



Statens vegvesen


HAGLESUNDBRUA PÅHENGTT GANG-/SYKKELBANE

Mulighetsstudie

Rev	Dato/Date	Beskrivelse/Reason for issue	Utført/ Made by	Kontr./ Checked	Godkjent/ Approved
B	13.06.2019	Supplert med økt føringsbredde i kjørebane	HHR	LRE	SKR
A	15.04.2019	Oversendelse	HHR	LRE	SKR
12095-2-01	Haglesundbrua - Mulighetsstudie for påhengt gang-/sykkelbane				
Dok.nr /Doc. no.	Tittel /Title				


 **AAS-JAKOBSEN**

Lilleakerveien 4A, 0283 OSLO, Tel +47 22 51 30 00, www.aaj.no

 AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00		Pr.nr./Pr.no 12095_2	Dok.nr./Doc.no 12095_2-01	Rev. B
	Prosjekt/Project Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane		Dato/Date 15.04.19	Rev.dato/Date 13.06.19	
Tittel / Title Mulighetsstudie		Utført/Prep.By HHR	Rev. av/Rev by HHR	Side/Page i	


REVISJONSLISTE

Rev	Endringer
A	1. oversendelse
B	<p>Suppleringer etter møte 06.05.2019 og avklaringer i epost av 11.06.2019:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ensidig påhengt gang- og sykkelbane er vurdert for utvidet føringsbredde av kjørebane. • Sammendrag oppdatert iht ytterligere informasjon og løsninger • Avsnitt 2.2.3 Trafikklast ved økt føringsbredde i kjørebane er lagt til • Avsnitt 2.4 Avklaringer med Vegdirektoratet er ilagt til • Avsnitt 2.5 Avklaring mot SVRV er lagt til • Ytterligere informasjon er gitt innledningsvis i kapittel 4 • Nye avsnitt for resultater med utvidet kjørebane (Avsnitt 4.4 og 4.5) er lagt til • Nytt avsnitt 4.6 med resultater etter avklaringer med Vegdirektoratet • Kap 6 KOSTNADSESTIMAT er oppdatert med alternativene med utvidelse av føringsbredde i kjørebane.

	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00		Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
			12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane		Dato/Date	Rev.dato/Date	
			15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Mulighetsstudie		Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
			HHR	HHR	ii

INNHOLDSFORTEGNELSE

REVISJONSLISTE	I
INNHOLDSFORTEGNELSE	II
SAMMENDRAG	III
1 EKSISTERENDE BRU	1
2 FORUTSATTE LASTER.....	3
2.1 PERMANENTE LASTER	3
2.2 VARIABLE LASTER	3
2.2.1 Eksisterende bru	3
2.2.2 Påhengte gang- og sykkelbaner	4
2.2.3 Trafikklast ved økt føringsbredde i kjørebane	4
2.3 LASTKOMBINASJONER	6
2.4 AVKLARINGER MED VEGDIREKTORATET	6
2.4.1 Dimensjonerende laster	6
2.4.2 Rekkverk.....	7
2.4.3 Sikringsgjerde	7
2.4.4 Utmatting	8
2.5 AVKLARING MOT SVRV	8
3 BEREGNINGER.....	9
3.1 KAPASITET	9
3.2 SPORFAKTORER.....	9
3.3 SELBERGS INFLUENS DIAGRAMMER	10
3.4 "OPPSKRUIING" AV BRUBJELKE.....	12
4 RESULTATER.....	13
4.1 GENERELT	13
4.2 EKSISTERENDE BRU.....	14
4.3 MED PÅHENGT GANG- OG SYKKELBANER – OPPRINNELIG FØRINGSBREDDE I KJØREBANE	15
4.3.1 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok R412	15
4.3.2 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok NS-EN 1991-2	18
4.4 MED PÅHENGT GANG- OG SYKKELBANE – 8.63 M FØRINGSBREDDE I KJØREBANEN	21
4.4.1 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok R412	21
4.4.2 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok NS-EN 1991-2	23
4.5 MED PÅHENGT GANG OG SYKKELBANE – 7.95 M FØRINGSBREDDE I KJØREBANEN	24
4.5.1 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok R412	24
4.5.2 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok NS-EN 1991-2	26
4.6 RESULTATER ETTER AVKLARING MED VEGDIREKTORATET – DIM. BRUKSTID 16 – 50 ÅR	28
4.6.1 7.95 m føringsbredde på kjørebane	28
4.6.2 8.63 m føringsbredde på kjørebane	29
5 NØDVENDIG OPPGRADERING AV EKSISTERENDE BRU	31
6 KOSTNADSESTIMAT	32
7 REFERANSER.....	33

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	iii

SAMMENDRAG

Det er utført beregninger for å vurdere om det er mulig å montere påhengt gang-/sykkelbane (g/s-bane) med 5m føringsbredde på Haglesundbrua. Haglesundbrua ble åpnet i 1982 og er dimensjonert etter Internordiske lastforskrifter av 1971.

