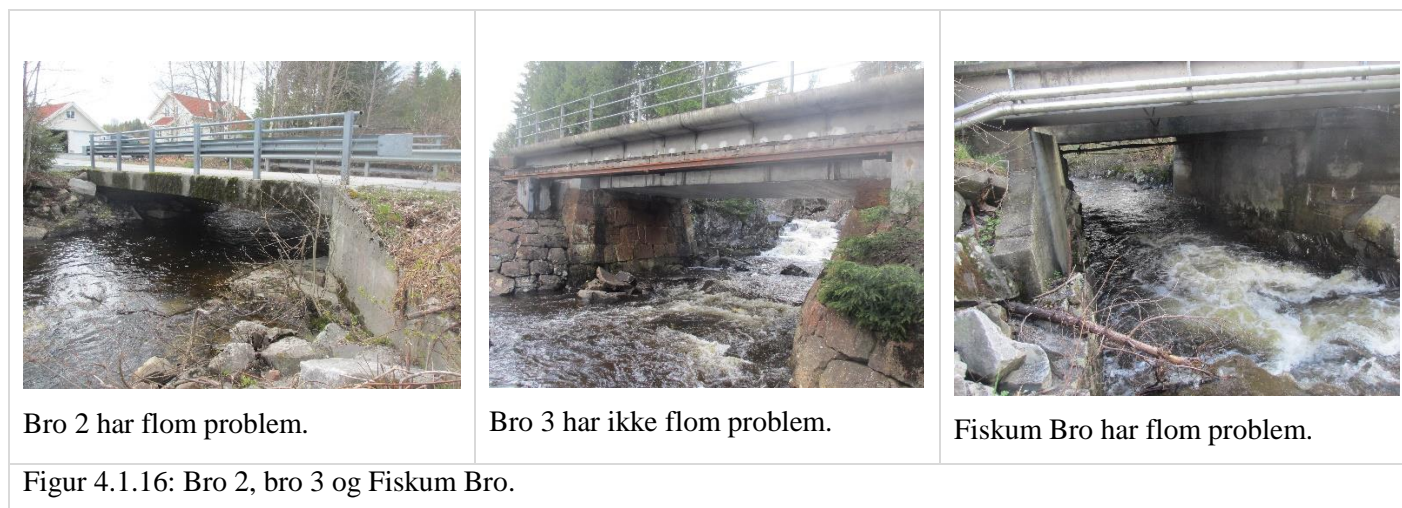
Bildene til bruene er vist i figur 4.1.16.

Tabell 4.1.1: Målte- og beregnede verdier for bruene.

	Lengde (m)	Høyde (m)	Areal nå (m ²)	Antar R = d (m)	M = 1,5/n = 30	s= I	$v = 1,5 R^{2/3} \frac{s^{1/2}}{n}$ (m/s)	Høyeste målt Q (m ³ /s) (ca. 30)	Flom
Bro 2	9	1,9	17,1	1,9	30	0,075	12,6	30	Ja
Bro 3	7,7	3,1	23,87	3,1	30	0,072	17,1	30	Nei
Fiskum Bro	5,17	2,9	15	2,9	30	0,059	14,8	30	Ja

Fra tabellen ovenfor ser man at v -verdiene er veldig store og representerer ikke virkligheten. Det viktigste grunnet er s -verdiene som er så store og bidrar mye til v -verdiene. Med slike vannhastigheten skulle ingen av bruene ha flom ifølge $Q = vA$. Dersom man kombinerer alle informasjon gitt til nå, kan man sette minste vannhastigheten med $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ til omtrent $v = 1,5 \text{ m/s}$. Fordi:

- Resultatene fra forskjellige elver i USA er minst $v = 2 \text{ m/s}$ for $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$
- Gjennomsnittlige vannhastigheten for $30 \text{ m}^3/\text{s}$ omtrent $3,06 \text{ m/s}$ fra vannføring - vannstand malinger for Fiskum målestasjon med antatt lengde på 9 m .
- Vannhastigene funnet for bruene med verdiene i tabell 4.1.1 er så store og ikke under $1,5 \text{ m/s}$.

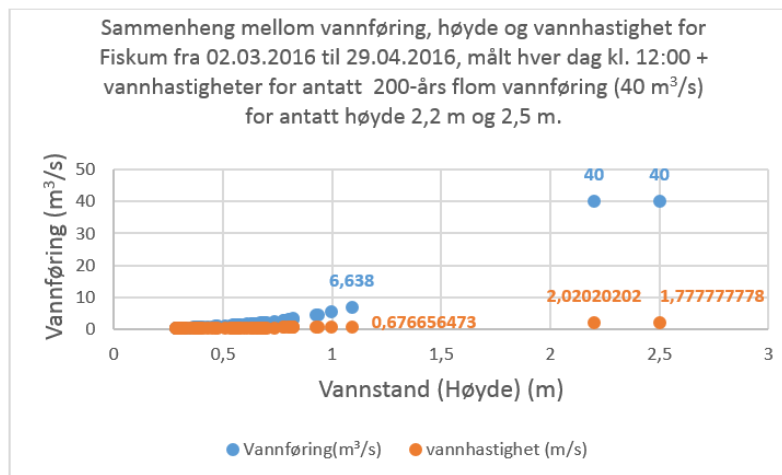


Sted	Middel flom (m ³ /s)	10-års flom (m ³ /s)	20-års flom (m ³ /s)	50-års flom (m ³ /s)	100-års flom (m ³ /s)	200-års flom (m ³ /s)	500-års flom (m ³ /s)
Ranelva ved Røssvoll	990	1300	1430	1610	1740	1870	2050
Langvassåga	250	320	350	390	420	450	500
Ranelva ved Reinfossen	1240	1620	1780	2000	2160	2320	2550

Fiskum Elva	13,6	21,5	-	31,5	≈ 35,5	39,5≈40	-
--------------------	-------------	-------------	---	-------------	---------------	----------------	---

Figur 4.1.15: Kulminasjonsvannføringer ved ulike gjentakintervall for Ranaelva ved Reinfossen og Fiskum elva [25 og 29].

Vannføring verdiene **13,6**, **21,5**, **31,5** og $Q_{5\text{-års flom-fiskum}} = 17,5 \text{ m}^3/\text{s}$ er beregnet av NVE. De andre **35,5** og **40** er estimert ved å bruke forholdet mellom verdiene for elvene i figuren ovenfor. Økende Q gir økende vannhastighet. Derfor øker vi vannhastigheten fra $v = 1,5 \text{ m/s}$ for $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ til $v = 1,75 \text{ m/s}$ for $Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$. Figuren nedenfor støtter også dette:



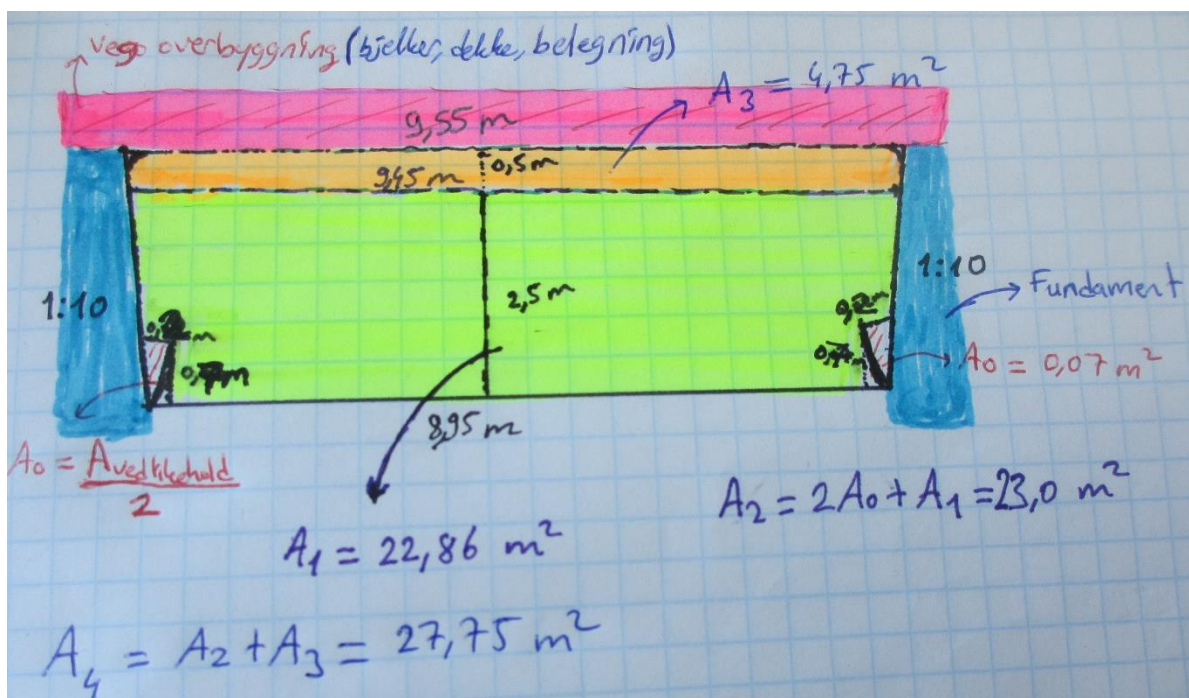
Figur 4.1.17: Vannmengde og vannstand for Fiskum fra 02.03.2016 til 29.04.2016, målt hver dag kl. 12:00 og vannhastighet antatt gjennomsnitt lengde på 9 m[25].

Her er alt samme som i figur 4.1.11. Eneste forskjell er å estimere vannhastighet ved å sette vannstand til 2,2 m og 2,5 m for $Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$. Nå kan man beregne lengde til Fiskum Bro ved å bruke følgende verdier:

- Dimensjonerende vannmengde, $Q_{dim,200 \text{ år}} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$
- Dimensjonerende høyde, $h = 2,5 \text{ m}$
- Dimensjonerende vannhastighet, $v = 1,75 \text{ m/s}$

Dimensjonerende areal for Fiskum Bro uten 0,5 m klaring under overbygningen blir $A_{dim, Fiskum Bro} = Q_{dim,200} \text{ år} / v = 40 / 1,75 = 22,86 \text{ m}^2 + A_{vedikehold} \text{ på } 0,14$. Dermed blir $A_{dim, Fiskum Bro} \text{ uten } 0,5 \text{ klaring} = 23,00 \text{ m}^2 = A_2$. Med 0,5 m klaring antatt trapes areal blir $A_{dim, Fiskum Bro} \text{ med } 0,5 \text{ m klaring til overbygningen} = A_4 = 23,00 + 4,75 = 27,75 \text{ m}^2$.

Gjennomsnitt lengde til Fiskum Bro uten 0,5 m klaring under overbygningen, $Lengde_{Fiskum Bro} \text{ uten } 0,5 \text{ klaring} = A/h = 23/2,5 = 9,15 \text{ m}$. Overste side av trapesen er 9,45 m. Med 0,5 m klaring antatt trapes form med 1:10 helning blir den overste siden, $Lengde_{Fiskum Bro} \text{ med } 0,5 \text{ klaring overste side} = 9,45 + 0,05 + 0,05 = 9,55 \text{ m}$. Figuren nedenfor viser alle disse verdiene.



Figur 4.1.18: Tverrprofil for den nye Fiskum Broen med dimensjonerende arealer og lengder.

4.2 Tiltak for flom

Det skjer flom på grunn av følgende:

- Arealet til næverende Fiskum bro er ikke stort nok.
- Tverrsnittet som vannet forlater bruene er trangt.

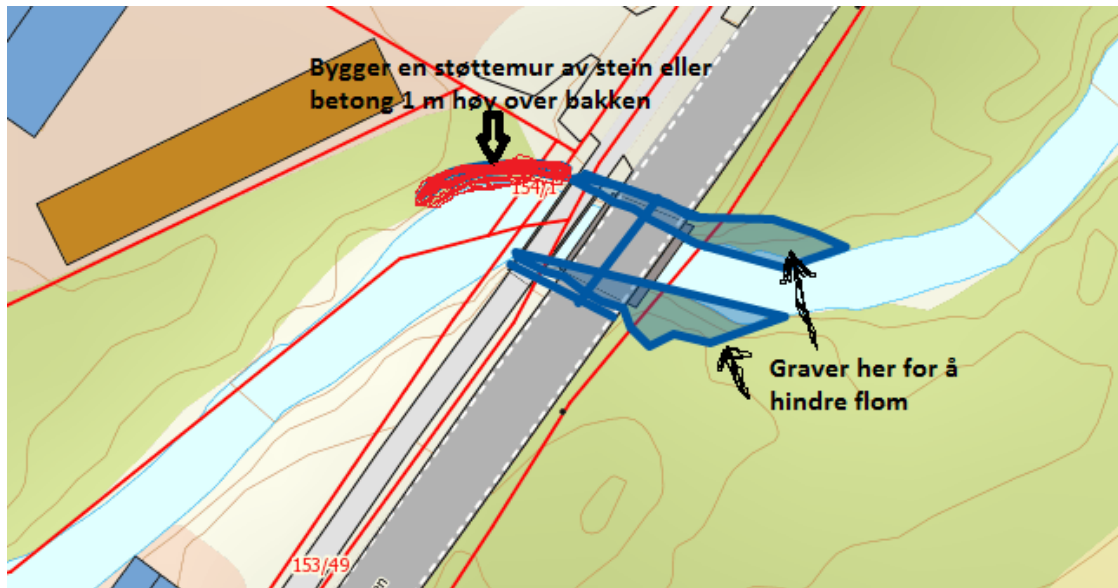
- Vestre kantsiden før vannet treffes med bruene er lavt. Der skjer flom. Nåværende tiltak er et flom infiltrasjonsrør.

Disse problemene må løses. Følgende 2 figurer viser bruene og tiltakket som kan hindre flommen:

- Øke arealet ($A_{nå} = 15 \text{ m}^2$, $A_{ny} = 27,75 \text{ m}^2$)
- Bygge en støttemur av helst stein ca. 1 m over bakken
- Øke tverrsnittet som vannet forlater bruene slik at vannet ikke blir stående og renner bort lett



Figur 4.2.1: Fiskum Bro ved flom opplysninger og plassering av fremtidige støttemur.



Figur 4.2.2: Fiskum Bro ved flom opplysninger og plassering av fremtidig støttemur[27].

For å finne nødvendig steinstørrelse kan man anta vannhastigheten på $v = 5 \text{ m/s}$ for verste tilfeller og bruke følgende formel [30]:

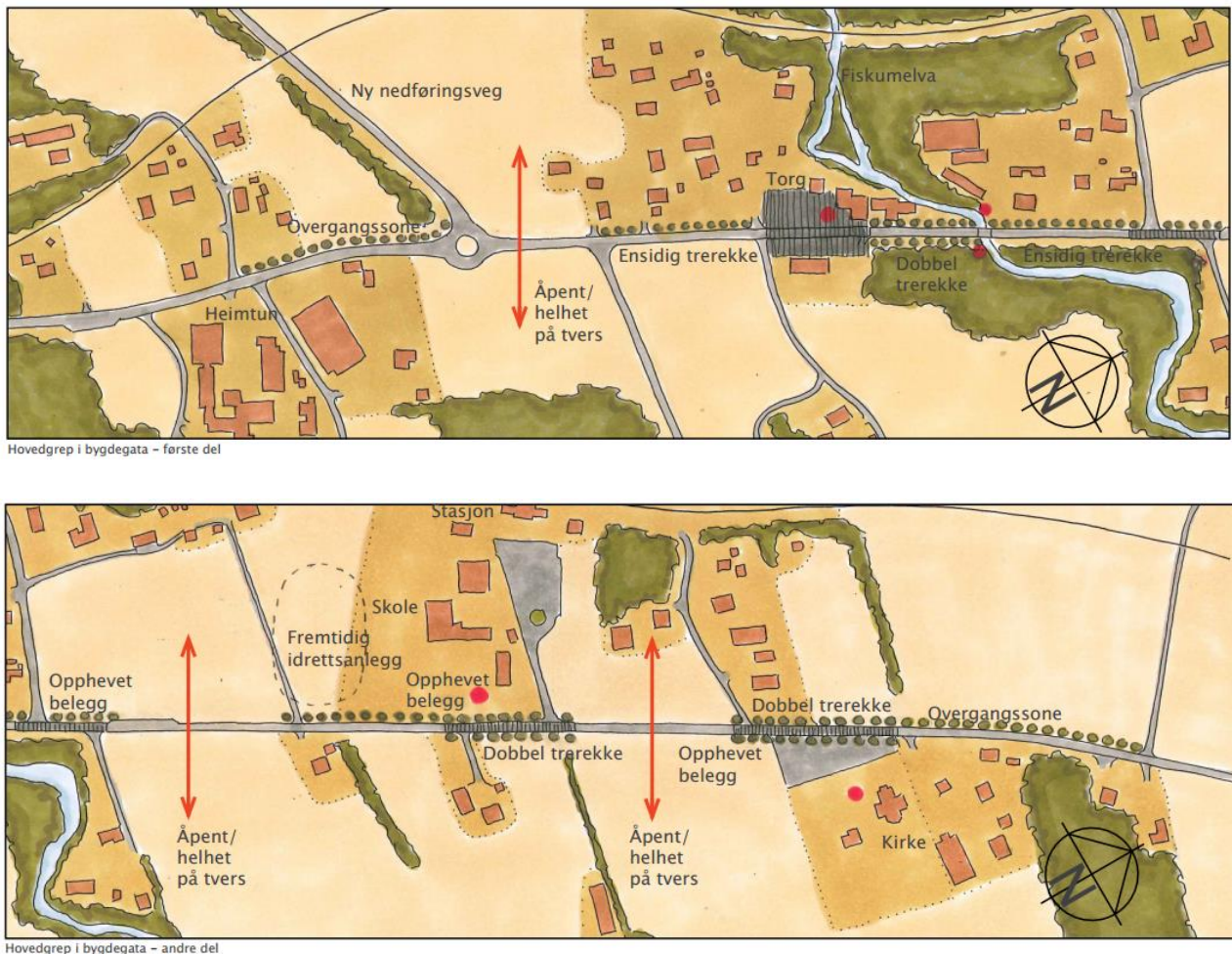
$$D_{50} = \frac{1}{0,05 (s-1)} \frac{v^2}{M^2 R^{1/3}} \quad (10)$$

Der D = steinstørrelse (m), s = spesifikk tetthet = steinens tetthet / vannets tetthet, v = vannhastighet, M = Mallings tall, R = Hydraulisk radius. D_{50} er den sikkestørrelsen som 50 % av steinmaterialet passerer. $0,05$ i formelen er C = dimensjonsløs skjærspenning. $C = 0,05$ er grensen for hva bunnmaterialet tåler før det begynner å bevege seg for vanlige strømtilfeller i vassdrag med grus eller grovere bunn. Dersom man velger marmor steintype ($\rho_s \approx 2500 \text{ kg/m}^3$), vanntetthet $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$, blir $s = \rho_s / \rho = 2,5$. Velger $M \approx 30$, $R \approx 1,3$ for et trapes areal (med bunn = 8 m, top = 12 m, høyde = 3 m full flom opp til øverste stein i støttemuren) og finner $D_{50} \approx 0,34 \text{ m} = 34 \text{ cm}$. Dette er karakteriske verdien. Derfor er lurt å øke den til $D_{50} = 50 \text{ cm}$ med tanke på en lastfaktor av cirka 1,5. Dette tallet 50 cm gjelder for vannstand ned til 3 m. Men man vet at det er fjell som starter omtrent 0,5 m under bakken. Derfor blir høyden av støttemuren $0,5 + 1 = 1,5 \text{ m}$ fra fjellet. Lengden følger linjen i figur 4.2.1 som er cirka 15 m. Helningen kan velges 1:10. Volumet av støttemur, antar som en rektangulær prisme for enkelshet skyld, er $V_{\text{støttemur}} \approx 1,5 * 15 * 0,5 = 11,25 \text{ m}^3$. Virkelig volumet er mindre enn den og man kan anvende stein og jorda fra gravet området.

Arealet som skal graves kan utføres omtrentlig som i figuren ovenfor. Dette blir cirka summen av 2 rettvinklede trekanter med lengde på 3 m og høyde på 10 m. $A_{\text{gravet}} \approx 2 * (3 * 10 / 2) \approx 30 \text{ m}^2$. Dypben tilpasser seg til elven og antar 3 m. Da er volumet, $V_{\text{gravert}} \approx 30 * 3 \approx 90 \text{ m}^3$.

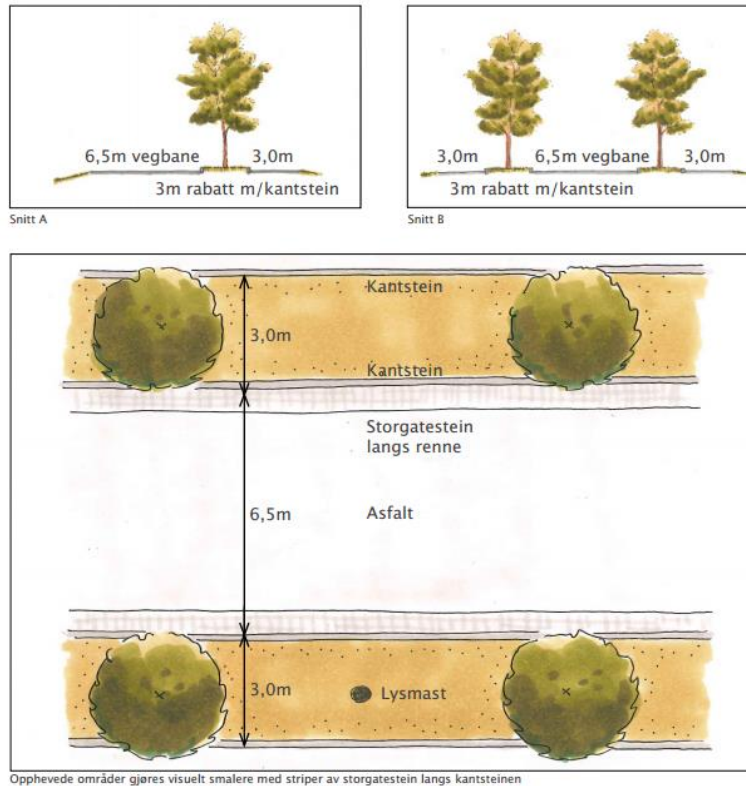
4.3 Fartsdempende tiltak

Fiskum grendeutvalg og Øvre Eiker kommune har følgende fremtidige fartsdempende tiltak i Fiskum:



Figur 4.3.1: Illustrasjoner som viser fremtidige fartsdempende tiltak i Fiskum, opphevet belegg[1].

Fartsgrensen på Fv 73 fra Drammen og Kongsberg til Darbu (Fiskum) er 80 km/t. Denne farten skal reduseres til 50 km/t ved hjelp av opphevet belegg som vist i figur 4.3.1 og figur 1.1.3 før og etter Fiskum Bro. Figuren nedenfor viser plan- og tverrprofiler i opphevede områder. Opphevede områder gjøres visuelt smallere med striper av storgatestein langs kantsteinen.



Figur 4.3.2: Illustrasjoner for opphevede områder, plan- og tverrprofil[1].

Det forventes at dette tiltaket skal redusere farten fra 80 km/t til 50 km/t. Fiskum Bro skal også bidra ved hjelp av et tiltak som tilpasser seg til bruene.

Håndboken “V128 - Fartsdempende tiltak” av Statens vegvesen inndeles fartsdempende tiltak i fysiske og andre tiltak som er vist i følgende figur og bildene til disse tiltakene i vedlegg F. Man ser at mange av disse tiltakene bestemmes av flere parametere slik som: *fartsgrense, ÅDT, samtidig møtende tunge kjøretøy, motorsykkel, tettbygd strøk eller ikke, støyforhold*. De har både fordeler og ulemper. For eksempel, er det naturlig å velge *humper* (en forhøyning av vegbanen) dersom det eneste målet er å redusere farten. Hvis man velger *rumlefelt* (striper på tverr av vegen) øker støyivået med cirka 2 dBA[31].

Fiskum grendeutvalg og Øvre Eiker kommune har valgt *visuelle virkemidler* som fartsdempende tiltak, vist i figur 4.3.2. Dette benyttes for å få vegen til å virke smalere eller kurvaturen knappere enn den er i virkeligheten. Innsnevring av kjørebane ved hjelp av oppmerking kan regnes som et visuelt virkemiddel. I dette tilfellet er det striper av storgatestein langs kantsteinen. Som løsning kan man også benytte dette tiltaket for bruene. En annen aktuell løsning kan være *hump av asfalt*

og prefabrikkerte betong elementer vist i figur 4.3.3. Dette tiltaket krever betongelementer med høy kvalitet.

2 Oversikt over fartsdempende tiltak.....

2.1 Fysiske fartsdempende tiltak.....

- 2.1.1 Humper.....
- 2.1.2 Dumper.....
- 2.1.3 Innsnevring.....
- 2.1.4 Innsnevring av kryss.....
- 2.1.5 Sideforskyvninger.....
- 2.1.6 Kombinerte fysiske tiltak.....
- 2.1.7 Rundkjøringer.....
- 2.1.8 Miljøgater.....
- 2.1.9 Gatetun.....
- 2.1.10 Rumlefelt.....

2.2 Andre fartsdempende tiltak enn fysiske.....

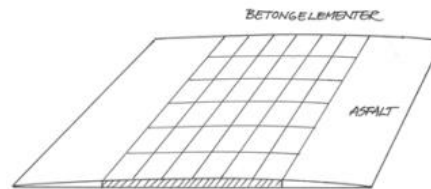
- 2.2.1 Skilting.....
- 2.2.2 Oppmerking.....
- 2.2.3 Vekslede ensidig parkering.....
- 2.2.4 Signalregulering.....
- 2.2.5 Portaler.....
- 2.2.6 Visuelle virkemidler.....
- 2.2.7 Automatisk trafikkontroll (ATK).....
- 2.2.8 Fartsmålingstavler.....
- 2.2.9 Kampanjer, informasjonsskilt mv.....
- 2.2.10 Automatisk fartstilpasning.....
- 2.2.11 Straffereaksjoner, overvåking og kontroll.....

Figur 4.3.1: Fartsdempende tiltak[31].



2.11 Visuelle fartsdempende tiltak

Figur 4.3.2: Visuelle fartsdempende tiltak[31].



Figur 4.25 Hump av asfalt og prefabrikkerte betongelementer

Figur 4.3.3: Hump av asfalt og prefabrikkerte betong elementer[31].

4.4 Tiltak for identitet

Det største utfordringen ved å understreke stedets identitet var å finne ut om bruene var kulturminne eller ikke, og hvis ikke hvor mye frihet man har fremdeles til å utforme den igjen. Svaret er hentet av Bent Ek fra Øvre Eiker kommune. E-posten fra Bent er vist i følgende figur. Fiskum Bro er ikke kulturminne og dette har gitt oss frihet å utforme bruene som i figur 4.1.18.

Ek, Bent <Bent.Ek@ovre-eiker.kommune.no>
To 'Celal Ceyhan'

Today at 12:43 PM *

Hei.

Denne brua er ikke registrert som kulturminne av Riksantikvaren, og den er heller ikke med blant de kulturminnene som vil bli vurdert i forbindelse med Øvre Eiker kommunes kommunedelplan for kulturminner og kulturmiljøer. Så her er det ingen begrensninger når det gjelder hensynet til kulturminnevernet.

Med vennlig hilsen
Bent Ek
Eiker Arkiv/kulturminnevern



Kulturseksjonen
Tlf./mobil: +47 984 22 480
E-post: bent.ek@ovre-eiker.kommune.no
Web: www.eiker.org

Sammen skaper vi et livskraftig Øvre Eiker 

Figur 4.4.1: E-post fra Bent Ek [31].

Siden bruen hadde hatt en bue form fra før, og la trafikkantene føle at de kjører gjennom en bru, kan man velge en bue-form som ligner *Stampen bru* i Brumunddal vist med figuren nedenfor.

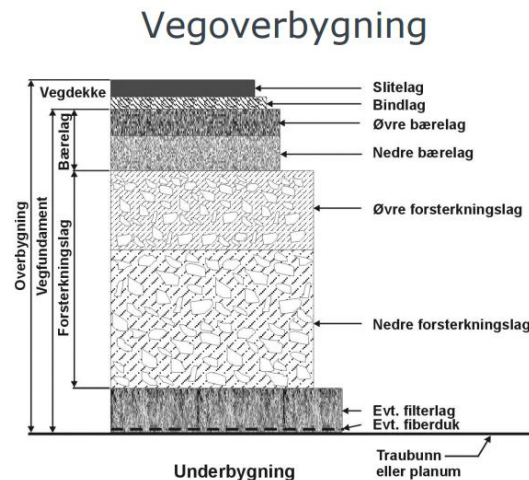


Figur 4.4.2: Stampen bru i Brumunddal[32].

Her buene bærer konstruksjonen. I vårt tilfellet bærer enten betong- eller stål bjelker plassert direkte på fundamente konstruksjonen. I tillegg ligger buene helt på ytterste sidene av bruen. Buene kan festes til ytterste horisontalle bjelkene for å bidra til øke bære kapasitet til bjelkene. En *mørk koksgrå* farge som nærmer seg svart kan benyttes å male stål- buer. Dersom man velger tre- buer, benyttes en *mørk brun* farge. Disse fargene er anbefalt i Fiskum[1]. Et annet bidrag er å bruke *stein* enn betong for støttemur.

4.5 Laster

Før man finner lastene er det viktig å finne ut hvordan vegoverbygning skal treffes med bruene. Figuren nedenfor viser lagene som fins i vegoverbygning. Den består av *vegdekke*, *bærelag*, *forskerkningslag*, evt. *filterlag* og *fiberduk*. Undergrunn material er fjell i området. I følge N200, Figur 510.3 side 211 blir telefarlighetsgruppe for fjellskæring, stein fylling: T1 = Ikke telefarlig. *Lagtykkelse for dekke* (stivdekke, ÅDT >5000) blir 4,5 over 3,5 = 8 cm av bituminøse masser.



Figur 4.5.1: Tverrprofil for vegoverbygning[22].

Trafikklassen for gitt ÅDT-tunge ≈ 400 , antall kjørefelt =2, tillatt aksellast = 10 tonn, dimensjonerende periode = 20 år, og trafikkvekst = 2 %, blir omtrentlig mellom C og D i Figur 510.2 i N200. Velger **D**. Fra Figur 512.2 i N200 finner man lagtykkelse for bærelaget for trafikkklasse D = 12 cm Asfaltert grus (Ag) og fra samme figur blir forsterkningslagtykkelse = 30 cm. Ingen behov for frostsikring for T1 klasse (side 217 i N200) da finner man tykkelsen til **vegoverbygningen** $8 + 12 + 30 = 50$ cm. Dette tallet sier at undergrunnet er fjell (stein) etter 50 cm.

4.5.1 Permanente laster

4.5.1.1 Jordtrykk

Fra Figur 3.3.1 ser man at vanntrykk påvirker på en dam som står rettvisklet med bunnen.

Trykket øker med økende høyde. Man antar *tilslag-vanlig* som jordmasse med tetthet[33] $\gamma = 25$ kN /m³. $P = \gamma h = 25 * 0,5 = 12,5$ kN/m² trykk i bunnen. Øverst når $h=0$ er $P = 0$. Dette danner en trykktrekant. Arealet av trykktrekant = grunnlinje*høyde/2 = $12,5 * 0,5/2 = 3,125$ kN/m.

Resultantkraft for 12,5 m bredde og 0,5 m høyde er $F_R = 3125 \text{ N/m} * 12,5 \text{ m} = \mathbf{39,063 \text{ kN}}$ og virker på fundamentene 0,33 m under bruoverbyggingen.

4.5.1.2 Egenlast

Her har man egenlaster fra:

- Belegning inkludert fartsdempende tiltak (betong elementer eller storgatestein) og rekkverk, kantdrag, VA-ledninger:
 - ✓ *Belegning*: For $\text{ÅDT} \geq 2000$ og spennvidde $l \leq 10 \text{ m}$ har man $\mathbf{5,0 \text{ kN/m}^2}$ (200 mm). Belegningsklasse for stor slitasje, mye salting, $\text{ÅDT} \geq 2000$ er **A3**. A3 er asfaltslitelag med full fuktisolering av brudekket. Fra N200 er tykkelsen for vegdekket funnet 8 cm. Tyngdetetthet $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ for *støpasfalt og asfaltbetong*[33]. Volumet av belegning $V = 10 \text{ m} * 12,5 \text{ m} * 8 \text{ cm} = 10 \text{ m}^3$. **Egenlast av belegning $\approx 10 * 25 = \mathbf{250 \text{ kN}}$.**
 - ✓ *Prefabrikerte betongelement for fartsdempende tiltak*: Antar høy kvalitet betong element, tyngdetetthet $\gamma = 30 \text{ kN/m}^3$. Antar høyde i midten = 10 cm og total lengde = 5 m. Volumet $\approx (2,5 * 0,01/2) * 2 * 6,5 = 0,1625 \text{ m}^3$. **Egenlast av betong elementen = $\mathbf{4,88 \text{ kN}}$.** En trekantlast på midten av kjørefeltene.
 - ✓ *Kantstein for fartsdempende tiltak*: Tyngdetetthet $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$. Volumet = $10 \text{ m} * 20 \text{ cm} * 30 \text{ cm} = 0,006 \text{ m}^3$. Egenlast av kantstein $\approx \mathbf{0,15 \text{ kN}}$.
 - ✓ *Rekkverk*: Velger H2 og stålrekkverk[35] = 0,5 kN/m. Tre rekkverk med lengde 10 m gir total egen last for rekkverkene = $0,5 * 10 = \mathbf{5 \text{ kN} + 5 \text{ kN} + 5 \text{ kN}}$.
 - ✓ *VA-ledninger inn i kantdrager på gang- og sykkelveg*: Antar fylt 2 rør med $D = 20 \text{ cm}$, $A = 0,03 * 2 \text{ m}^2$ gir **egenlast for VA-ledninger = $\mathbf{0,6 \text{ kN/m}}$.**
 - ✓ *Kantdrager (opphøy sidekant på bru)*: Høyde = 0,8 m[36], Antar bredde = 0,5 m, rektangulær form, $A = 0,8 * 0,5 - 0,06$ (VA-ledninger) = $0,34 \text{ m}^2$, lengde 10 m gir $V = 0,34 * 10 = 3,4 \text{ m}^3$. Dette gir $3,4 * 25 = \mathbf{85 \text{ kN}}$. På den andre ytterrekkverk kan man velge kantdrag mindre: høyde = 0,3, bredde = 0,4, lengde = 10 m. Da $V = 1,2 \text{ m}^3$. Egenlast for kantdragen blir = $\mathbf{30 \text{ kN}}$.

- **Betongdekke:** Antar 60 cm armert betong dekke \rightarrow Tyngdetetthet $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, bredde = 12,5 m (inkludert gang- og sykkelveg), lengde = 10 m. **Total egenlast av betongdekke = 1875 kN.**

Disse lastene er vertikale og overføres til fundamentene som ligger på fjell.

4.5.2 Variable laster

Variable laster er laster som varierer i tid, og omfatter: **trafikklaster** og **naturalaster**. Naturalaster er snø, vind, bølger, strøm, vannstands- og grunnvannstandsvariasjoner, variasjoner i vannetstetthet, is, temperature og jordskjelv.

4.5.2.1 Snølast

I følge N400 [33] regnes snølast ikke å opptre samtidig med trafikklaster på vegbruer, gangbruer.

4.5.2.2 Vanntrykk

Vanntrykk ligner jordtrykk hvis grunnvanntilstanden ligger flere meter nede som i vårt tilfellet. Derfor blir formelen samme. Eneste forskjell er vanntetthet istedet for jordtetthet. $P = \rho gh$, med $h = 3 \text{ m}$, $\rho g = 10\,000 \text{ N/m}^2$ og finner $P = 30\,000 \text{ N/m}^2$ trykk i bunnen. Øverst når $h=0$ er $P = 0$. Dette danner en trykktrekant. Arealet av trykktrekant = $30\,000 \cdot 3/2 = 45 \text{ kN/m}$. Dette gjelder også hvis man ikke hadde fjell. I vårt tilfellet er $P = 10\,000 \cdot 0,5 = 5000 \text{ N/m}^2$. Da blir arealet av trykktrekant = $5000 \cdot 0,5/2 = 1,25 \text{ kN/m}$. Denne lasten virker horisontal på fundamentene når man antar vanntilstand når bruoverbygningen (høyere enn 200-års flom). Resultantkraft for 12,5 m bredde og 0,5 m høyde er $F_R = 1250 \text{ N/m} \cdot 12,5 \text{ m} = 15,625 \text{ kN}$ og virker på fundamentene 0,33 m under bruoverbygningen.

4.5.2.3 Trafikklaster

Her er *Håndbok N400* og *R412*[34 og 35] brukt som kilde.

1- Trafikklaster på vegbruer > Last på kjørebane og skulder:

- **Vertikal last:** Last type V1 og V2 forutsettes plassert innenfor ett lastfelt, en 3 m bred flate med lengde lik brulengden. I bruas lengde- og tverretning plasseres trafikklaster vilkårlig for at ugunstigste lastvirkning oppnås. Last type V1 og V2 er vist i vedlegg H. V1 kan være dimensjonerende for bruene som har brulengde 9,55 m + noen cm som skal

trenges for å sette på fundamentene ≈ 10 m. Total vertikallast for **tofelt** = 210 kN + 210 kN + 210 kN + 9 kN/m * 10 m = **1440 kN**. Plasseringen skjer som i vedlegg H.

- **Horisontal last:** Horisontale trafikklaster er bremselast sidelast og sentrifugallast. Disse lastene kan ikke opptre alene, bare samtidig med tilhørende vertikale trafikklaster.
- **Bremselast:** Man beregner virkingen av kjøretøyers bremsing og akselerasjon i ett lastfelt med en horisontallast $B = 200$ kN ved effektiv brulengde $L \leq 10$ m. Effektiv bruengde er den samlede lengden av den eller de brudeler som samtidig kan overføre bremselast til den konstruksjonsdel som skal dimensjoneres. Denne lasten forutsettes å virke i bruas lengderetning i høyde med kjørebanen, og kan antas jevnt fordelt over hele kjørebanens bredde. **Bremselast** blir = $B/12,5$ m = $200 / 12,5 = 16$ kN/m.
- **Sidelast:** Denne lasten er virkingen av skjev eller usymmetrisk bremsing av kjøretøy, sidestøt og beregnes på grunnlag av en vilkårlig plassert horisontallast $S = 25$ % bremselasten = $0,25 * 16 = 4$ kN/m. Den virker vinkelrett på bruas lengderetning og i høyde med kjørebanen.
- **Sentrifugallast:** Denne lasten virker ikke samtidig med bremselast og sidelast. Den virker i høyde med kjørebanen og ved R (horisontalkurvens radius) ≥ 1500 m trenger man ikke ta hensyn til denne lasten.

> **Utmaningslast:** Den består av 3 aksellaster med innbyrdes avstand vist i vedlegg H for last type V1. Aksellastene avhenger av antall ADT-tunge. For 10 % ÅDT-tunge bruker man **3*80 kN** dersom det ikke utføres en nøyaktigere bestemmelse av utmattingslasten.

2- Trafikklast på gangbruer > Last på brubane:

- **Vertikal last:** Man bruker G2 eller G3 lasttype. G2 lasten består av to aksellaster på 60 og 30 kN med akselavstand 3 m fordelt på to hjullaster på henholdsvis 30 og 15 kN med senteravstand 1,8 m. G2 skal plasseres i ugunstigste stilling i lengderetning, og dekker hele brubredde mellom rekkverkene. Total vertikallast fra G2 er **90 kN**. G3 består av en enkel hjullast på 30 kN, med anleggsflate 0,2 m i lengderetningen. Minste avstand fra anleggsflatens sentrum til rekkverk eller annen sidehindring er 0,35 m. Lasten skal plasseres i ugunstigste stilling i lengde- og tverretningen. Total vertikallast fra G3 er **30 kN**.

- **Horisontal last:** Når gangbruer har føringsavstand $\geq 2,5$ m skal de belastes med bremselast og samtidig sidelast, som begge virker horisontalt i høyde med brudekket. Bremselasten settes til 50 kN og sidelasten til 15 kN. Men horisontallastene opptrer kun samtidig med lasttype G2. Siden bruene har G1, setter man bremse- og sidelastene på gangbruene til **0**.

4.3.3 Deformasjonslaster

Disse lastene er ofte tidsavhengige og knyttet til påførte deformasjoner eller konstruksjonsmaterialets egenskaper, slik som: oppspenning, svinn, kryp og relaksasjon, og setninger.

4.3.4 Ulykkeslaster

Flomlaster er ulykkeslast som skal bestemmes i hvert enkelt tilfellet fra flom for en returperiode på 200 år[34]. Siden grunnmaterialet er fjell og flommet når ikke enten fundamentet eller vegoverbygging faller den bort.

Jordskjelvlaster er unormal naturlast og det trenges ingen jordskjelvanalyse for *analyseklasse 0* som forutsettes at dimensjonering pga. andre horisontalkrefter (vind, trafikklast) er dekkende for jordskjelv.

4.3.5 Lastkombinasjoner

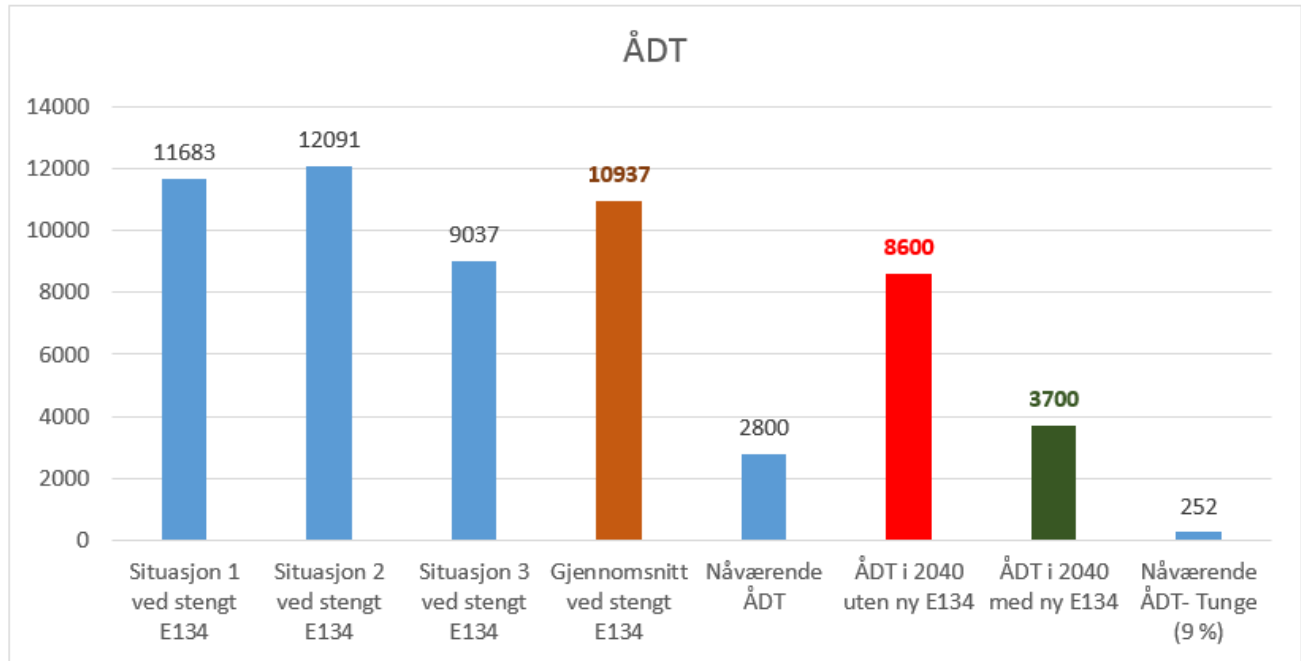
Man bruker likninger 6.10a og 6.10b i standarden for *bruddgrensetilstander*. En av dem gir større verdi og dermed blir dimensjonerende likning for å finne dimensjonerende lasten på komponenten. Når man kombinerer lastene, velger man den ugunstigste lastvirkningen. Deretter beregner man dimensjonerende moment og skjær for påvisning at dimensjonerende fastheter er større enn dimensjonerende fastheter. Hvis ikke, øker man enten tverrsnitt eller kvalitet av materialet. I betong kan man også øke armeringsmengde.

N400 angir at kun en ulykkelast eller en unormal trafikk- eller naturlast tas med i den lastkombinasjon som undersøkes. Jordskjelv kombineres ikke med andre naturlaster. Derfor tas det ikke hensyn til jordskjelv, noen andre lasttyper som is, temperatur, strøm, bølger og liknende. Vindlast beregnes ikke heller. Brann dimensjonering er ikke viktig her fordi spennkabler skal innstøpes i betongdekket og brann fra nærliggende bebyggelse har lite effekt på trafikkantenes og konstruksjonens sikkerhet.