Grunnlaget for den eksisterende brua er hentet fra Statens Vegvesens arkiv og inkluderer utdrag av beregninger, materialister og arbeidstegninger. De opprinnelige tegningene og beregningene viser at det ikke er asfaltslitelag på brua, men foto av eksisterende bru viser at brua er asfaltert.

I beregningene har vi kun kontrollert bruas hengespenn, dvs. kabel, hengestenger og avstivningsbærer da vi anser dette som de kritiske elementene. Vi anser at det vil være mulig å få til en løsning for viaduktene, enten som påhengt g/s bane eller ved separate bærende konstruksjoner. Bruas tårn og fundamenter er heller ikke kontrollert, da disse konstruksjonsdelene erfaringsmessig ikke er kritiske. Knutepunkter og forbindelser i avstivningsbærer er heller ikke kontrollert nå.


Vi har i våre kontrollberegninger av eksisterende bru inkludert 60 mm asfalt. Det vil være mulig å vurdere et tynnere slitelag (Safegrip e.l.). Videre er det vurdert nyttelaster på de påhengte g/s banene både iht. "Håndbok R412 Bruklassifisering" og iht. gjeldene Eurokoder (NS-EN 1991-2). Nyttelasten på påhengte g/s baner er da henholdsvis 1.0 kN/m² og 2.5 kN/m². Den samtidige nyttelasten på eksisterende bru er iht. NA-rundskriv 2017/10 til "Håndbok R412 Bruklassifisering".

Det er forutsatt at den påhengte g/s banen utføres i lettvektsmateriale (kompositt med glassfiber).

I møte 06.05.2019 ønsket de involverte kommunene og Statens Vegvesen at føringsbredden på kjørebane skal utvides, ved at føringskinnen som separerer kjøre- og gangbanen fjernes. I tillegg til eksisterende føringsbredde på kjørebane er to alternative føringsbredder vurdert, hhv. 8.63 m og 7.95 m. 8.63 m er maksimalt mulig føringsbredde. Dette gir beregningsmessig 3 kjørefelt. 7.95 m er valgt ettersom dette er den maksimalt mulige føringsbredden som kun gir 2 beregningsmessige kjørefelt. Resultatene er oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1: Oppsummering av resultater – 60 mm asfalt

Nyttelast på g/s bane	Referanse	Føringsbredde (m)		Merknad
		Kjørebane	G/S bane	
1.00 kN/m ²	Håndbok R412	7.00 (Eksisterende)	3.0 + 2.0	OK kapasitet
			3.0 + 3.0	1 % overskridelse av hovedkabel
			5.0 + 0.0	5 % overskridelse av hovedkabel
		8.63	2.0 + 0.0	OK kapasitet
			2.7 + 0.0	2 % overskridelse av hovedkabel
			3.2 + 0.0	OK kapasitet
7.95		4.0 + 0.0	2 % overskridelse av hovedkabel	
		2.0 + 0.0	1 % overskridelse av hovedkabel	
		2.5 + 0.0	4 % overskridelse av hovedkabel	
2.50 kN/m ²	NS-EN 1991-2	7.00 (Eksisterende)	2.0 + 2.0	2 % overskridelse av hovedkabel
			3 % overskridelse av brubjelken	
			8.63	2 % overskridelse av hovedkabel
		7.95	1.4 + 0.0	2 % overskridelse av hovedkabel
			1.6 + 0.0	OK kapasitet
			2.0 + 0.0	2 % overskridelse av hovedkabel

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	iv

Som tabellen viser, vil største bredde for gang- og sykkelbanen oppnås ved at føringsbredden på kjørebane begrenses til 7.95 m. Avhengig av hva som skal benyttes som last på gangbanen ved samtidig trafikklast, kan det da oppnås hhv. 4.0 m bredde (for 1.0 kN/m²) eller 2.0 m bredde (for 2.5 kN/m²). Dersom det velges maksimal føringsbredde i kjørebane, dvs. ca.8.6 m, vil det kunne oppnås en gangbanebredde på hhv. 2.7 m (for 1.0 kN/m²) eller 1.4 m (for 2.5 kN/m²).