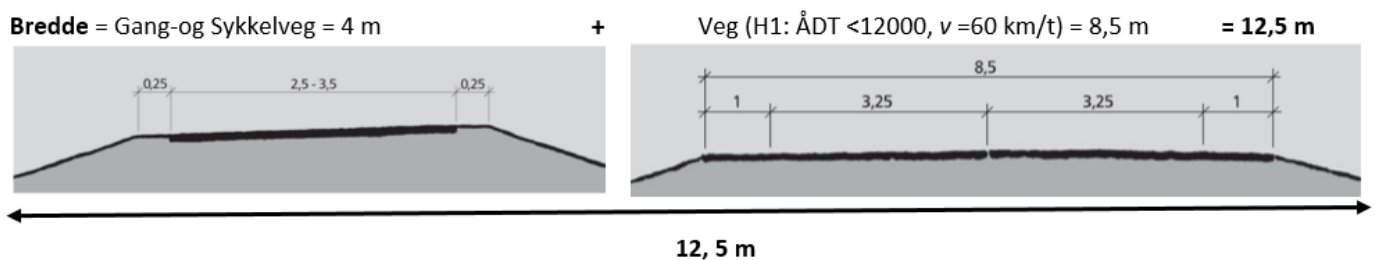
5 Resultater

Flere resultater er presentert i 4 *Dimensjonering / Beregninger*. Noen viktige oppsummeringer av dem med nye resultater er vist i følgende figurer.

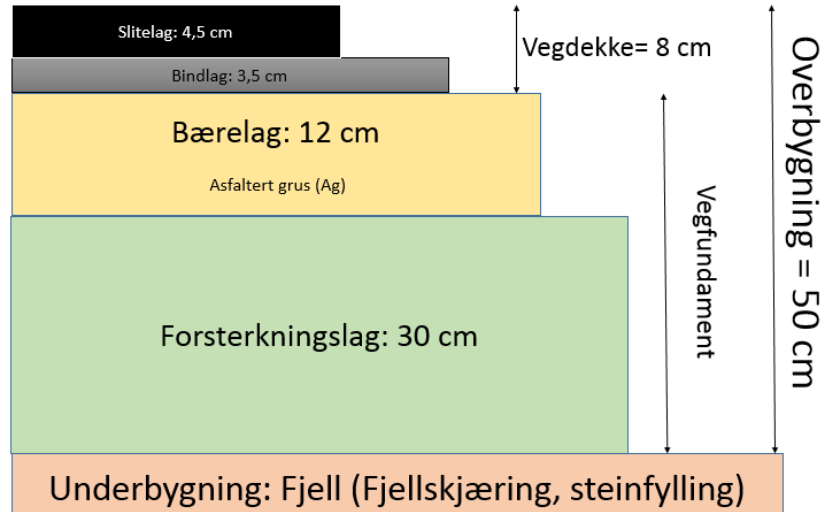
5.1 ÅDT, tverrprofil for 1- gang- og sykkel veg, 2- veg, vegoverbygning



Figur 5.1.1: ÅDT av Fiskum bro.

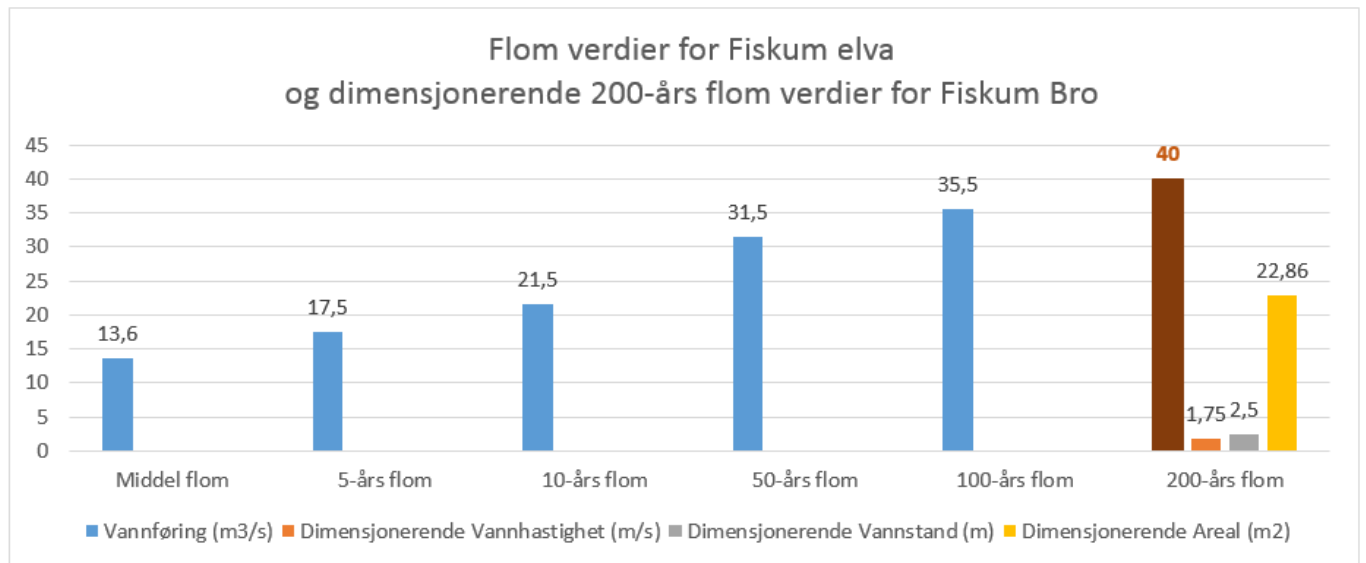


Figur 5.1.2: Tverrprofil for gang- og sykkelveg og veg.



Figur 5.1.3: Vegoverbygning med trafikklasser D for Fv73 i Fiskum bro området.

5.2 Flom, laster



Figur 5.2.1: Flom verdier for Fiskum elva, og dimensjonerende 200-års flom verdier for Fiskum bro.

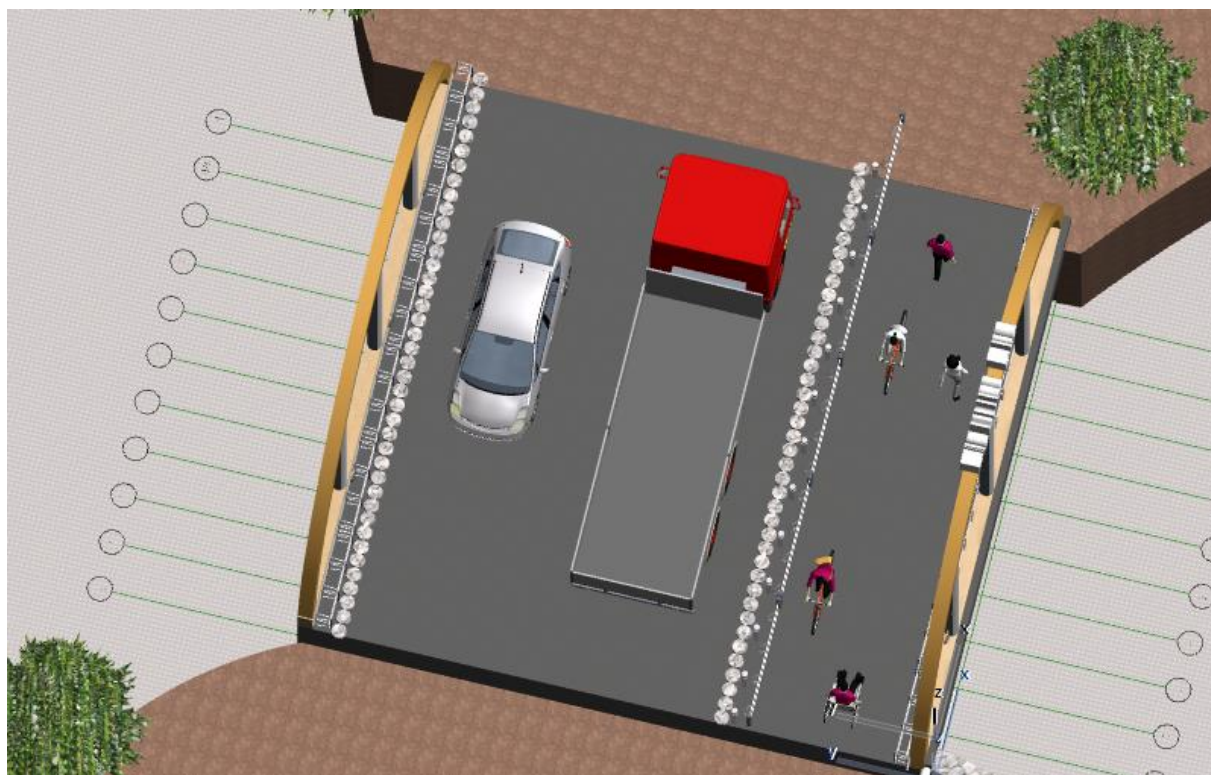
KARAKTERISKE LASTER			
PERMANENTE LASTER			
På vegbru (tofelt)		På GS-vegbru	
Egenlast	1635 kN	Egenlast	767,5 kN
Yttertrekkverk med betong	3 kN/m	Midtrekkverk	0,25 kN/m
Midtrekkverk	0,25 kN/m	Belegning	2 kN/m
Betong element (5 m lengde)	1 kN/m	Yttertrekkverk med betong +VA	8,5 kN/m
Belegning	2 kN/m	Dekke (60 cm armert betong)	600 kN
Dekke (60 cm armert betong)	1275 kN		
Jordtrykk (Horisontal)	3,125 kN/m		
VARIABLE LASTER			
På vegbru (tofelt)		På GS-vegbru	
Trafikklast	1690 kN	Trafikklast	90 kN
Aksellaster	2(210+210+210)kN +9 kN/m	Aksellaster	60+30=90 kN eller 30 kN
Sidelast	50 kN+50 kN		
Utmanningslast	3(80) =240 kN		
Bremselast (Horisontal)	200 kN		
SUM:			
Vertikal	3325 kN	857,5 kN	4182,5 kN
Horisontal (kun en retning)	226,6 kN	12,5 kN	239,1 kN
DIMENSJONERENDE LASTER med 1,5 lastfaktor			
SUM:			
Vertikal			6273,75 kN
Horisontal (kun en retning)			358,65 kN

Figur 5.2.2: Karakteriske- og dimensjonerende laster for Fiskum Bro med 60 cm betongdekke.

5.3 Komponenter

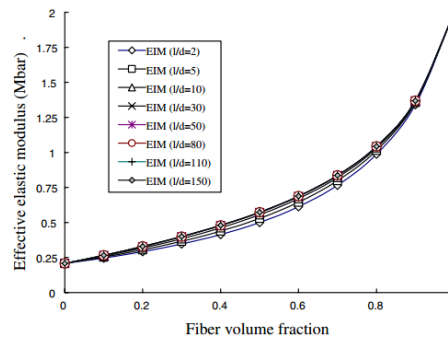
Hovedkomponenter til bruene er vist med følgende bilder. ArchiCAD programmet er benyttet å tegne bruene. Tegningene er ikke nøyaktige. De er bare å gi en ide om hvordan bruene kan se ut. Her kan man se støttemuren og graving av området der vannet forlater bruene for *flom tiltak*, kantstein for *fartsdempende tiltak*, og *tiltak for identitet* med limtre buer + støttemur av stein + beholde bruene i sitt opprinnelige sted.



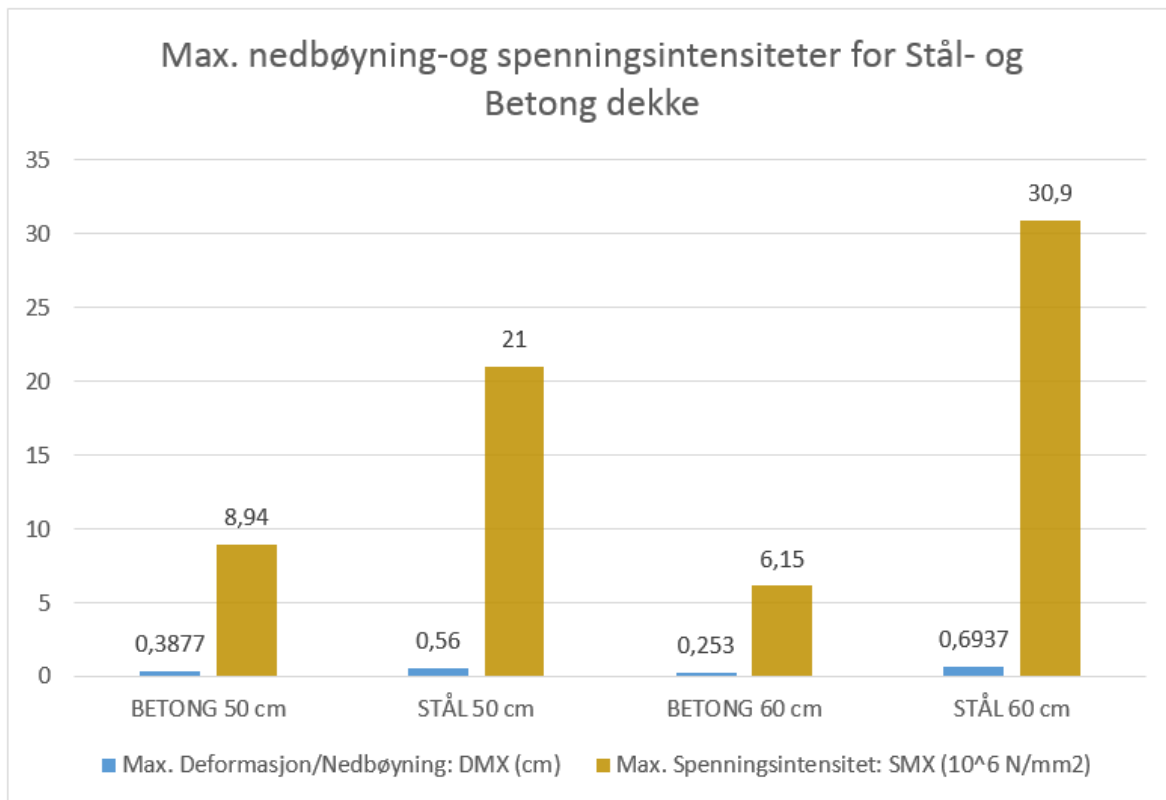


Figur 5.3.1: Tegninger om den nye Fiskum Bro.

Nedbøyning- og spenningsintensitet analyse er utført av programvare ANSYS Mechanical APDL 16.2 for både stål og armert betong (kvalitet B45) dekke med 50 cm og 60 cm tykkelser. E-modul for betongen er estimert fra følgende figur med cirka 30 % fiber i volumet, og sett til $3,6 \cdot 10^{10}$ N/m².



Figur 5.3.2: Fiber volum endringer mot effektiv E-modul i armertbetong[37].



Figur 5.3.3: Max. nedbøyning- og spenningsintensiteter for B45 betong- og stål dekke (area 125 m³) med 50 cm og 60 cm tykkelser, simulert av ANSYS ved elementtype *solid 187*.

Bilder fra ANSYS analyse om max. nedbøyning- og spenningsintensitet er vist ved vedlegg J.

Økonomi vurderingen er knyttet til materialvalg og valg av brue dekke, enten stål eller betong. Økonomien er påvirket mye av bruens størrelse ved stengt E134. ÅDT øker dramatisk fra 2700 til 10937. Dette tvinger bredden til å øke. Dermed investerings kostnader øker. Den andre faktoren som påvirker økonomien er *materialtype* og tilsvarende *drift- og vedlikehold kostnader*. Den tredje faktoren er *200 års flom* som tvinger enten høyde (fundament/søyle høyde øker, dermed kostnader) eller lengde til å øke. I vårt tilfellet har man noen nøytale komponenter (limtre buer, stålstaver, armert betong fundamenter på begge sider, rekkverk, eventuell belysning) som kan elimineres når man sammenligner bruløsninger:

- 1) *Armert betong dekke*: Antar pris per m³ for B45 betong = B₁₀ kr. Drift-og vedlikehold kostnader inkludert lønn for arbeidstimer = D₁₁ kr. Inntekt fra hvert år er samme for alle bruløsninger så lenge bruene er åpne. Mye vedlikehold som trenges stengt bru skal redusere inntekt fra hvert år. Dette skal bli en økning i kostnader. Koeffisient for denne økning kan kalles $k_{11} \geq 1$. Når $k_{11} = 1$, er bruene åpne. Pris for antall stengt timer er S₁₁ kr. Fra formel (5) $NNV = -CF_0 + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+i)^n}$, blir $NNV_1 = -(B_{10} + D_{11} + k_{11} * S_{11})$.

- 2) *Stål dekke*: Antar samme her. $NNV_2 = -(B_{20} + D_{21} + k_{11} * S_{11})$.

Her sammenligner man stort sett kostnader med hverandre i løpet av levetid. Den som er mindre enn den andre i en bestemt levetid er lønnsommere og den bør velges hvis økonomien er avgjørende for valget. Det kan være litt rart å tenke hvordan man får inntekt fra en bru som har ingen avgift. Det som kan tenkes er når folk kan bevege seg lett ved hjelp av bruene kan det bidra til sparing av tid, mindre oljebrukt (bedre effekt på miljøet) og mer arbeid og mer skatt til Staten.

6 Analyse

Her skal man stoppe litt og spørre seg om vi har gjort tingene riktig? Det ble gjort noe analyse underveis til nå. Når man ser på tverrprofil til bruene med fartsgrense på 50 km/t og $\text{ÅDT} = 10937$ og $\text{ÅDT-Tunge} = 9\%$ finner H1 (i vedlegg D) dimensjoneringsklasse for vegen selv om der står fartsgrense 60 km/t. Sa2 ($\text{ADT} > 1500$, fartsgrense = 50 km/t) kunne velges dersom det ikke var lov å kjøre med Vogntog. Derfor måtte H1 velges så bredde ble $8,5 \text{ m} + 4 \text{ m} = 12,5 \text{ m}$. Når 4m ble valgt for GS-veg antatt man at det blir mye trafikk av gående og sykkende når elever går til skolen og omvendt. Derfor er valget fornuftig.

Når lengden er funnet var vannføring for 200 års flom ble avgjørende. Tallet $40 \text{ m}^3/\text{s}$ er estimert ved hjelp av andre flom verdier til Fiskum elva av NVE og andre elver. Forholdet mellom dem var like. Det medførte til å velge $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette var viktig fordi man var etter å finne den dimensjonerende arealet som påvirker brulengde. Arealet er $22,86 \text{ m}^2$. I tillegg kommer krav 0,5 m høyde fra 200 års flom vannhøyde til den nederste bruekomponent. Før man bestemte geometrien som tilsvarer til arealet er det gjort kulturminne forskning. Resultat var at bruene ikke er kulturminne. Av den grunn er geometrien som gir større areal valgt som vist i Figur 4.1.18. Arealet avhenger mye av vannhastighet. Så vannhastighet er analysert med forskjellige metoder. Helning, ruhet og mannings koeffisient i Mannings formel ble viktige. Store helninger ga store vannhastigheter som ikke stemte med virkeligheten. Følgelig er verdier fra andre elver og vannføring mot vannstand malinger av Fiskum elva ble kombinert til å bestemme den dimensjonerende vannhastighet for 200 års flom, $v = 1,75 \text{ m/s}$. Dette tallet er konservativt og fornuftig.

På den andre side er vannhastighet satt til $v = 5 \text{ m/s}$ da steinstørrelse er funnet. $D = 34 \text{ cm}$ er ganget med en lastfaktor på 1,5 som er veldig konservativ. Dette tallet gjelder for stein som ligger i bunnen 3 m under vannnivået. Siden det er fjell under 0,5 m bakken, kan man faktisk bruke steinstørrelser mindre enn 50 cm. Skjærspenning $C = 0,05$ i likningen (10) gjelder for grus og grovere bunn og dette er godt valgt for Fiskum elva. Dersom man ville være mer konservativ kunne man velge D_{90} som betyr at man tar den steinen som blir stående etter 90 % av andre stein og liknende masse har gått forbi.

Å understreke stedets identitet har man valgt å bruke 2 limtrebuer malt med mørk brun farge, moderne standard H2 rekkverk på betong kantdrager på hver side, og som midtrekkverk. VA-

ledninger går inn i den kantdraget på GS-veg side samt el-kabler gjennom dekke under GS-veg på grunn av mindre spenninger i det området. Dette elimineres branndimensjonering av stål komponenter som er utsatt til luft. I tillegg velger man støttemur av stein som er mer naturlig og miljøvennlig. Steinen kan hentes fra det gravert området.

Belysning for bruene kan settes på limtrebuer. Resten kan gjøres samme som i vegen. Man må ta hensyn til blinde og rullestolbrukere når bruoverbygning er formert.

I økonomi delen er kostnader avgjørende. Den som koster mindre i løpet av levetid er lønnsommere.

Karaktriske laster er funnet ved å bruke mest N400 og beregnet for 60 cm armert betong dekke. På grunn av fjell undergrunn mistet jordtrykk, flom, vanntrykk, strøm, is sin effekt. Noen laster som temperatur, flom og liknende er ignorert. Avgjørende laster er egenlast, trafikklaster med utmanningslast. Dimensjonerende laster er funnet ved en konservativ måte, d.v.s. ganget hvert ledd med 1,5. I likning 6.10a og 6.10b i standarden er last faktorene varierer mellom 1,0 til 1,5. Av den grunn var dette en snarvei men effektivt og trygt.

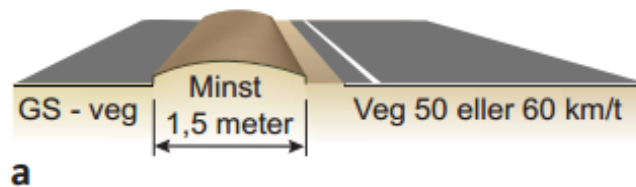
Dekke som bærende hovedkomponent er valgt istedet for bjelker for å spare høyde og bli kvitt med branndimensjonering hvis betong dekke er valgt. For å finne hvilken tykkelse passer for lastene hvis man bruker betong- og stål dekker med 50 cm og 60 cm er ANSYS programvare benyttet. ANSYS gir både maximum nedbøyning og spenningsintensiteter i hele konstruksjonen.

Fra Figur 5.3.2 ser man at alle nedbøyninger er innom kravet (Antar effektiv lengde = 10 m, $L/350 = 10\ 00/350 = 2,857$ cm) og spenninger er mindre enn dimensjonerende fastheter. Laster på dekket og tilsvarende resultater er vist i vedlegg J. Der settes jevn fordelt last på 125 m² dekke og alle andre vertikale laster samles som jevn fordelt last i 1x10 m² i lengde retning. Dette er akkurat ikke som i N400 men det tilnærmer seg til den i virkeligheten. Samt en horizontal last på dekket og belegningen.

7 Diskusjon

Det har blitt diskusjon underveis til hit. Her ønsker man å understreke andre viktige punkter. Først og fremst er det viktig å si at oppgaven handler om mange forskjellige fagområder nemlig fra kultuminner til dimensjonering, og fra flom til fartsdempende tiltak og liknende. Man kan ikke fokusere på hvert av dem mye ellers mister man kontrollen.

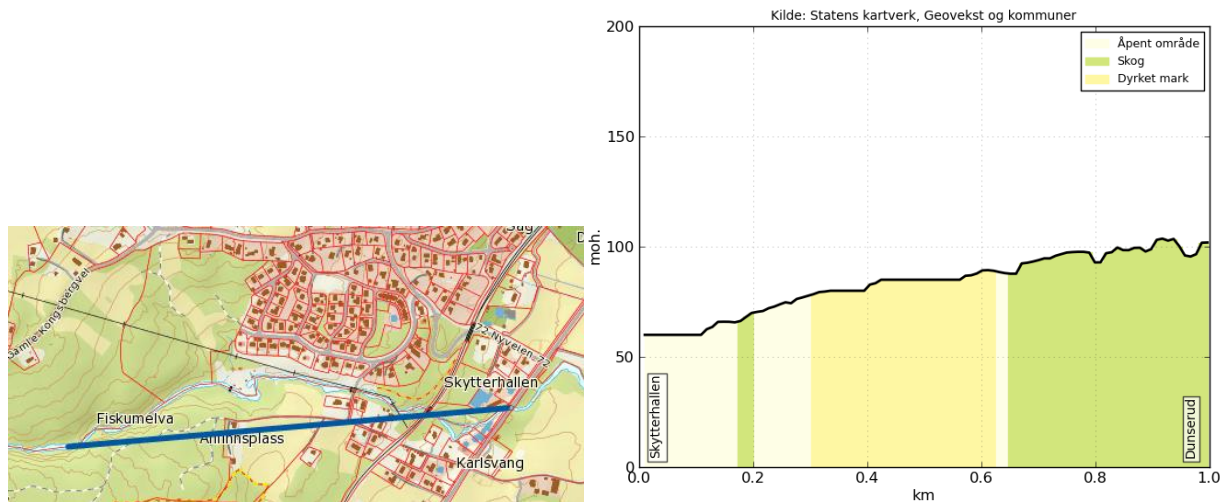
For å finne ut svar til problemstillingene er den nye bruens bredde funnet ved hjelp av opplysninger og krav fra Statens vegvesen håndbøker. Spesielt N100 er brukt mye. Der er det vist seg at bredden bestemmes av to parameter: 1- ÅDT (og ÅDT-tunge) og fartgrense. I vårt tilfellet ønskes det både reduserende fartgrense og økende ÅDT (ved stengt av E134). Dette var utfordrende fordi det var liksom å si “*både spiss og ikke spiss*” eller “*gå og ikke gå*” samtidig så lenge man vet at økende ÅDT skal øke farten. Men det er mulig å klare det fordi farten skal reduseres mest gjennom vegen med humper og visuelle fartsdempende tiltak. Bruens bidrag blir med samme måte. ÅDT er ikke kostant og den øker hvert år. En bru dimensjoneres for minst 100 år. Som følge av det er det godt valgt å velge H1 klasse. Dette er også bærekraftig og miljøvennlig. Men en ting må tenkes før man går videre. Bru bredde er $8,5 + 4 = 12,5$ m. Hva finnes mellom dem? Er det noe ekstra meter må man legge til? Svaret for dette for veger er 1,5 m.



Figur 7.1: Minste trafikkskille uten rekkverk mellom bilveg og gang – og sykkelveg[38].

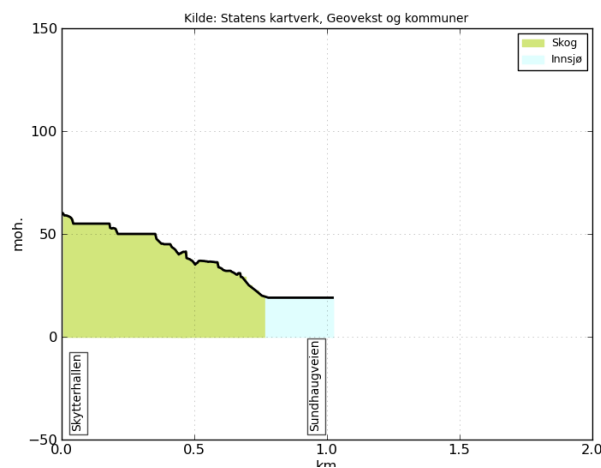
For bruer er det ikke funnet fra relevante håndbøker. Av den grunn må man ta hensyn til dette før man dimensjonerer bruene i virkeligheten. Hvis bredden må økes, betyr det økende kostnader, egenlaster.

Andre viktige punktet er helninger fra Fiskum målingsstasjon til bro 2, bro3 og Fiskum bro. De var større og ga større vannhastigheter. Hvis man måler avstand litt lengre, ikke fra stasjonen blir helninger litt mindre som er vist med følgende figur.



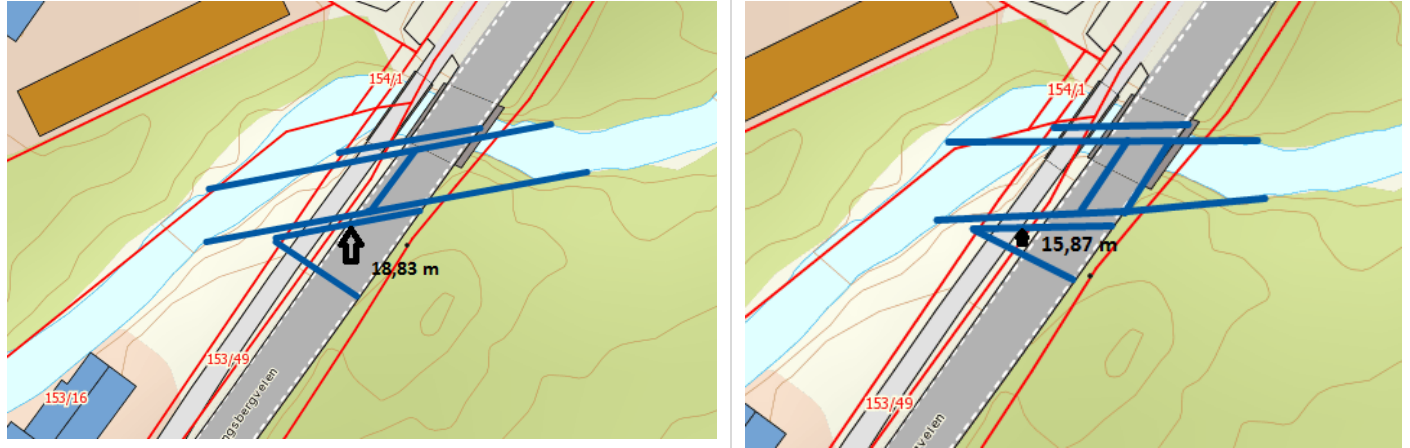
Figur 7.2: 1 km avstand fra Fiskum Bro og tilsvarende høyde profil[27].

$L = 1 \text{ km}$, $s = I = (\text{høyde fall}/L_{\text{horizontal}}) = (40/999,2) = 0,040$. Tallet gir mindre vannhastighet. Men det er ønskelig at NVE også måler vannhastigheter samt vannføring og vannstand for lengre period. 200 års flom kan også males av NVE før man begynner å bygge bruen. Tallet $40 \text{ m}^3/\text{s}$ er trydt men bør verifiseres av NVE hvis man ikke vil miste penger. Andre ting er høyde provil rundt bruen (før og etter). Følgende figur viser at det er mulig å grave bunnen av bruen hvis man får problem med høyde kravet for å tilfredstille kravet.



Figur 7.3: Høyde profil fra Fiskum Bro til Fiskum vannet[27].

Det neste viktige punktet er å tenke hva kunne skje dersom man velger bruene som i følgende figur.



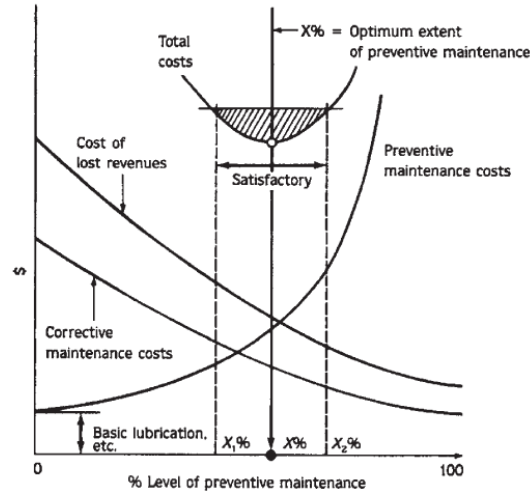
Figur 7.4: Andre mulige alternativer for den nye Fiskum Bro[27].

Figurer ovenfor viser andre mulige geometrier for bruene. Disse løsningene kan redusere flom og minske spesielt krafter fra vannstrøm på fundamenter særlig på det som ligger på venstre siden i strømretning. Fundamenter med dårlig undergrunn kunne beskyttes med denne måten. Men i vårt tilfelle er grunnen fjell opp til cirka 2-2.5 m fra bunnen i elven. Dette eliminerer krafter fra 200 års flom med. Det andre negative punktet er å flytte bruene fra sin opprinnelige plass. Dette motvirker for å understreke stedets identitet. Neste punkt er at hvis man setter det fundamentet på nåværende elvebunnen mister man den naturlige fordel man har, d.v.s. fjellet. Da må man bruke mer ressurser for å kompensere det. Punktet som kommer er å se hva skjer både med stabilitet og bredden som blir hypotenusen til den trekanten med økende lengde. Dette betyr mer kostnader samt ustabilitet øker på grunn av ujevnt dynamiske laster på bruene (lastene er ikke symmetriske, en kommer på bruene før den andre).

Av den grunn er det bedre å velge vår løsning som er enklere og billigere og løser problemene effektivt.

Når det gjelder vedlikeholdstype ser man fra følgende figur at kombinasjon av forebyggende og korrektivt vedlikehold er best hvis man tenker på økonomien.

Limtrebuer bør brukes slik at de kan bidra til bæreevne.



Figur 7.5: Forholdet mellom kostnader og mengde av forebyggende vedlikehold[17].

ANSYS analyse er utført ved å bruke element type Solid 187. Den har 10 noder i 3-D. Den har frihetsgrader mot translasjon og mangler mot rotasjon. 187 element type evner seg godt for massive konstruksjoner og for der hvor stivhet analyse er viktig. Andre elementtyper er BEAM og SHELL. Begge to har frihetsgrader mot translasjon og rotasjon i 3-D.

Analyse prosedyre er:

- 1) Basisdata: Her velger man E-modul og basiselement (solid, beam, shell).
- 2) Modulerer geometrien.
- 3) Gir modellen fysiske egenskaper: Genererer et nettverk av basiselement.
- 4) Setter på grensebetingelser.
- 5) Setter på laster.

Vedlegg J og Figur 5.3.3 viser resultater for både betong- og stål dekke med 50 og 50 cm tykkelser. Det viktigste parameteren er E-modul som bestemmer stivheten til et material. Høy E-modul betyr stor stivhet. Nettverket er laget av *smrtsize, 10* som er groveste valgt men tar hensyn til hjørner og lager et godt nettverk. Antall elementer for 50 cm: 13039, 60 cm = 13468. Det betyr hele konstruksjonen er inndeles i så mange elementer og dermed er hver en av dem analysert for både nedbøyning og spenninger i 3-D.

Både lastplassering og dimensjonerende laster er fornuftige. Håndbøker følger standarder litt fra bakk og økende laster i nye standarder ble tatt hensyn av den store lastfaktor 1,5. Fra figur 5.3.3

ser man at både spenninger og nedbøyning øker med økende tykkelse for stål. Dette skyldes av enorme egenlast av stål. På den andre siden er det omvendt for betong. Av den grunn anbefalles betong sterkt som dekke for den nye Fiskum broen. Både 50 og 60 cm evner seg godt for bruene. Med valgt av stål dekke man man ta hensyn til branndimensjonering og god korrosjonsbeskyttelse som katodisk beskyttelse. Dette skal øke kostnader.

8 Konklusjon

Følgende viktige punkter er funnet:

- Dimensjonerende ÅDT ved stengt E134 er 10937.
- Dimensjoneringsklasse er H1 og trafikkklasse er D. Total bredde til bruene er 12,5 m.
- 200 års flom er 40 m³/s. Dimensjonerende vannhastighet for 200 års flom er 1,75 m/s, og arealet er 22,86 m². Effektiv bru lengde er satt til 10 m. Dette gir 125 m² dekke areal.
- For tiltak for flom anbefalles en stein støttemur med diameter på 50 cm med dimensjonerende vannhastighet på 5 m/s. Samt øke arealet og grave de områdene der vannet forlater bruene slik at vannet renner bort lettere.
- Bruene er ikke kulturminne. Stedets identitet kan understrekes av 2 limtre buer malt med mørk brun farge. Samt ikke flytte bruene fra sin opprinnelige plass. Bruke stein for støttemur istedet for armert betong.
- Visuelle fartdempende tiltak anbefalles først. Hvis den ikke bidrar mye anbefalles prefabrikerte høy kvalitet betong elementer i form av hump i midten av vegen.
- H2 standard rekkverk kan brukes. VA-ledningen bør settes inn i kantdraget på GS-veg og el-kabler inn i betong dekke. Dette eliminerer branndimensjoneringen.
- Bredden og 200 års flom bør undersøkes mer før man bygger den nye bruene.
- Limtre buer kan benyttes for eventuelle belysning og kan bidra til bæreevne av konstruksjonen.
- Økonomien er vurdert ved NÅ-verdi metoden som bruker bare kostnader i dette tilfellet for å sammenligne hvilken er lønnsommere.
- Nedbøyning- og spenninger i 3-D for 50 cm og 60 cm betong- og stål dekker viser at økende tykkelse reduserer både nedbøyningen og spenningsintensiteten for betong. På den

andre side er alt omvendt for stål grunnet av enorme økende egenlast med økende tykkelse. Både nedbøyninger og spenninger tilfredstiller kravene. Det anbefalles å bruke betong dekke med betong fundament over fjellet.

- Overbygningen i Fiskum er 50 cm.
- Mange last typer som strøm, is, flom, vanntrykk, jordtrykk er eliminert grunnet undergrunnet er fjell. Egenlaster og trafikklaster er viktigste lastene. Karakteriske laster er multiplisert med lastfaktoren 1,5 for å finne dimensjonerende laster.
- Det anbefalles kombinasjon av forbyggende- og korrektivt vedlikehold.

9 Referanser

- [1] “Bygdegate Fiskum - Skisseprosjekt” Fiskumgrendeutvalg – Øvre Eiker Kommune – Laukli Landskap; 2013.
- [2] “Smedbrua og Fiskumgata Øvre Eiker”. Norgeskart. www.norgeskart.no ; 2016.
- [3] Sandaker Bjørn Normann, Sandvik Malvin, Vik Bjørn. *Materialkunnskap*. 1.utgave. Majorstua: Byggenæringens forlag; 2014.
- [4] Crocetti Roberto, Fröbel Johan. *Limtreboka*. 2.volum. Bergen / Lund: Norske Limtreprodusenters Forening; 2015.
- [5] Glasø G. FOKUS på tre: Tre og brann. 2012; 37:2-7.
- [6] Trane, Esben J.: *Stålatlas. Konstruksjoner*. Tapir 1975.
- [7] Eie, John. “*Stålkonstruksjoner*”. 2. Utgave. Bekkestua: NKI Forlaget:2010.
- [8] Gjerp Pål, Opsahl Morten, Smeplass Sverre. *Grunnleggende betongteknologi*. 2.utgave. Majorstua: Byggenæringens forlag; 2014.
- [9] Luca Bertolini, Matteo Gastaldi, MariaPia Pedferri, Elena Redaelli, «*Prevention of steel corrosion in concrete exposed to seawater with submerged sacrificial anodes*», Corrosion Science, Volume 44, Issue 7, July 2002, Pages 1497-1513.
- [10] Sørensen, Ivar Svein. “*Betongkonstruksjoner: Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2*”. Trondheim: Tapir Akademisk forlag; 2010.
- [11] Lid Inger Marie. *Universell Utforming: Verdigrunnlag, kunnskap og praksis*; 2013
- [12] Kulturminneloven (1978). Lovdata. [online] URL: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1978-06-09-50> , sett 11.04.2016.
- [13] Statens vegvesen (2014). “*Utforming av bruer – handbook V 420*”. [online] URL: [http://www.vegvesen.no/_attachment/61461/binary/964051?fast_title=H%C3%A5ndbok+V420+Utforming+av+bruer+\(NB!+17+MB\).pdf](http://www.vegvesen.no/_attachment/61461/binary/964051?fast_title=H%C3%A5ndbok+V420+Utforming+av+bruer+(NB!+17+MB).pdf) , sett 11.04.2016.

- [14] Statens vegvesen. “*Enkeltobjekter -221 Smedbrua*”, [online] URL: <http://www.vegvesen.no/attachment/62328/binary/16318> , sett 11.04.2016.
- [15] Ødegaard Hallvard. *Vann- og avløpsteknikk*. 2.utgave. Norsk Vann; 2014.
- [16] Hoff, Kjell Gunnar.”*Bedriftens økonomi*”. Universitetsforlaget, 7. Utgave, ISBN 978-82-15-0320-6.
- [17] Mobley, R. Keith. “*An Introduction to Predictive Maintenance*”. 2. Utgave, Butterworth Heineman; 2002.
- [18] Onshus, Tor. “*Instrumenterings systemer*”. 5.utgave, NTNU; 2011.
- [19] Hjelseng, Guro Varvin. “*Plasstøpt vs. prefabrikkert betong*”. NTNU Masteroppgave, Trondheim, 2014.
- [20] OverHalla BetongBygg. [onlinediagram] URL: <http://overhallabetongbygg.no/wp-content/uploads/2012/03/preproduksjon.jpg> , sett 10.04.2016.
- [21] Liv Torjussen. Kompendium for Materiallære faget ved HiG.
- [22] Statens vegvesen (2014). “*Vegbygging - håndbok N200*”. [online] URL: http://www.vegvesen.no/attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+%2821+MB%29.pdf , sett 10.04.2016.
- [23] Statens vegvesen vegkart. [online] URL: [https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/#kartlag:geodata/hva:\(~\(id:643,filter:\(~\),farge:0\)\)/hvor:\(\)/@211082,6631867,10/vegobjekt:668880231:58b02c](https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/#kartlag:geodata/hva:(~(id:643,filter:(~),farge:0))/hvor:()/@211082,6631867,10/vegobjekt:668880231:58b02c) , sett 23.04.2016.
- [24] Statens vegvesen og Vegdirektoratet. “*Håndbok N100: Veg – og gateutforming*”. 2013. [online] URL: http://www.vegvesen.no/attachment/61414/binary/964095?fast_title=H%C3%A5ndbok+N100+Veg+og+gateutforming+%288+MB%29.pdf , sett 23.04.2016.
- [25] NVE. “Vannmengde, vannstand fra forskjellige dato”. [online] URL: www.nve.no .
- [26] Luna B. Leopold. “Downstream change of velocity in rivers”. American Journal of Science. Vol. 251, Pp. 606-624. 1953.

- [27] Statens Kartverk. [online] URL: www.norgeskart.no .
- [28] William F. Coon. “*Estimation of Roughness Coefficients for Natural Stream Channels with Vegetated Banks*”. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2441. [online] URL: <http://pubs.usgs.gov/wsp/2441/report.pdf>, sett 02.05.2016.
- [29] Statens vegvesen og NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat). ”Hydrologiske vurderinger i forbindelse med ny bru over Landvassåga i Rana i Nordland”. [online] URL: http://www.vegvesen.no/_attachment/293615/binary/517879 , sett 02.05.2016.
- [30] Lars Jenssen, Einar Tesaker. “*Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein*”. NVE, NTNU og Einar Tesaker vann AS.2009. [online] URL: http://publikasjoner.nve.no/veileder/2009/veileder2009_04.pdf, sett 03.05.2016.
- [31] Statens vegvesen og Vegdirektoratet. “*Håndbok V128: Fartsdempende tiltak*”. 2014. [online] URL: http://www.vegvesen.no/_attachment/61426 , sett 10.05.2016.
- [32] Moelven Limtre AS. Stampen bru i Brumunddal.[online] URL: <http://www.moelven.com/no/Produkter-og-tjenester/Limtre-og-Kerto/Moelven-Limtre-AS/> , sett 11.05.2016.
- [33] Norsk Standard NS-EN 1991-1-1-1:2002+NA:2008. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-1: Allmenne laster. Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger.
- [34] Statens vegvesen (2009). “*Bruprosjektering – håndbok N400*”. [online] URL: http://www.vegvesen.no/_attachment/115441 , sett 11.05.2016.
- [35] Statens vegvesen (2003). “*Bruklassifisering – håndbok R412*”. [online] URL: http://www.vegvesen.no/_attachment/61486/binary/964011?fast_title=H%C3%A5ndbok+R412+Bruklassifisering.pdf , sett 13.05.2016.
- [36] Statens vegvesen (2009). “*Brurekkverk – håndbok 268*”. [online] URL: http://www.vegvesen.no/_attachment/101215/binary/169249 , sett 13.05.2016.
- [37] T.L. Teng, Y.A. Chun, F.A. Chang, H.S. Chin.”*Calculating the elastic moduli of steel-fiber reinforced concrete using a dedicated empirical formula*”. Computational materials science 31 (2004) 337-346.

[38] Statens vegvesen (2013). “*Rekkverk og vegenssideområder – håndbok N101*”. [online]

URL:

http://www.vegvesen.no/attachment/69909/binary/964014?fast_title=H%C3%A5ndbok+N101+Rekkverk+og+vegens+sideomr%C3%A5der.pdf , sett 14.05.2016.

10 Vedlegg

10.1 Vedlegg A: Fasthetsklasser definert i EN 14080 for både homogent- og kombinert limtre.

Tabell 1-1. Fasthetsklasser definert i EN 14080 for kombinert limtre.