Etter avklaringer med Vegdirektoratet er det blitt klart at det i beregningene skal benyttes 80 mm asfalt (mot 60 mm som tidligere antatt). Selv om det legges inn en begrensning på at det ikke skal være mer enn 60 mm asfalt på brua, anses sannsynligheten for at det likevel legges tykkere asfalt senere som stor. Forutsetning om å ta høyde for 80 mm asfalt i beregningene anses derfor som fornuftig. Videre er det i beregningene forutsatt at dimensjonerende brukstid for brua med påhengt gang- og sykkelbane skal være mellom 16 og 50 år, dette tilsvarer en nyttelast på den påhengte gang- og sykkelbanen på 1.0 kN/m². Oppdaterte beregninger med 80 mm asfalt er gitt i Tabell 2.

Tabell 2: Oppsummering av resultater etter avklaring med Vegdirektoratet – 80 mm asfalt – Mindre enn 50 års levetid

Nyttelast på g/s bane	Referanse	Føringsbredde (m)		Merknad
		Kjørebane	G/S bane	
1.00 kN/m ²	Håndbok R412	8.63	1.9 + 0.0	2 % overskridelse av hovedkabel
		7.95	3.0 + 0.0	2 % overskridelse av hovedkabel

Spesialtransport er ikke undersøkt nå. Spesialtransporten vil ha liten effekt på hovedelementene i brua da disse er dominert av jevnlasten. Den kan ha noe betydning for sekundærelementer. Det kan legges begrensninger for spesialtransporter dersom det viser seg å være et problem. Dette vil eventuelt vurderes i en senere fase.


Ettersom det kun er gjennomført enkle håndberegninger i denne fasen, er brubjelkens torsjonsstivhet ikke medtatt. Ved mer detaljerte beregninger forventes det at kreftene vil fordeles jevnere til begge kabelplan, og det er derfor ansett i denne fasen som akseptabelt med opp til 2 % overskridelse av hovedkabelens kapasitet.

Beregningene viser at det ikke vil være mulig å installere en ensidig påhengt g/s bane med 5 m bredde, selv om dagens føringsbredde i kjørebane beholdes.

Vår anbefaling vil være at føringsbredden begrenses til 7.95 m for å oppnå en bredest mulig gangbane, men denne avveiningen mellom føringsbredde i kjørebane og gangbanebredde må kommunene og Vegvesenet gjøre. Ved 8.63 m føringsbredde vil det heller ikke oppnås tilstrekkelig føringsbredde på gang- og sykkelbanen til at et servicekjøretøy kan benyttes.

Kommunene og Statens Vegvesen ønsker at det etableres sikringsgjerde på begge sider av brua. Alternativer med sikringsgjerder er ikke vurdert i denne rapporten. Etablering av sikringsgjerder vil generelt resultere i en smalere g/s baner enn det som er beskrevet over. Dette pga. økt egenvekt og større vindkrefter på konstruksjonen. Bruas dynamiske stabilitet må da også kontrolleres.

Vi er av Vegdirektoratet blitt gjort oppmerksom på at noen av de sveiste knutepunktene i undergurten i avstivningsbæreren har passert sin tidligere beregnede utmattingslevetid. Økning av føringsbredden i kjørebane og påhenging av en gangbane vil i svært liten grad påvirke

 AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00		Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
			12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane		Dato/Date	Rev.dato/Date	
			15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Mulighetsstudie		Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
			HHR	HHR	v

utmattingslevetiden, da det kun er lastvekslinger fra kjøretøylast som påvirker denne. Avstivningsbæreren er et sekundært bæreelement. En utmattingskade i en sveis i en knuteplate vil derfor ikke være kritisk for bruas bæreevne. Videre vil en eventuell begynnende utmattingsprekk eller et fullstendig brudd oppdages ved inspeksjon eller ved vanlig drift.

Det bør likevel vurderes å utføre nye utmattingsberegninger iht. gjeldende regelverk for å identifisere evt. detaljer som kan være utsatt for utmatting. Vegdirektoratet ønsker at det først bør gjennomføres trafikkmålinger og veiinger for å få et bedre grunnlag for slike beregninger. Dette bør avklares nærmere.

Vi har kostnadsestimert tosidig GS-bane (2+3m) uten utvidelse av føringsbredden i kjørebane til en entreprisestimert rett i overkant av kr 80 mill.

For alternativet med utvidelse til 7.95 m føringsbredde har vi estimert entreprisestimert til ca. 50 mill. for arbeidene med påhengt gangbane. I tillegg vil påløpe kostnader til fjerning av rekkverket mellom kjørebane og gangbane, levering og montering av nytt, innerrekkverk i strykeklasse H2, kjerneboring av nye hull og montering av slukstusser for vanngjennomløp, samt asfaltering for å opparbeide nye tverrfall. Dette er estimert til ca. 15 mill, slik at total kostnad for dette alternativet anslås til ca .65 mill.