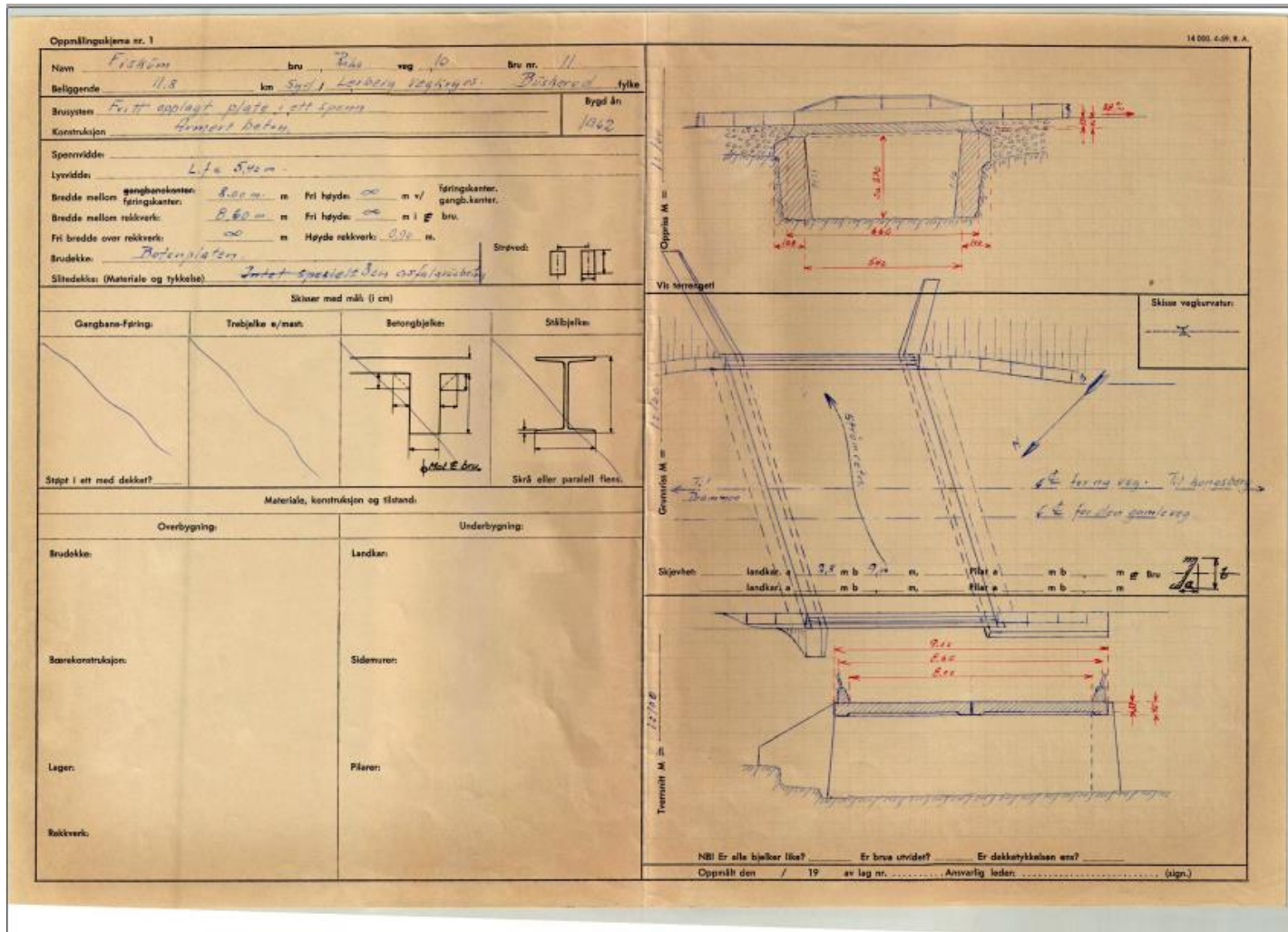
Egenskap	Symbol	Limtre fasthetsklasse						
		GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c
Bøyefasthet	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Strekfasthet	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Trykkfasthet	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Skjærfasthet (skjær og torsjon)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Rulleskjærfasthet	$f_{r,g,k}$	1,2						
Elastisitetsmodul	$E_{0,g,mean}$	10400	10400	11000	12000	12500	13000	13500
	$E_{0,g,05}$	8600	8600	9100	10000	10400	10800	11200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Skjærmodul	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	542						
Rulleskjærmodul	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Densitet	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440

Tabell 1-2. Fasthetsklasser definert i EN 14080 for homogent limtre.

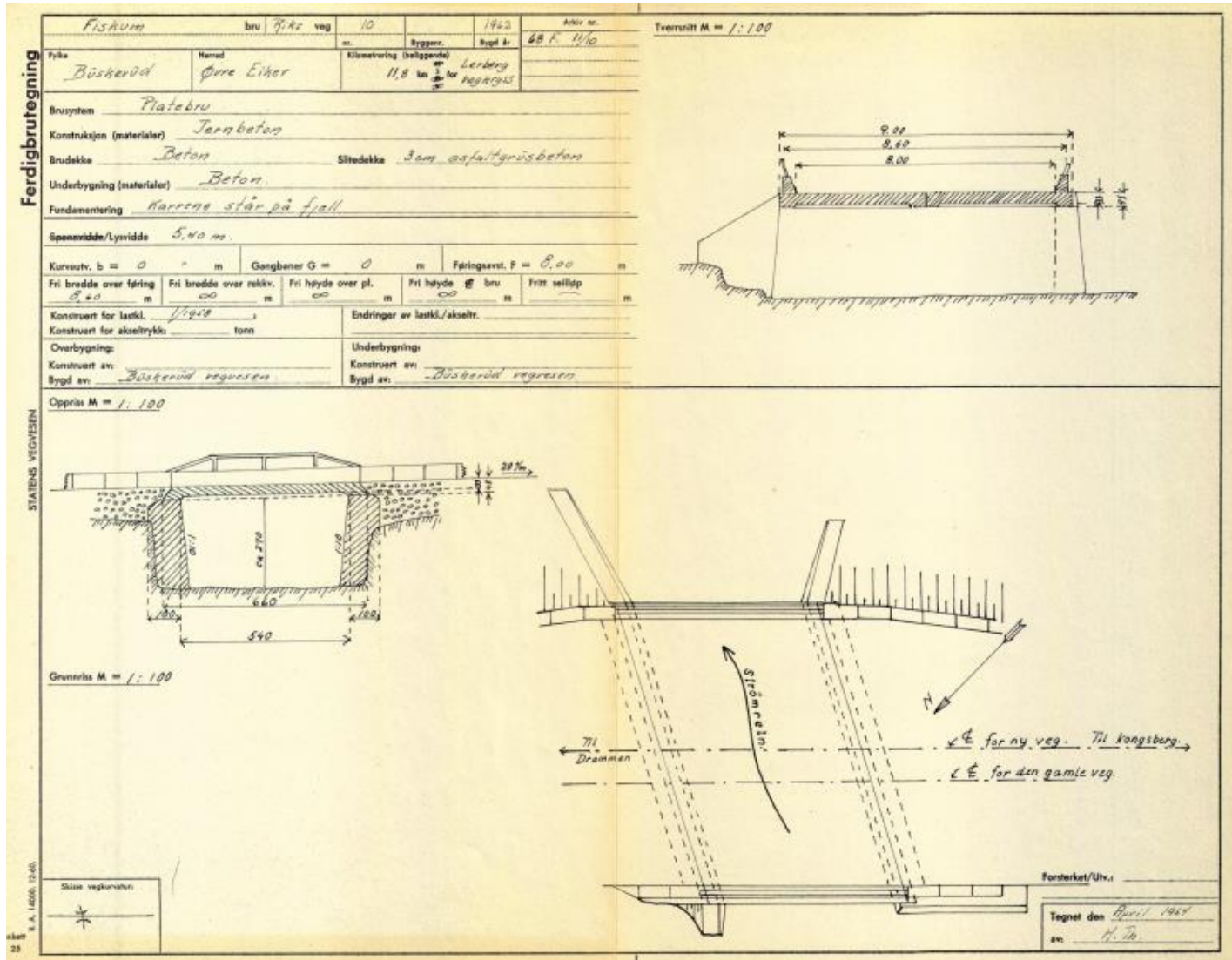
Egenskap	Symbol	Limtre fasthetsklasse						
		GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
Bøyefasthet	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Strekfasthet	$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Trykkfasthet	$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Skjærfasthet (skjær og torsjon)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Rulleskjærfasthet	$f_{r,g,k}$	1,2						
Elastisitetsmodul	$E_{0,g,mean}$	8400	10500	11500	12100	12600	13600	14200
	$E_{0,g,05}$	7000	8800	9600	10100	10500	11300	11800
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Skjærmodul	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Rulleskjærmodul	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Densitet	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,mean}$	370	410	420	445	460	480	490

Figur 10.1.1: Fasthetsklasser definert i EN 14080 for både homogent- og kombinert limtre[6].

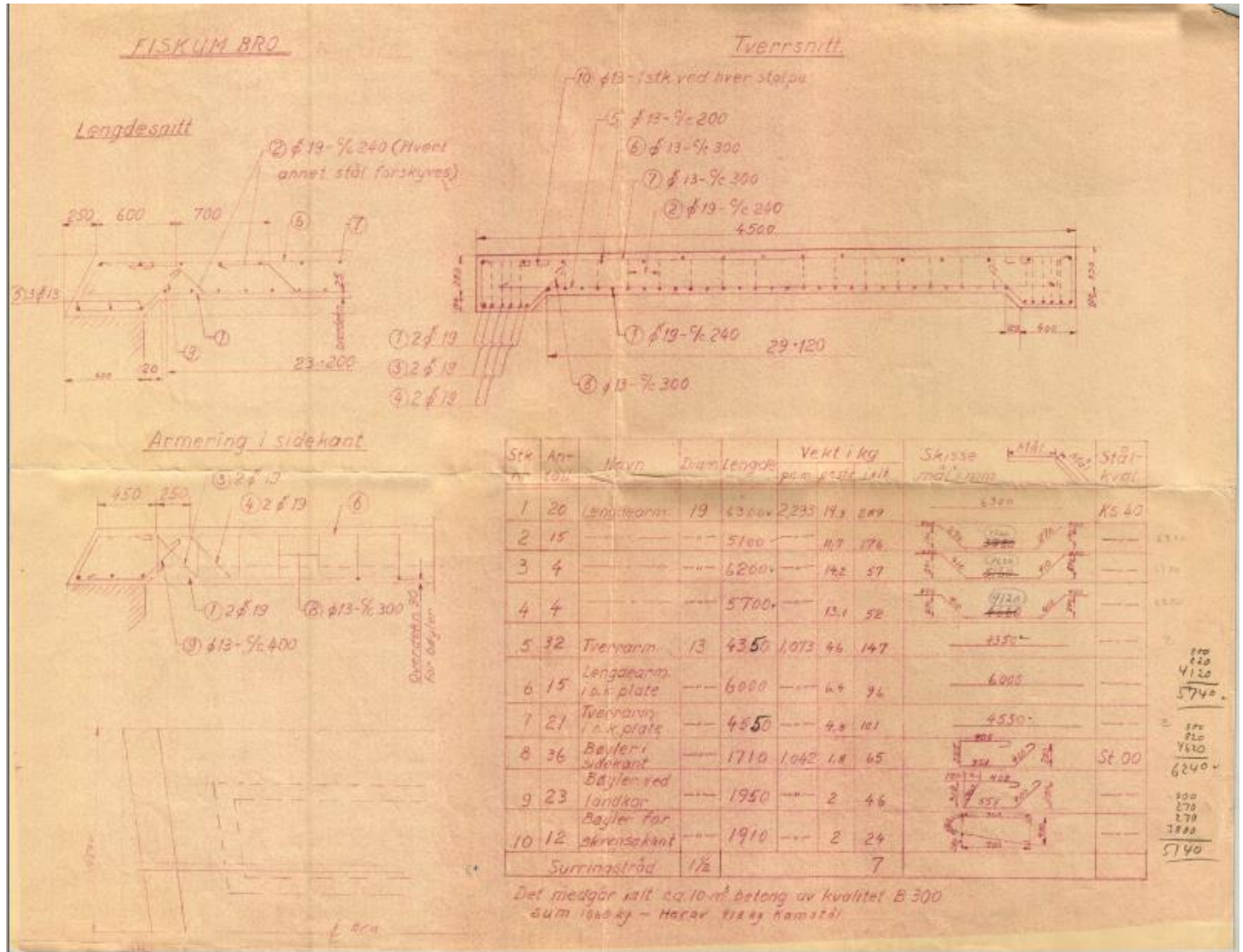
10.2 Vedlegg B: Dokumenter om nåværende bru



Figur 10.2.1: Oppmålingsskjema nr.1.



Figur 10.2.2: Ferdigbrutegning.



Figur 10.2.3: Armeringstegning.

10.3 Vedlegg C: Prosjektsavtale med Statens vegvesen



Statens vegvesen

Avtale om utgiftsdekning og veiledning ved utførelse av bacheloroppgave i Statens vegvesen

Student **ARAS MAJID RAHIM (120433)** og **CELAL CEYHAN (130661)** ved NTNU i Gjøvik avdeling TØL skal våren/ 2016 utføre bacheloroppgave i samarbeid med Statens vegvesen Region sør v/ prosjekt E134 Damåsen - Saggrenda.

Opgavens tittel er: **Erstatning av to gamle bruer med en ny bru**
Faglærer/Veileder ved lærestedet er:
Veileder/kontaktperson i SVV er: Prosjektleder Tom Hedalen

Det inngås herved en avtale mellom Statens vegvesen og undertegnede student om at Statens vegvesen bidrar med kr. **7.500** for bacheloroppgave. Beløpet er ment å dekke utgifter studentene har i forbindelse med utførelse av oppgaven. Oppgaver som krever større kostnader som for eksempel reiser, leie av utstyr og personell, må det inngås tilleggsavtaler før arbeidet begynner. Ved denne oppgaven er det **ikke inngått** en slik avtale. Der slik avtale er inngått, skal den vedlegges denne avtalen.

Når oppgaven utføres i et samarbeid med SVV, skal kandidaten ha en veileder/kontaktperson i etaten. Vedkommendes oppgave er noe forskjellig avhengig av om studenten er utplassert hos SVV eller ikke. Hvis studenten er utplassert i etaten, vil veileder/kontaktperson i SVV ofte ha det "daglige" ansvar for oppfølging og veiledning. Sammen med faglærer vil vedkommende ivareta lærestedets forpliktelser når det gjelder veiledning, være behjelpelig med å etablere nødvendige eksterne kontakter i samråd med faglærer, osv. Det er viktig at faglærer og veileder/kontaktperson i SVV er enige om en arbeidsfordeling for hvordan veiledningen skal være, og at studenten blir informert om dette. Før arbeidet begynner må det også gjøres en forventningsavklaring mellom student og veileder/kontaktperson i SVV, slik at studenten har en realistisk forståelse av hva Statens vegvesen kan bidra med. Studenter som i forbindelse med utførelse av oppgaven er ute på veg-/gatenettet eller ute på veganlegg, er ikke dekket av forsikringsordninger tegnet av Statens vegvesen. Det henvises for øvrig til NA rundskriv 2012/11 fra Statens vegvesen, som er vedlagt denne avtalen.

Praktisk informasjon

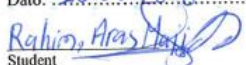
Statens vegvesens finansielle bidrag utbetales av den enheten i Statens vegvesen som det er inngått avtale med. Utbetaling skjer først etter at oppgaven er levert til lærestedet. Studenten må oversende følgende informasjon for å få pengene utbetalt:

- Bekreftelse fra lærestedet på at oppgaven er levert
- Et ark med informasjon om
 - permanent postadresse
 - permanent e-postadresse
 - personnummer (11 siffer)
 - telefonnummer
 - kontonummer for utbetaling

Opgaven skal leveres Statens vegvesen elektronisk i PDF format, og sendes til: biblv@vegvesen.no med kopi til veileder/kontaktperson. Den blir da tilgjengelig på internett. Statens vegvesen har rett til å bruke resultatene som fremkommer av students arbeid, og innholdet i selve oppgaven i etatens arbeid.

Denne avtalen skal underskrives før kandidaten starter arbeidet med masteroppgaven/bacheloroppgaven.

CELAL CEYHAN

Dato: 26.01.2016

Student

Dato: 25.1.16

Veileder/budsjettansvarlig i SVV

Dato: 26/1-16

Faglærer/veileder lærested

Avtalen er underskrevet i tre eksemplarer

Prosjektforslag bacheloroppgave:

Tema	Erstatning av to gamle bruer med en ny bru
Oppdragsgiver Kontaktperson	Staten vegvesen Region sør, Arendal Tom Hedalen, Mobil: +47 90959433 e-post/Lync: tom.hedalen@vegvesen.no
Veileder	Tom Hedalen
Studenter	Aras Majid Rahim, studentnummer: 120433 Celal Ceyhan, studentnummer: 130661
Problem, Problemstilling	Hvordan skal den nye Smebrua være? <ul style="list-style-type: none"> • Hvordan reduseres bruas oppstuvende effekt ved stor vannføring? • Hvordan skal man beholde/understreke stedets identitet? • Hvordan skal økonomiske vurdering utføres? • Hvilke andre perspektiver skal brukes/vurderes for de ulike løsningene?
Bakgrunn for oppgaven	<p>Fylkeveg 73 går gjennom tettstedet Fiskum (Darbu). På strekningen mellom dagens fv 72 (Nyveien) og ny fv 72 ligger det en vegbru med en parallell gang- og sykkelvegbru over Fiskumelva. Gang- og sykkelvegbrua er smal og ligger noe lavere enn vegbrua. Dette gir bl.a utfordringer mht drift av gang- og sykkelvegen. Ved store vannmengder synes det også som at brua/-ene bidrar til oppstuvning av vann/flom. Bruene ligger på en relativt lang rettstrekning hvor det er ønskelig at kjørehastigheten reduseres samtidig som vegen opprettholder sin funksjon som en viktig omkjøringsrute ved stengt E134. I fv 73 ligger offentlig infrastruktur (VA og el-kabler).</p> <p>I prosjektoppgaven ønskes vurdert riving av dagens bruer og etablering av en ny bru som bedre tilrettelegger for helårs gang- og sykkeltrafikk samtidig som løsningen reduserer bruas oppstuvende effekt ved stor vannføring. Brueløsningen skal bidra til at kjørehastigheten på fv 73 reduseres. Brua skal bidra til å understreke stedets identitet, og det skal i oppgaven vurderes valg av materiale (betong, stål eller tre). Det utarbeides kostnadsoverslag for de ulike løsningene. Vurdering av vegens linjeføring kan inngå i oppgaven.</p>
Mulige metoder	<ul style="list-style-type: none"> • Litteraturgjennomgang (standarder og liknende). • Bruk av beregnings- og simuleringstøytøy som Revit, Robot, Fokus konstruksjon, Ansys, Windows Excell for dimensjonering og analyse. • Spørre arkitekten Eskild Narum Bakken fra HiG/Staten vegvesen om bruens estetisk og identitet. • Økonomien skal vurderes ved å bruke NÅ-verdi metoden ut i fra levetidskostnader. • Andre perspektiver utenfor økonomi er miljø og universell utforming. • Skal spørre/få hjelp fra Staten vegvesen om andre mulige metoder for den anbefalte løsningen. For eksempel, er det lov å bygge en tunnel (kanal) under bakken ved siden av bruene for å redusere den oppstuvende effekten ved stor vannføring.

Figur 10.3.1: Prosjektavtale /tilleggskontrakt med oppdragsgiveren (Statens vegvesen Region sør).

10.4 Vedlegg D: Dimensjoneringsklasser for veg, standardkrav

Tabell C.2: Dimensjoneringsklasser for veg – standarder av

	H4	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H _{1,2}	H _{1,3}	Sa1	Sa2	Sa3	A1	A2	A3
Vegtype	H _{1,2}	H	H	H _{1,2}	H _{1,3}	H _{1,4}	H _{1,5}	H _{1,6}	H _{1,7}	H _{1,8}	H _{1,9}	Sa1	Sa2	Sa3	A	A	A
ADT	< 12'	< 4'	< 4'	< 4-6'	6-12'	> 12'	> 12'	> 12'	> 12'	> 20'	> 20'	< 1,5'	> 1,5'	> 1,5'	A	A	A
Paragress (barsl)	6,5	8,0	9,0	8,0	9,0	10	10	10	10	10	10	6,0	5,0	8,0	10	5,0	5,0
Tverrsnitt (m)	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5
Skulder (m)	3,25	3,25	3,25	3,5	3,5	3,25/3,25	3,5/3,5	3,5/3,5	3,5/3,5	3,5/3,5	3,5/3,5	2,75	2,75	2,75	4	3	4
Indre skulder (m)				1/1/1	1/1/1	1/1/1	2/1/1	2/1/1	2/1/1	2/1/1	2/1/1						
Indre skulder (m)	3,25	3,25	3,25	3,5	3,5	3,25/3,25	3,5/3,5	3,5/3,5	3,5/3,5	3,5/3,5	3,5/3,5	2,75	2,75	2,75	3	3	3
Skulder (m)	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
Alternativt fortløp (m)	3,5/6,5											6'	6'	4	3,5		
Min. horisontal svingradius (m)	20	450	300	450	600	130	300	700	300	300	200	55	55	200	10	60	60
Min. vertikalsvingradius, lav (m)	75	125	180	340	180	90	140	345	245	130	10	40	40	300	30	45	45
Min. vertikalsvingradius, høy (m)	30	125	175	345	175	75	145	355	255	100	100	45	45	300	30	45	45
Støpskilt (m)																	
Skilt	-4	-9	-8	-14	-18	-4	-14	-35	-30	-8	-8	-2	-2	-8			
Års2 _{med}	5	31	27	20	27	6	20	55	44	11	11	2	2	11	50		300
Maksimal (m)																	
Portåbning (m)	450	550								450	450				210	50	
Min. vertikal svingradius, høy (m)	1100	2500	6400	4400	6400	1300	4400	13600	15600	2100	2300	400	400	2300	300	400	1300
Min. vertikal svingradius, lav (m)	1100	1900	2600	2300	3600	1300	2300	3600	3400	3600	3600	400	400	3000	150	400	400
Maks. overtrykk (%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Maks. svingtrykk (%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Maks. restdekketall (%)	30	10	30	10	30	10	30	30	30	31,3	31,3	10	30	31,3	9,5	30	11,3
Min. restdekketall (%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Kryssning	T, X, R	T, R	T, R	T, R, P	P, R, T, R	T, X, R, P	P	P	P	T, R	T, R	T, X	T, X, R	T			
Avstand mellom kryss	250	500	3000	3000	1000	300	1000	3000	3000	250	250						
Min. horisontal svingradius (m)	225(T, X)	400(T)	700(T)	500(T)	700(T)	275(T, X)				350(T)	500(T)	100(T)	100(T)	350(T)			
Min. vertikalsvingradius, høy (m)	3300	7500	16400	30900	36400	26000				55000	55000	1300	1300	55000			
Avvik (m)	R, A, F	B	B	A, F	A, F	A, F	A, F	A, F	A, F	B	B	B	B	B	T	T	T
Min. vertikalsvingradius, høy (m)	1300	3500	8200							2300	2300						
Avstand mellom stopplommer (barsl)		5	5	3	2		3			5	5						
Portåbning		M	M	R, N	E	E	E	E	E	M	M						
Eger- eller motg. felt		I	I	I	B	B	B	B	B	I	I	B	B	B	I	B	I
Belysning	VT	VT	VT	VT	VT	VT	VT	VT	VT	VT	VT	L	L	L	L	L	L
Dimensjonerende høyde	A, B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	B	B	C
Dimensjonerende høyde	A, B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	B	B	C

* I tillegg brukes et fortøyningsfelt

Tegnforklaring:

Vegtype: H1, H1-1, H1-2, H1-3, H1-4, H1-5, H1-6, H1-7, H1-8, H1-9, H1-10, H1-11, H1-12, H1-13, H1-14, H1-15, H1-16, H1-17, H1-18, H1-19, H1-20, H1-21, H1-22, H1-23, H1-24, H1-25, H1-26, H1-27, H1-28, H1-29, H1-30, H1-31, H1-32, H1-33, H1-34, H1-35, H1-36, H1-37, H1-38, H1-39, H1-40, H1-41, H1-42, H1-43, H1-44, H1-45, H1-46, H1-47, H1-48, H1-49, H1-50, H1-51, H1-52, H1-53, H1-54, H1-55, H1-56, H1-57, H1-58, H1-59, H1-60, H1-61, H1-62, H1-63, H1-64, H1-65, H1-66, H1-67, H1-68, H1-69, H1-70, H1-71, H1-72, H1-73, H1-74, H1-75, H1-76, H1-77, H1-78, H1-79, H1-80, H1-81, H1-82, H1-83, H1-84, H1-85, H1-86, H1-87, H1-88, H1-89, H1-90, H1-91, H1-92, H1-93, H1-94, H1-95, H1-96, H1-97, H1-98, H1-99, H1-100, H1-101, H1-102, H1-103, H1-104, H1-105, H1-106, H1-107, H1-108, H1-109, H1-110, H1-111, H1-112, H1-113, H1-114, H1-115, H1-116, H1-117, H1-118, H1-119, H1-120, H1-121, H1-122, H1-123, H1-124, H1-125, H1-126, H1-127, H1-128, H1-129, H1-130, H1-131, H1-132, H1-133, H1-134, H1-135, H1-136, H1-137, H1-138, H1-139, H1-140, H1-141, H1-142, H1-143, H1-144, H1-145, H1-146, H1-147, H1-148, H1-149, H1-150, H1-151, H1-152, H1-153, H1-154, H1-155, H1-156, H1-157, H1-158, H1-159, H1-160, H1-161, H1-162, H1-163, H1-164, H1-165, H1-166, H1-167, H1-168, H1-169, H1-170, H1-171, H1-172, H1-173, H1-174, H1-175, H1-176, H1-177, H1-178, H1-179, H1-180, H1-181, H1-182, H1-183, H1-184, H1-185, H1-186, H1-187, H1-188, H1-189, H1-190, H1-191, H1-192, H1-193, H1-194, H1-195, H1-196, H1-197, H1-198, H1-199, H1-200, H1-201, H1-202, H1-203, H1-204, H1-205, H1-206, H1-207, H1-208, H1-209, H1-210, H1-211, H1-212, H1-213, H1-214, H1-215, H1-216, H1-217, H1-218, H1-219, H1-220, H1-221, H1-222, H1-223, H1-224, H1-225, H1-226, H1-227, H1-228, H1-229, H1-230, H1-231, H1-232, H1-233, H1-234, H1-235, H1-236, H1-237, H1-238, H1-239, H1-240, H1-241, H1-242, H1-243, H1-244, H1-245, H1-246, H1-247, H1-248, H1-249, H1-250, H1-251, H1-252, H1-253, H1-254, H1-255, H1-256, H1-257, H1-258, H1-259, H1-260, H1-261, H1-262, H1-263, H1-264, H1-265, H1-266, H1-267, H1-268, H1-269, H1-270, H1-271, H1-272, H1-273, H1-274, H1-275, H1-276, H1-277, H1-278, H1-279, H1-280, H1-281, H1-282, H1-283, H1-284, H1-285, H1-286, H1-287, H1-288, H1-289, H1-290, H1-291, H1-292, H1-293, H1-294, H1-295, H1-296, H1-297, H1-298, H1-299, H1-300, H1-301, H1-302, H1-303, H1-304, H1-305, H1-306, H1-307, H1-308, H1-309, H1-310, H1-311, H1-312, H1-313, H1-314, H1-315, H1-316, H1-317, H1-318, H1-319, H1-320, H1-321, H1-322, H1-323, H1-324, H1-325, H1-326, H1-327, H1-328, H1-329, H1-330, H1-331, H1-332, H1-333, H1-334, H1-335, H1-336, H1-337, H1-338, H1-339, H1-340, H1-341, H1-342, H1-343, H1-344, H1-345, H1-346, H1-347, H1-348, H1-349, H1-350, H1-351, H1-352, H1-353, H1-354, H1-355, H1-356, H1-357, H1-358, H1-359, H1-360, H1-361, H1-362, H1-363, H1-364, H1-365, H1-366, H1-367, H1-368, H1-369, H1-370, H1-371, H1-372, H1-373, H1-374, H1-375, H1-376, H1-377, H1-378, H1-379, H1-380, H1-381, H1-382, H1-383, H1-384, H1-385, H1-386, H1-387, H1-388, H1-389, H1-390, H1-391, H1-392, H1-393, H1-394, H1-395, H1-396, H1-397, H1-398, H1-399, H1-400, H1-401, H1-402, H1-403, H1-404, H1-405, H1-406, H1-407, H1-408, H1-409, H1-410, H1-411, H1-412, H1-413, H1-414, H1-415, H1-416, H1-417, H1-418, H1-419, H1-420, H1-421, H1-422, H1-423, H1-424, H1-425, H1-426, H1-427, H1-428, H1-429, H1-430, H1-431, H1-432, H1-433, H1-434, H1-435, H1-436, H1-437, H1-438, H1-439, H1-440, H1-441, H1-442, H1-443, H1-444, H1-445, H1-446, H1-447, H1-448, H1-449, H1-450, H1-451, H1-452, H1-453, H1-454, H1-455, H1-456, H1-457, H1-458, H1-459, H1-460, H1-461, H1-462, H1-463, H1-464, H1-465, H1-466, H1-467, H1-468, H1-469, H1-470, H1-471, H1-472, H1-473, H1-474, H1-475, H1-476, H1-477, H1-478, H1-479, H1-480, H1-481, H1-482, H1-483, H1-484, H1-485, H1-486, H1-487, H1-488, H1-489, H1-490, H1-491, H1-492, H1-493, H1-494, H1-495, H1-496, H1-497, H1-498, H1-499, H1-500, H1-501, H1-502, H1-503, H1-504, H1-505, H1-506, H1-507, H1-508, H1-509, H1-510, H1-511, H1-512, H1-513, H1-514, H1-515, H1-516, H1-517, H1-518, H1-519, H1-520, H1-521, H1-522, H1-523, H1-524, H1-525, H1-526, H1-527, H1-528, H1-529, H1-530, H1-531, H1-532, H1-533, H1-534, H1-535, H1-536, H1-537, H1-538, H1-539, H1-540, H1-541, H1-542, H1-543, H1-544, H1-545, H1-546, H1-547, H1-548, H1-549, H1-550, H1-551, H1-552, H1-553, H1-554, H1-555, H1-556, H1-557, H1-558, H1-559, H1-560, H1-561, H1-562, H1-563, H1-564, H1-565, H1-566, H1-567, H1-568, H1-569, H1-570, H1-571, H1-572, H1-573, H1-574, H1-575, H1-576, H1-577, H1-578, H1-579, H1-580, H1-581, H1-582, H1-583, H1-584, H1-585, H1-586, H1-587, H1-588, H1-589, H1-590, H1-591, H1-592, H1-593, H1-594, H1-595, H1-596, H1-597, H1-598, H1-599, H1-600, H1-601, H1-602, H1-603, H1-604, H1-605, H1-606, H1-607, H1-608, H1-609, H1-610, H1-611, H1-612, H1-613, H1-614, H1-615, H1-616, H1-617, H1-618, H1-619, H1-620, H1-621, H1-622, H1-623, H1-624, H1-625, H1-626, H1-627, H1-628, H1-629, H1-630, H1-631, H1-632, H1-633, H1-634, H1-635, H1-636, H1-637, H1-638, H1-639, H1-640, H1-641, H1-642, H1-643, H1-644, H1-645, H1-646, H1-647, H1-648, H1-649, H1-650, H1-651, H1-652, H1-653, H1-654, H1-655, H1-656, H1-657, H1-658, H1-659, H1-660, H1-661, H1-662, H1-663, H1-664, H1-665, H1-666, H1-667, H1-668, H1-669, H1-670, H1-671, H1-672, H1-673, H1-674, H1-675, H1-676, H1-677, H1-678, H1-679, H1-680, H1-681, H1-682, H1-683, H1-684, H1-685, H1-686, H1-687, H1-688, H1-689, H1-690, H1-691, H1-692, H1-693, H1-694, H1-695, H1-696, H1-697, H1-698, H1-699, H1-700, H1-701, H1-702, H1-703, H1-704, H1-705, H1-706, H1-707, H1-708, H1-709, H1-710, H1-711, H1-712, H1-713, H1-714, H1-715, H1-716, H1-717, H1-718, H1-719, H1-720, H1-721, H1-722, H1-723, H1-724, H1-725, H1-726, H1-727, H1-728, H1-729, H1-730, H1-731, H1-732, H1-733, H1-734, H1-735, H1-736, H1-737, H1-738, H1-739, H1-740, H1-741, H1-742, H1-743, H1-744, H1-745, H1-746, H1-747, H1-748, H1-749, H1-750, H1-751, H1-752, H1-753, H1-754, H1-755, H1-756, H1-757, H1-758, H1-759, H1-760, H1-761, H1-762, H1-763, H1-764, H1-765, H1-766, H1-767, H1-768, H1-769, H1-770, H1-771, H1-772, H1-773, H1-774, H1-775, H1-776, H1-777, H1-778, H1-779, H1-780, H1-781, H1-782, H1-783, H1-784, H1-785, H1-786, H1-787, H1-788, H1-789, H1-790, H1-791, H1-792, H1-793, H1-794, H1-795, H1-796, H1-797, H1-798, H1-799, H1-800, H1-801, H1-802, H1-803, H1-804, H1-805, H1-806, H1-807, H1-808, H1-809, H1-810, H1-811, H1-812, H1-813, H1-814, H1-815, H1-816, H1-817, H1-818, H1-819, H1-820, H1-821, H1-822, H1-823, H1-824, H1-825, H1-826, H1-827, H1-828, H1-829, H1-830, H1-831, H1-832, H1-833, H1-834, H1-835, H1-836, H1-837, H1-838, H1-839, H1-840, H1-841, H1-842, H1-843, H1-844, H1-845, H1-846, H1-847, H1-848, H1-849, H1-850, H1-851, H1-852, H1-853, H1-854, H1-855, H1-856, H1-857, H1-858, H1-859, H1-860, H1-861, H1-862, H1-863, H1-864, H1-865, H1-866, H1-867, H1-868, H1-869, H1-870, H1-871, H1-872, H1-873, H1-874, H1-875, H1-876, H1-877, H1-878, H1-879, H1-880, H1-881, H1-882, H1-883, H1-884, H1-885, H1-886, H1-887, H1-888, H1-889, H1-890, H1-891, H1-892, H1-893, H1-894, H1-895, H1-896, H1-897, H1-898, H1-899, H1-900, H1-901, H1-902, H1-903, H1-904, H1-905, H1-906, H1-907, H1-908, H1-909, H1-910, H1-911, H1-912, H1-913, H1-914, H1-915, H1-916, H1-917, H1-918, H1-919, H1-920, H1-921, H1-922, H1-923, H1-924, H1-925, H1-926, H1-927, H1-928, H1-929, H1-930, H1-931, H1-932, H1-933, H1-934, H1-935, H1-936, H1-937, H1-938, H1-939, H1-940, H1-941, H1-942, H1-943, H1-944, H1-945, H1-946, H1-947, H1-948, H1-949, H1-950, H1-951, H1-952, H1-953, H1-954, H1-955, H1-956, H1-957, H1-958, H1-959, H1-960, H1-961, H1-962, H1-963, H1-964, H1-965, H1-966, H1-967, H1-968, H1-969, H1-970, H1-971, H1-972

Gående pr time	< 15	15-50	50-100	100-200	> 200
Syklende pr time	< 15	15-50	50-100	100-200	> 200
< 15	Gang- og sykkelveg = 2,5	Gang- og sykkelveg = 3	Gang- og sykkelveg = 3	Gang- og sykkelveg = 3	Gang- og sykkelveg = 3,5
15-50	Gang- og sykkelveg = 3	Gang- og sykkelveg = 3	Sykkelveg = 2 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 2,5
50-100	Gang- og sykkelveg = 3	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 2,5
100-300	Gang- og sykkelveg = 3	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 2	Sykkelveg = 2,5 Fortau = 2,5
300-750	Gang- og sykkelveg = 3,5	Sykkelveg = 3 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 3 Fortau = 2	Sykkelveg = 3 Fortau = 2	Sykkelveg = 3 Fortau = 2,5
750-1500	Sykkelveg = 3,5 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 3,5 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 3,5 Fortau = 2	Sykkelveg = 3,5 Fortau = 2	Sykkelveg = 3,5 Fortau = 2,5
> 1500	Sykkelveg = 4 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 4 Fortau = 1,5	Sykkelveg = 4 Fortau = 2	Sykkelveg = 4 Fortau = 2	Sykkelveg = 4 Fortau = 2,5

Figur 10.4.2_ Bredder for gang- og sykkelveg og sykkelveg med fortau, eksklusive skuldre (mål i m) [24].

10.5 Vedlegg E: Mannings ruhetskoeffisient, n

Table 1. Base values of Manning's roughness coefficient

[Modified from Aldridge and Garrett (1973, table 1); —, no value given; >, greater than]

Type of channel and bed material	Median size or range of bed material		Base n value			
	Millimeters	Inches	Benson and Dalrymple (1967) ¹	Chow (1959) ²	Bray (1979)	
Sand channels (upper regime flow only)	0.2	—	0.012	—	—	
	.3	—	.017	—	—	
	.4	—	.020	—	—	
	.5	—	.022	—	—	
	.6	—	.023	—	—	
	.8	—	.025	—	—	
	1.0	—	.026	—	—	
Stable channels	Concrete	—	0.012–0.018	0.011	—	
	Rock cut	—	—	.025	—	
	Firm earth	—	—	0.025–0.032	.020	—
	Coarse sand	1–2	0.04–0.08	0.026–0.035	—	—
	Fine gravel	4–8	0.16–0.03	—	.024	—
	Gravel	2–64	0.08–2.5	0.028–0.035	—	—
	Coarse gravel	16–32	0.6–1.3	—	.028	—
	Very coarse gravel	32–64	1.3–2.5	—	—	.032
	Small cobble	64–128	2.5–5.0	—	—	.036
	Cobble	64–256	2.5–10.1	0.030–0.050	—	—
Boulder	>256	>10.1	0.040–0.070	—	—	

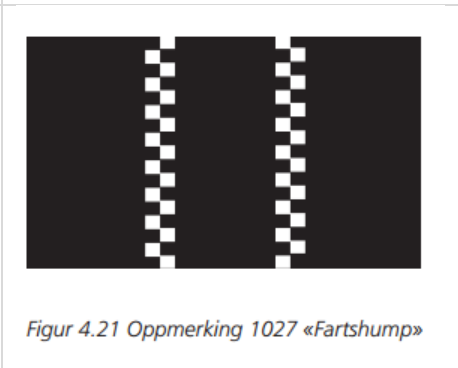
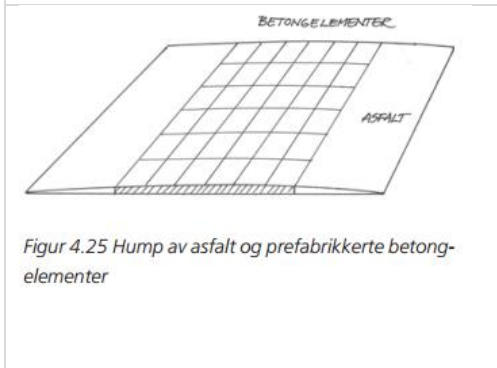
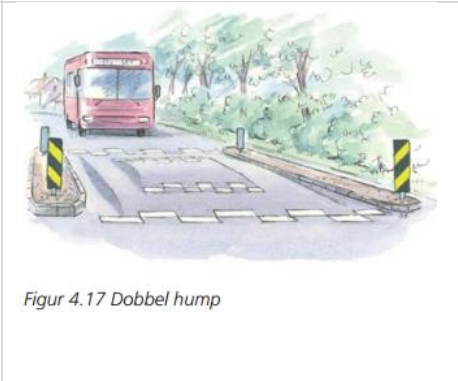
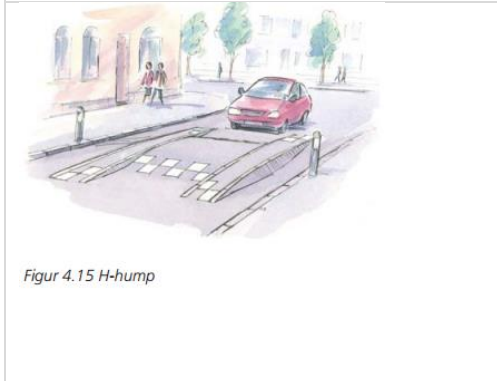
¹Straight uniform channel.

²Smoothest channel attainable in indicated material.

Figur 10.5.1: Mannings ruhetskoeffisient, n [24].

10.6 Vedlegg F: Bilder for fartsdempende tiltak fra Håndbok V128

 <p>Figur 2.1 Fartshump</p>	 <p>Figur 2.2 Fartsdamp</p>	 <p>Figur 2.4 Innsnevring til ett kjørefelt</p>
 <p>Figur 2.5 Innsnevring av kryss</p>	 <p>Figur 2.6 Sideforskyvning</p>	 <p>Figur 2.7 Innsnevring og sideforskyvning</p>
 <p>Figur 2.8 Rundkjøring</p>	 <p>Figur 2.9 Miljøgate</p>	 <p>Figur 2.10 Vekslende ensidig parkering</p>
 <p>2.11 Visuelle fartsdempende tiltak</p>	 <p>Figur 4.1 Sikkelhump</p>	 <p>Figur 4.7 Trapeshump</p>





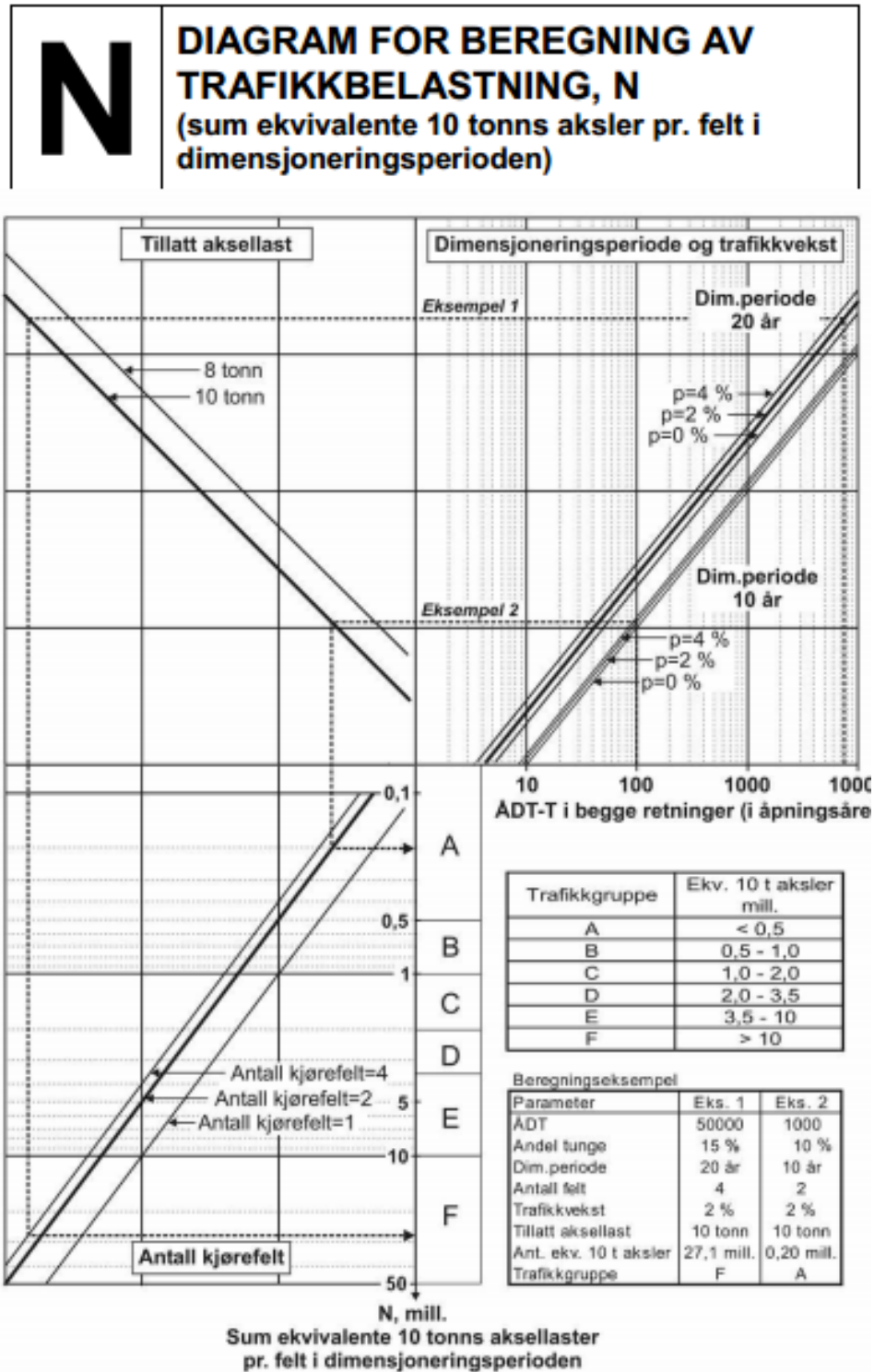
Figur 10.6.1: Bilder for fartsdempende tiltak fra Håndbok V128[31].