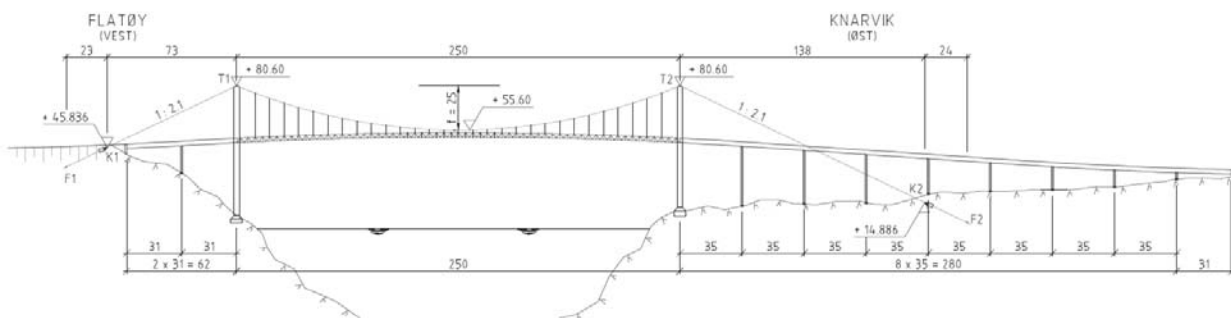
For alternativet med 8.6 m føringsbredde må også rekkverket mellom gangbane og kjørebane fjernes. I tillegg må srosserekkverket på bruas sørside erstattes med et kjøresterkt rekkverk i styrkeklasse H2. Øvrige arbeider mht. tverrfall og sluk blir som for alternativet med 7.95 m, slik at kostnadene for dette alternativet anses å være enda litt høyere enn for 7.95 m føringsbredde.

Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
12095_2	12095_2-01	B
Dato/Date	Rev.dato/Date	
15.04.19	13.06.19	
Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
HHR	HHR	1

Prosjekt/Project	Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane		
Tittel / Title	Mulighetsstudie		

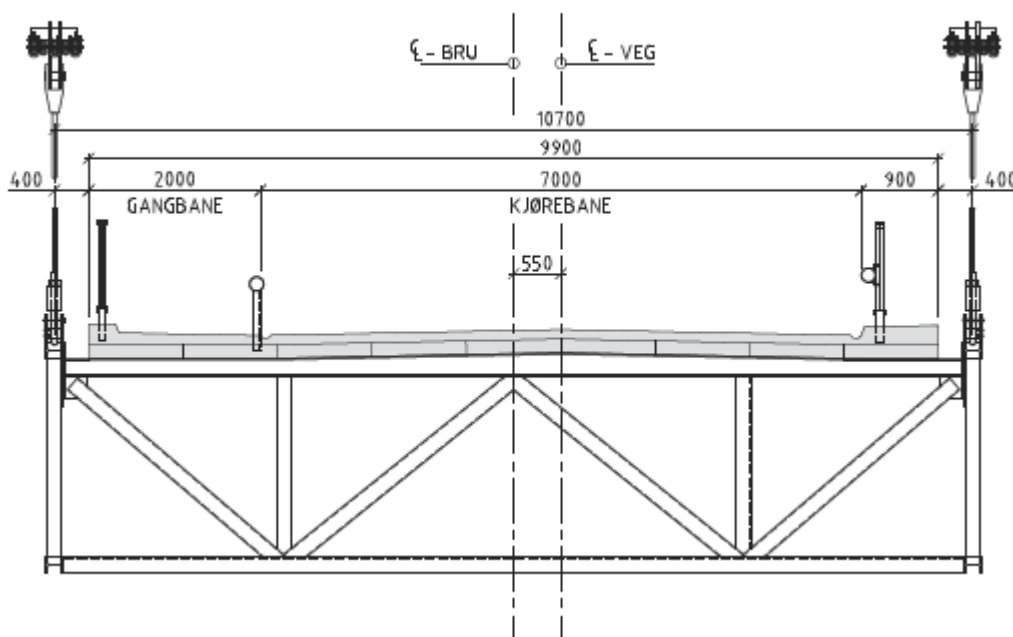
1 EKSISTERENDE BRU

Haglesundbrua ligger i Hordaland fylke og krysser over Haglesundet mellom Flatøy og Knarvik i retning vest-øst. Brua har et hengespenn på 250 m og total lengde 623 m. Brua ble åpnet i 1982, og er beregnet iht. Internordiske lastforskrifter av 1971.