10.7 Vedlegg G: Figurer med krav for vegoverbygning fra Håndbok N200

Dekketype	ADT (i åpningsåret)			
	0 - 1500	1500 - 3000	3000 - 5000	> 5000
Myke dekketyper	4,0	4,0		
Stive dekketyper	3,0 over 3,0	3,5 over 3,0	4,0 over 3,0	4,5 over 3,5

Figur 512.1 Valg av dekkeløsninger (slitelag og bindlag), lagtykkelser i cm

Figur 10.7.1: Valg av dekkeløsninger[22].



Figur 510.2 Beregning av trafikkbelastning, N

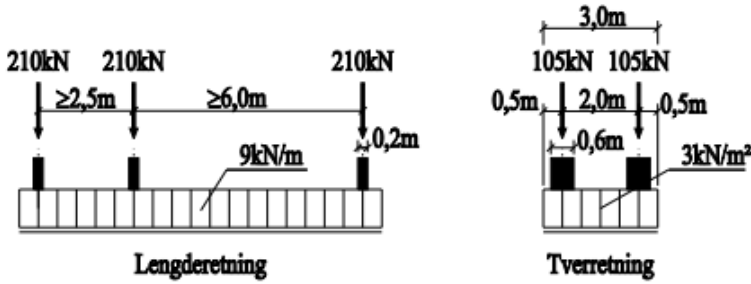
Figur 10.7.2: Valg av trafikkklasse gitt ÅDT-tunge, antall kjørefelt, tillatt aksellast, dimensjonerende periode og trafikkvekst[22].

H/S/A		DIMENSJONERINGSTABELL FOR HOVED-, SAMLE- OG ADKOMSTVEGER (lagtykkelser i cm)					
		TRAFIKKGRUPPE (Antall ekvivalente 10 t aksler pr. felt i dimensjoneringsperioden, N, mill.) Beregning av trafikkgruppe, se pkt 510.2					
		A (< 0,5)	B (0,5 - 1)	C (1 - 2)	D (2 - 3,5)	E (3,5 - 10)	F (> 10)
DEKKE		Dekketype og tykkelse velges på grunnlag av ADT i åpningsåret, se pkt. 512.3 / figur 512.1					
BÆRELAG		Tykkelse (cm), bærelag					
Anbefalte materialer:		9	10	11	12	13	14
Ag		5 over 6	6 over 7	6 over 8	7 over 8	7 over 9	7 over 10
Ag over Ap		5 over 10	6 over 10	7 over 10	8 over 10		
Ag over Ak		6 over 5	6 over 7	6 over 9	6 over 10		
Ag over Gja ³⁾		5 over 10	6 over 10	7 over 10			
Ag over Fk		20					
Fk							
FORSTERKNINGSLAG PÅ							
Materialtype i grunnen:	Bæreevne gruppe	Tykkelse (cm), forsterkningslag med lastfordelingskoeffisient a = 1,0					
Fjellskjæring, steinfylling, T1 ⁴⁾	1	30	30	30	30	30	30
Grus Cu ≥ 15, T1	2	30	30	30	30	30	30
Grus Cu < 15, T1 Sand Cu ≥ 15, T1 Fjellskjæring, steinfylling T2 ⁴⁾	3	30	30	30	40	50	50
Sand Cu < 15, T1 ⁴⁾ Grus, sand, morene, T2	4 ⁷⁾	40	40	50	60	70	80
Grus, sand, morene, T3	5	50	60	70	70	80	90
Silt, leire, T4, c _u ≥ 50 kPa	6 ⁷⁾	60	70	70	80	90	100
Silt, leire, T4, c _u 37,5-50 kPa	6	60	70	80	80	90	100
Silt, leire, T4, c _u 25-37,5 kPa	6	60+20 ¹⁾	70+10 ¹⁾	80	80	90	100
Silt, leire, T4, c _u < 25 kPa ²⁾	6	60+50 ¹⁾	70+40 ¹⁾	80+30 ¹⁾	80+30 ¹⁾	90+20 ¹⁾	100+10 ¹⁾
BÆRELAGSINDEKS BI_i⁵⁾		39	45	50	54	62	65
<p>1) Tall med pluss foran er knyttet til anleggstekniske forhold.</p> <p>2) For undergrunn av leire med c_u < 25 kPa skal forsterkningslagstykkelse og sikkerhet mot grunnbrudd vurderes spesielt.</p> <p>3) Tykkelsene forutsetter en lastfordelingskoeffisient på min. 1,75. Ved lastfordelingskoeffisienter mellom 1,35 og 1,75 må tykkelsen økes for å overholde kravene til indeksverdier.</p> <p>4) Sand med Cu < 5 skal vurderes særskilt.</p> <p>5) Definisjon av bærelagsindeks (BI_i), se vedlegg 4.</p> <p>6) Fjellskjæring omfatter både dyp- og grunnsprengning, for grunnsprengning er det krav om min 0,75 m fra vegoverflate til topp av knøler, se pkt. 226.3.</p> <p>7) Tykkelsen på forsterkningslag over isolasjonslag av XPS, lettklinker og skumglass må også vurderes ut fra anleggstekniske forhold.</p> <p>GRUNNFORSTERKNING: Nødvendig tykkelse av grunnforsterkningslag for at dette skal kunne betraktes som undergrunn ved dimensjonering av overbygning er vist i figur 510.10.</p> <p>FROSTSIKRING: Om bæreevnemessig dimensjonering ved ulike typer frostsikring, se kap. 511.</p> <p>Cu og c_u: For velgraderte og/eller grove masser brukes graderingstall (C_u eller Cu, fra engelsk: Coefficient of uniformity) som er definert som d₆₀/d₃₀, se vedlegg 13. For leire brukes begrepet udrøret skjærfasthet (c_u, engelsk: cohesion, undrained).</p>							

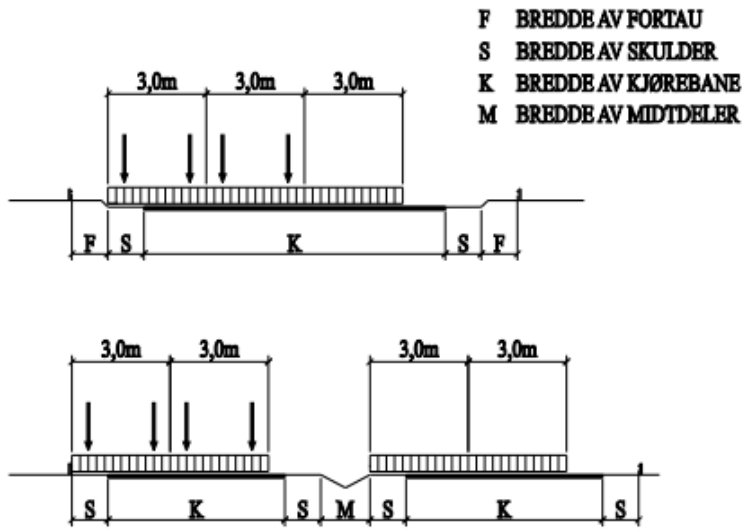
Figur 512.2 Dimensjonering av vegger med asfaltdekke, lagtykkelser i cm

Figur 10.7.3: Tabell for dimensjonering av vegger[22].

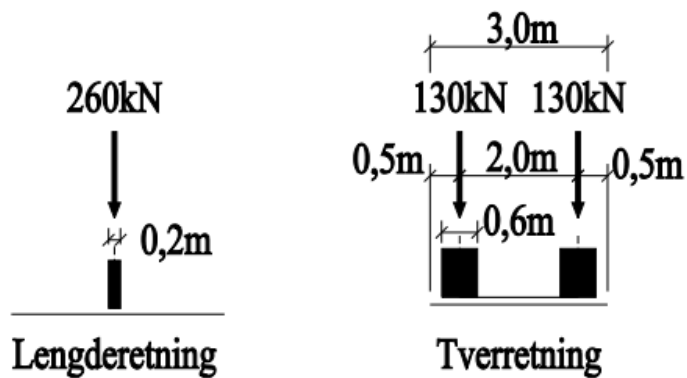
10.8 Vedlegg H: Trafikkklaster, lasttype V1, V2, bremselast og sidelast



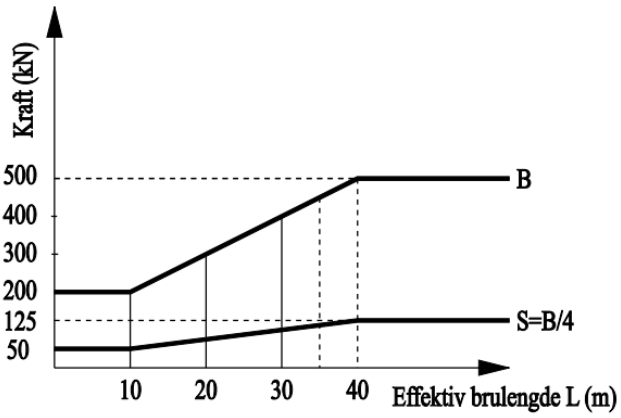
Figur 5: Lasttype V1



Figur 6: Eksempler på plassering av lasttype V1



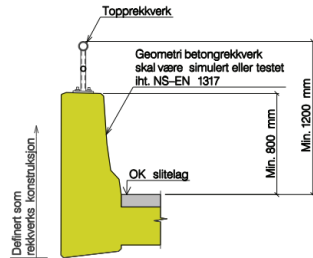
Figur 7: Lasttype V2



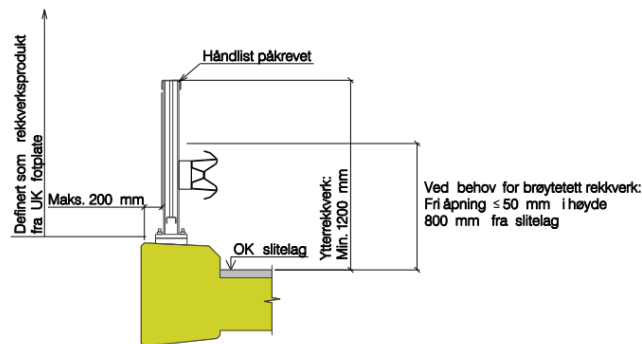
Figur 8: Bremselast og sidelast

Figur 10.8.1: Trafikklasser, lasttype V1, V2, bremselast og sidelast[34]

10.9 Vedlegg I: Betongrekkverk, kantdrag og standard rekkverk type SVV1, styrkeklasse H2



Figur 3.4 Krav til rekkverk styrkeklasse H2, ikke-ettergivende

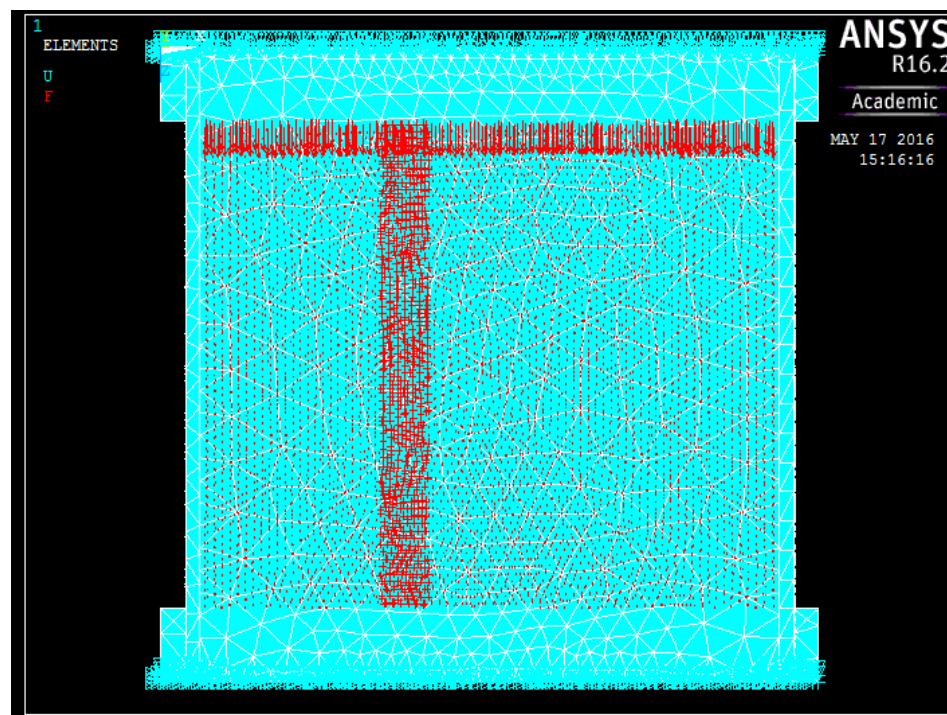
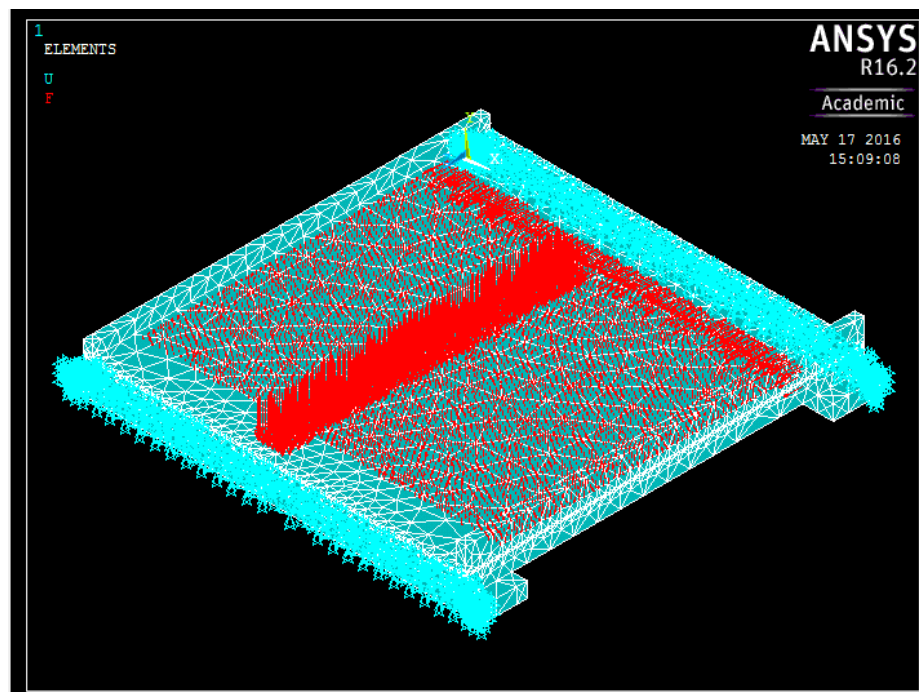


Figur 3.2 Krav til rekkverk styrkeklasse H2, ettergivende

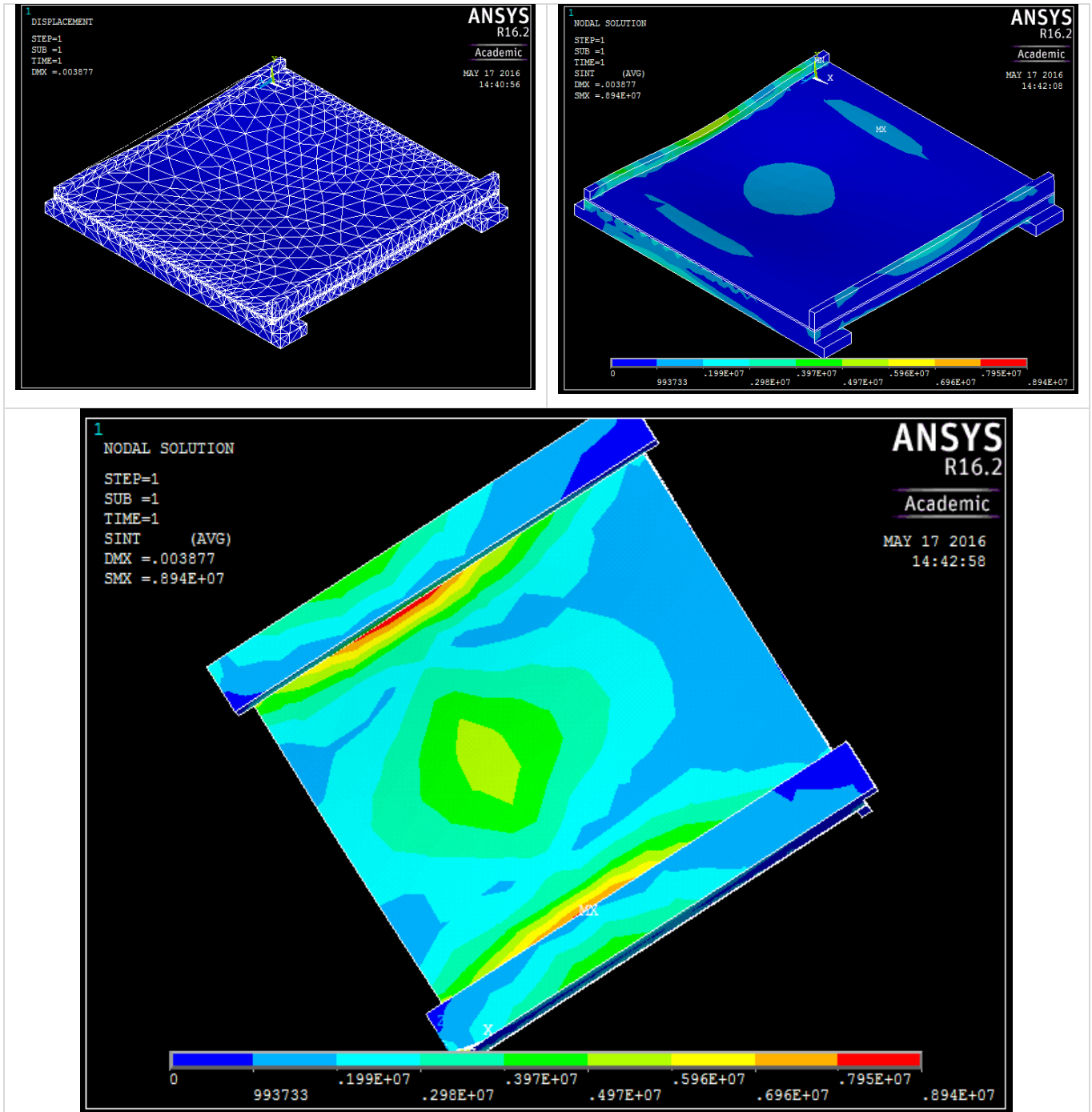
FUNKSJON	BRUKSOMRÅDE	TILGJENGLIGE PANELTYPER	
- BRU MED GANGBANE		<p>PANEL MED HØYE SPROSSER</p>	<p>PANEL MED FLETTVERK</p>
		<p>PANEL MED LAVE SPROSSER</p>	

Figur 10.9.1: Betongrekkverk, standard rekkverk type Svv1 med H2 styrkeklasse[36].

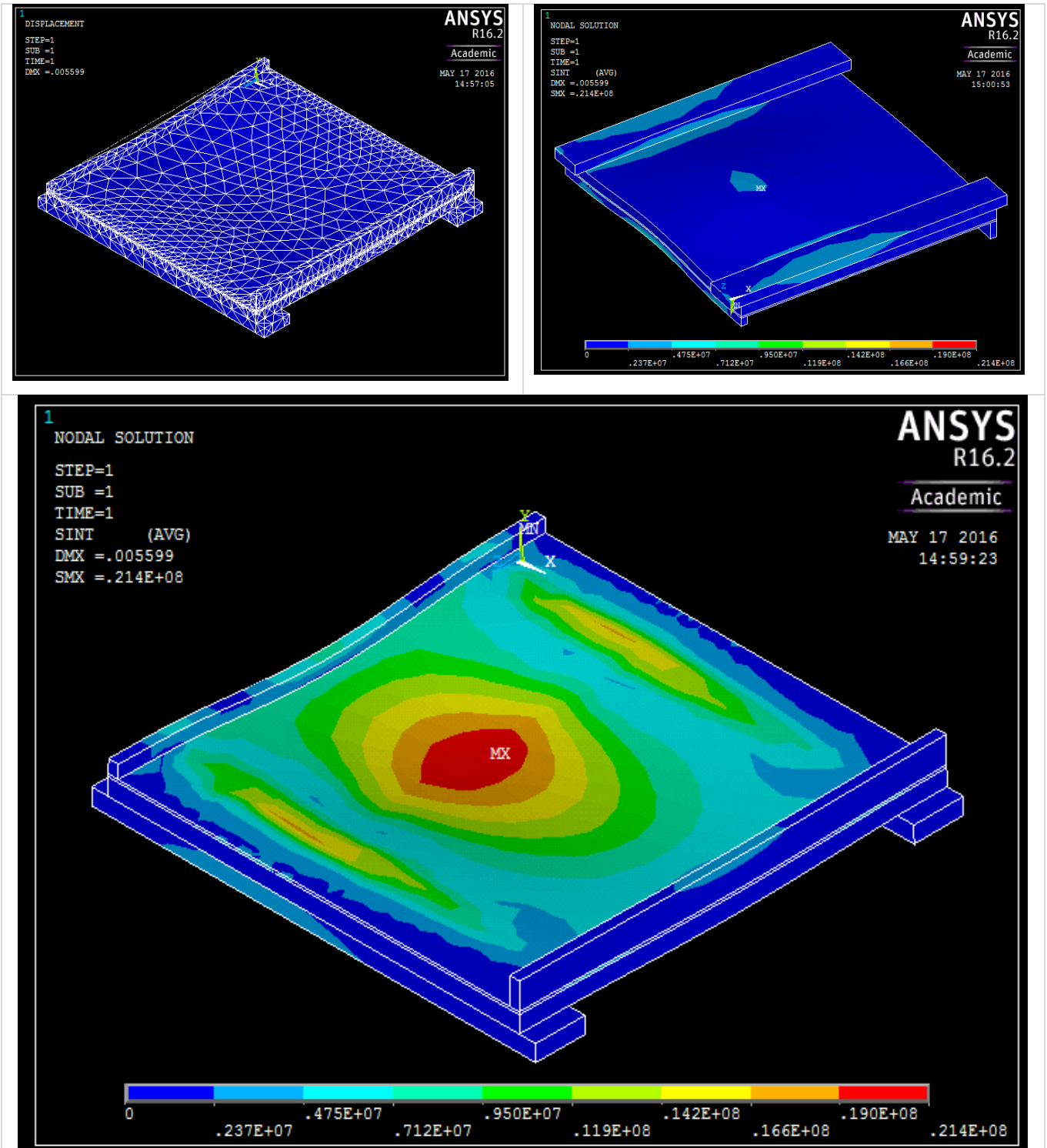
10.10 Vedlegg J: Resultat og programkoder fra ANSYS



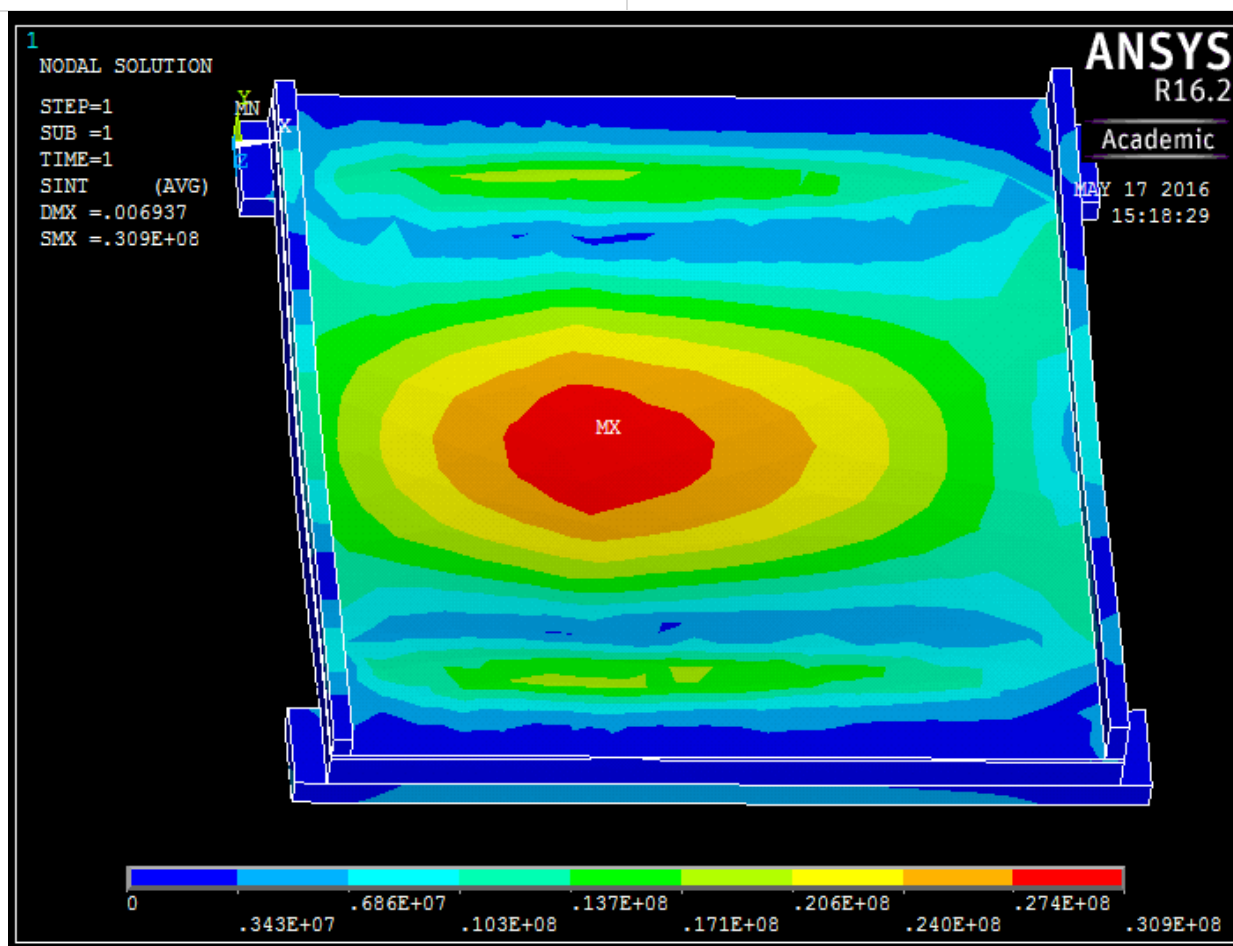
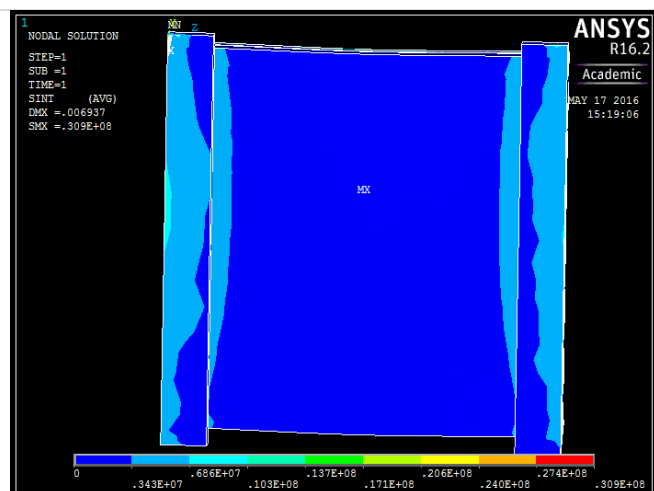
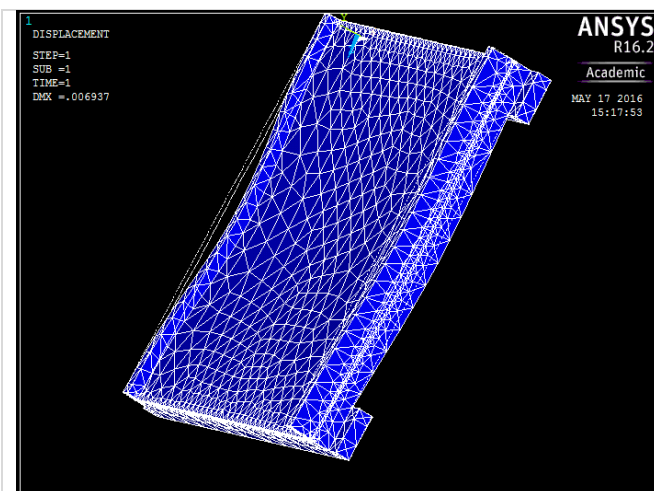
Figur 10.10.1: Felles last plassering for alle situasjoner på 125 m² dekke.



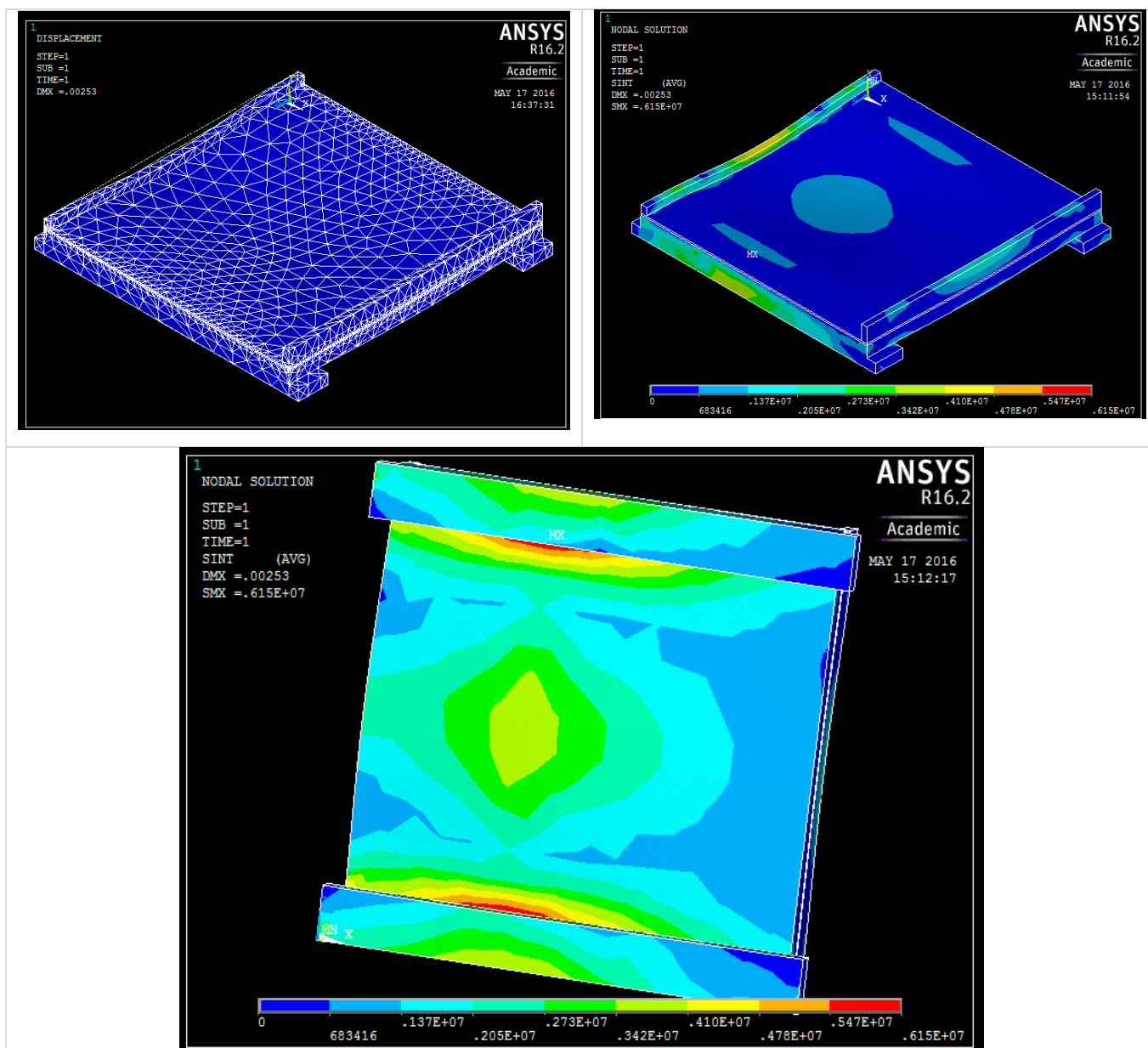
Figur 10.10.2: Deformasjon og spenningsintensitet med 50 cm betong dekke, 8 cm asphalt og resten betong med kvalitet B45.



Figur 10.10.3: Deformasjon og spenningsintensitet med **50 cm stål dekke**, 8 cm asphalt og resten betong med kvalitet B45.



Figur 10.10.4: Deformasjon og spenningsintensitet med **60 cm betong dekke**, 8 cm asphalt og resten betong med kvalitet B45.



Figur 10.10.5: Deformasjon og spenningsintensitet med 60 cm stål dekke, 8 cm asphalt og resten betong med kvalitet B45.

Tabell 10.10.1: ANSYS programkoder for situasjoner ovenfor.

50 cm BETONG dekke med B45	50 cm STÅL dekke	60 cm BETONG dekke med B45	60 cm STÅL dekke
/units,si	/units,si	/units,si	/units,si
et,1,187	et,1,187	et,1,187	et,1,187
mp,ex,1,6e9	mp,ex,1,6e9	mp,ex,1,6e9	mp,ex,1,6e9
et,2,187	et,2,187	et,2,187	et,2,187
mp,ex,2,3.6e10	mp,ex,2,2.1e11	mp,ex,2,3.6e10	mp,ex,2,2.1e11
k,1,0,0,0	et,3,187	k,1,0,0,0	et,3,187
k,2,0,0.5,0	mp,ex,3,3.6e10	k,2,0,0.5,0	mp,ex,3,3.6e10
k,3,13.5,0.5,0	k,1,0,0,0	k,3,13.5,0.5,0	k,1,0,0,0
k,4,13.5,0,0	k,2,0,0.5,0	k,4,13.5,0,0	k,2,0,0.5,0
k,5,0,0,1.5	k,3,13.5,0.5,0	k,5,0,0,1.5	k,3,13.5,0.5,0
l,1,2	k,4,13.5,0,0	l,1,2	k,4,13.5,0,0
l,2,3	k,5,0,0,1.5	l,2,3	k,5,0,0,1.5
l,3,4	l,1,2	l,3,4	l,1,2
l,4,1	l,2,3	l,4,1	l,2,3
lplot	l,3,4	lplot	l,3,4
al,1,2,3,4	l,4,1	al,1,2,3,4	l,4,1
l,1,5	lplot	l,1,5	lplot
aplot	al,1,2,3,4	aplot	al,1,2,3,4
lplot	l,1,5	lplot	l,1,5
vdrag,1,,,,,5	aplot	vdrag,1,,,,,5	aplot
k,50,0,0,11.5	lplot	k,50,0,0,11.5	lplot
k,51,0,0.5,11.5	vdrag,1,,,,,5	k,51,0,0.5,11.5	vdrag,1,,,,,5
k,52,13.5,0.5,11.5	k,50,0,0,11.5	k,52,13.5,0.5,11.5	k,50,0,0,11.5
k,53,13.5,0,11.5	k,51,0,0.5,11.5	k,53,13.5,0,11.5	k,51,0,0.5,11.5
k,54,0,0,13	k,52,13.5,0.5,11.5	k,54,0,0,13	k,52,13.5,0.5,11.5
l,50,51	k,53,13.5,0,11.5	l,50,51	k,53,13.5,0,11.5
l,51,52	k,54,0,0,13	l,51,52	k,54,0,0,13
l,52,53	l,50,51	l,52,53	l,50,51
l,53,50	l,51,52	l,53,50	l,51,52
l,50,54	l,52,53	l,50,54	l,52,53
lplot	l,53,50	lplot	l,53,50
al,14,15,16,17	l,50,54	al,14,15,16,17	l,50,54
aplot	lplot	aplot	lplot
vdrag,7,,,,,18	al,14,15,16,17	vdrag,7,,,,,18	al,14,15,16,17
vplot	aplot	vplot	aplot
k,100,0.5,0.5,0	vdrag,7,,,,,18	k,100,0.5,0.5,0	vdrag,7,,,,,18
k,101,0.5,1,0	vplot	k,101,0.5,1.1,0	vplot

k,102,13,1,0	k,100,0.5,0.5,0	k,102,13,1.1,0	k,100,0.5,0.5,0
k,103,13,0.5,0	k,101,0.5,1,0	k,103,13,0.5,0	k,101,0.5,1.1,0
k,104,0.5,0.5,13	k,102,13,1,0	k,104,0.5,0.5,13	k,102,13,1.1,0
l,100,101	k,103,13,0.5,0	l,100,101	k,103,13,0.5,0
l,101,102	k,104,0.5,0.5,13	l,101,102	k,104,0.5,0.5,13
l,102,103	l,100,101	l,102,103	l,100,101
l,103,100	l,101,102	l,103,100	l,101,102
l,100,104	l,102,103	l,100,104	l,102,103
lplot	l,103,100	lplot	l,103,100
al,27,28,29,30	l,100,104	al,27,28,29,30	l,100,104
aplot	lplot	aplot	lplot
vdrag,13,,,,,31	al,27,28,29,30	vdrag,13,,,,,31	al,27,28,29,30
k,200,0.5,1,0	aplot	k,200,0.5,1.1,0	aplot
k,201,0.5,1.08,0	vdrag,13,,,,,31	k,201,0.5,1.18,0	vdrag,13,,,,,31
k,202,13,1.08,0	k,200,0.5,1,0	k,202,13,1.18,0	k,200,0.5,1.1,0
k,203,13,1,0	k,201,0.5,1.08,0	k,203,13,1.1,0	k,201,0.5,1.18,0
k,204,0.5,1,13	k,202,13,1.08,0	k,204,0.5,1.1,13	k,202,13,1.18,0
l,200,201	k,203,13,1,0	l,200,201	k,203,13,1.1,0
l,201,202	k,204,0.5,1,13	l,201,202	k,204,0.5,1.1,13
l,202,203	l,200,201	l,202,203	l,200,201
l,203,200	l,201,202	l,203,200	l,201,202
l,200,204	l,202,203	l,200,204	l,202,203
al,40,41,42,43	l,203,200	al,40,41,42,43	l,203,200
lplot,44	l,200,204	lplot,44	l,200,204
aplot	al,40,41,42,43	aplot	al,40,41,42,43
vdrag,19,,,,,44	lplot,44	vdrag,19,,,,,44	lplot,44
k,300,0.5,1.08,0	aplot	k,300,0.5,1.18,0	aplot
k,301,0.5,1.48,0	vdrag,19,,,,,44	k,301,0.5,1.58,0	vdrag,19,,,,,44
k,302,0.8,1.48,0	k,300,0.5,1.08,0	k,302,0.8,1.58,0	k,300,0.5,1.18,0
k,303,0.8,1.08,0	k,301,0.5,1.48,0	k,303,0.8,1.18,0	k,301,0.5,1.58,0
k,304,0.5,1.08,13	k,302,0.8,1.48,0	k,304,0.5,1.18,13	k,302,0.8,1.58,0
l,300,301	k,303,0.8,1.08,0	l,300,301	k,303,0.8,1.18,0
l,301,302	k,304,0.5,1.08,13	l,301,302	k,304,0.5,1.18,13
l,302,303	l,300,301	l,302,303	l,300,301
l,303,300	l,301,302	l,303,300	l,301,302
l,300,304	l,302,303	l,300,304	l,302,303
al,53,54,55,56	l,303,300	al,53,54,55,56	l,303,300
vdrag,25,,,,,57	l,300,304	vdrag,25,,,,,57	l,300,304
k,400,12.7,1.08,0	al,53,54,55,56	k,400,12.7,1.18,0	al,53,54,55,56
k,401,12.7,1.88,0	vdrag,25,,,,,57	k,401,12.7,1.98,0	vdrag,25,,,,,57
k,402,13,1.88,0	k,400,12.7,1.08,0	k,402,13,1.98,0	k,400,12.7,1.18,0

k,403,13,1.08,0	k,401,12.7,1.88,0	k,403,13,1.18,0	k,401,12.7,1.98,0
k,404,12.7,1.08,13	k,402,13,1.88,0	k,404,12.7,1.18,13	k,402,13,1.98,0
l,400,401	k,403,13,1.08,0	l,400,401	k,403,13,1.18,0
l,401,402	k,404,12.7,1.08,13	l,401,402	k,404,12.7,1.18,13
l,402,403	l,400,401	l,402,403	l,400,401
l,403,400	l,401,402	l,403,400	l,401,402
l,400,404	l,402,403	l,400,404	l,402,403
al,66,67,68,69	l,403,400	al,66,67,68,69	l,403,400
vdrag,31,,,,,70	l,400,404	vdrag,31,,,,,70	l,400,404
vglue,all	al,66,67,68,69	vglue,all	al,66,67,68,69
vsel,s,volu,,12	vdrag,31,,,,,70	vsel,s,volu,,12	vdrag,31,,,,,70
vplot	vglue,all	vplot	vglue,all
vatt,1,1,1	vsel,s,volu,,12	vatt,1,1,1	vsel,s,volu,,12
allsel	vplot	allsel	vplot
vsel,u,volu,,12	vatt,1,1,1	vsel,u,volu,,12	vatt,1,1,1
vatt,2,2,2	allsel	vatt,2,2,2	allsel
allsel	vsel,s,volu,,12	allsel	vsel,s,volu,,12
smrtsize,10	vatt,2,2,2	smrtsize,10	vatt,2,2,2
vmesh,all	allsel	vmesh,all	allsel
nset,s,loc,z,0,0.2	vsel,s,volu,,7	nset,s,loc,z,0,0.2	vsel,s,volu,,7
nplot	vatt,3,3,3	nplot	vatt,3,3,3
nset,r,loc,y,0,0.75	allsel	nset,r,loc,y,0,0.75	allsel
nplot	vsel,s,volu,,8	nplot	vsel,s,volu,,8
d,all,all	vatt,3,3,3	d,all,all	vatt,3,3,3
eplot	allsel	eplot	allsel
allsel	vsel,s,volu,,9	allsel	vsel,s,volu,,9
nset,s,loc,z,12.8,13	vatt,3,3,3	nset,s,loc,z,12.8,13	vatt,3,3,3
nplot	allsel	nplot	allsel
nset,r,loc,y,0,0.75	vsel,s,volu,,10	nset,r,loc,y,0,0.75	vsel,s,volu,,10
nplot	vatt,3,3,3	nplot	vatt,3,3,3
d,all,all	allsel	d,all,all	allsel
allsel	smrtsize,10	allsel	smrtsize,10
eplot	vmesh,all	eplot	vmesh,all
nset,s,loc,y,1,1.08	nset,s,loc,z,0,0.2	nset,s,loc,y,1.10,1.18	nset,s,loc,z,0,0.2
nset,r,loc,x,0.9,12.6	nplot	nset,r,loc,x,0.9,12.6	nplot
nset,r,loc,z,1.5,11.5	nset,r,loc,y,0,0.75	nset,r,loc,z,1.5,11.5	nset,r,loc,y,0,0.75
f,all,fy,-294	nplot	f,all,fy,-285	nplot
allsel	d,all,all	allsel	d,all,all
eplot	eplot	eplot	eplot
nset,s,loc,x,4.5,5.5	allsel	nset,s,loc,x,4.5,5.5	allsel
nplot	nset,s,loc,z,12.8,13	nplot	nset,s,loc,z,12.8,13

n.sel,r,loc,y,1,1.08	nplot	n.sel,r,loc,y,1.10,1.18	nplot
n.sel,r,loc,z,1.5,11.5	n.sel,r,loc,y,0,0.75	n.sel,r,loc,z,1.5,11.5	n.sel,r,loc,y,0,0.75
f,all,fy,-3875	nplot	f,all,fy,-3875	nplot
allsel	d,all,all	allsel	d,all,all
n.sel,s,loc,x,0.9,12.6	allsel	n.sel,s,loc,x,0.9,12.6	allsel
n.sel,r,loc,y,0.5,1.08	eplot	n.sel,r,loc,y,0.5,1.18	eplot
n.sel,r,loc,z,1.5,1.7	n.sel,s,loc,y,1,1.08	n.sel,r,loc,z,1.5,1.7	n.sel,s,loc,y,1.10,1.18
f,all,fz,2070	n.sel,r,loc,x,0.9,12.6	f,all,fz,2070	n.sel,r,loc,x,0.9,12.6
allsel	n.sel,r,loc,z,1.5,11.5	allsel	n.sel,r,loc,z,1.5,11.5
eplot	f,all,fy,-294	eplot	f,all,fy,-1052
	allsel		allsel
	eplot		eplot
	n.sel,s,loc,x,4.5,5.5		n.sel,s,loc,x,4.5,5.5
	nplot		nplot
	n.sel,r,loc,y,1,1.08		n.sel,r,loc,y,1.10,1.18
	n.sel,r,loc,z,1.5,11.5		n.sel,r,loc,z,1.5,11.5
	f,all,fy,-3875		f,all,fy,-3875
	allsel		allsel
	n.sel,s,loc,x,0.9,12.6		n.sel,s,loc,x,0.9,12.6
	n.sel,r,loc,y,0.5,1.08		n.sel,r,loc,y,0.5,1.18
	n.sel,r,loc,z,1.5,1.7		n.sel,r,loc,z,1.5,1.7
	f,all,fz,2070		f,all,fz,2070
	allsel		allsel
	eplot		eplot