Figur 1 Oversikt - Haglesundbrua

En skisse av et typisk tverrsnitt i hengespennet til Haglesundbrua er vist på Figur 2. Hengespennet består av et underliggende stålfagverk med betongdekke, hvor betongdekket er oppbygd av betongelementer med påstøp. Det er hengestenger ca. hver 8. meter, og hvert kabelplan består av 10 stk. enkeltkabler.




Figur 2: Skisse - Typisk tverrsnitt i hengespenn på Haglesundbrua

 AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00		Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
			12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project		Dato/Date	Rev.dato/Date		
Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane		15.04.19	13.06.19		
Tittel / Title		Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page	
Mulighetsstudie		HHR	HHR	2	

Bruas hengespenn består av følgende hovedkomponenter, som angitt i Tabell 3. Verdiene er basert på arbeidstegningene med unntak av materialkvaliteten for de generelle hengerne som ikke var angitt på tegningene men der en erfaringsmessig materialkvalitet er benyttet.

Tabell 3: Hovedkomponenter i hengespenn

Komponent	Spesifikasjon	Materiale
Undergurt	HE 220 M	St 52-3
Overgurt	HE 200 B	St 52-3
Betongelementer	9 x 1100 mm x 160 mm	C45
Påstøp	110 mm generelt	C45
Hengekabler – Generelt	ø50	Antatt 1570 MPa minimum bruddspenning
Hengestenger - Midtspenn	2 x 230 mm x 30 mm	St 52-3
Hovedkabler	2 x 10 x ø72	Minimum 5000 kN bruddlast per kabel

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	3

2 FORUTSATTE LASTER

2.1 Permanente laster

De permanente lastene benyttet i beregningene er angitt i Tabell 4, med de forutsetninger og antagelser som er gjort. Egenvekten av stålfagverk, betongplate og eksisterende rekkverk er beregnet basert på det som er vist på tegninger. Tegningene viser ikke asfalt-slitelag på brua, og det er sannsynlig at brua ble prosjektert med kun betongslitelag. Fotografier av brua viser at det nå er asfaltslitelag i kjørebane. Tykkelsen av dette slitelaget er uvisst og må måles dersom en velger å gå videre med mer nøyaktige beregninger. Et mulig tiltak for å øke restkapasiteten til brua er å erstatte det eksisterende slitelaget med en lettere løsning. Øvrige verdier er tatt fra katalog eller tidligere erfaringer.

Tabell 4: Benyttede permanente laster

Komponent	Egenvekt	Merknad
Stålfagverk	5.4 kN/m	
Betongplate	70.6 kN/m	
Slitelag kjørebane	1.5 kN/m ²	Forutsetter 60 mm tykkelse
Eksisterende rekkverk	0.9 kN/m	Basert på tegninger
Hovedkabler (72 mm diameter per kabel) ⁽¹⁾	6.3 kN/m	Katalogverdi for 72 mm kabler
Påhengt gangbane inkludert rekkverk ⁽²⁾	2.7 kN/m	Påhengt gangbane på en side med 3 m føringsbredde og rekkverk på begge sider
Slitelag på påhengt gangbane ⁽³⁾	0.25 kN/m ²	Sandavstrødd epoxy
Lysmaster	0.1 kN/m	Antatt

(1) Inkludert zink

(2) Påhengt gangbane i lettvektsmateriale slik som kompositt. Benyttet egenvekt fra tidligere erfaring ved påhengt gangbane på Melvold bru. Egenvekten er beregnet for flere føringsbredder, men kun egenvekt for 3 m føringsbredde er vist i tabellen.


(3) Tilsvarende slitelag ble benyttet for den påhengte gangbanen i komposittmateriale på Melvold bru.

2.2 Variable laster

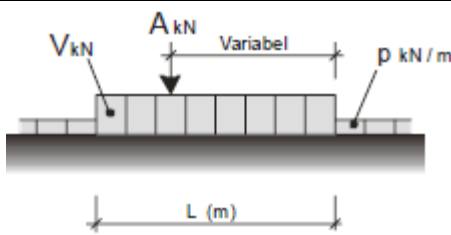
2.2.1 Eksisterende bru

I dette mulighetsstudiet er det kun undersøkt for nyttelaster (dvs. fra trafikk) som variabel last ettersom det er den dominerende variable lasten for de vurderte komponentene. Variable laster slik som vind og temperatur er ikke vurdert. Formfaktoren og dermed krefter fra vind vil ikke endres pga. påhengte gangbaner, og temperaturlaster gir ingen krefter i hengespennet.

For den eksisterende hengebrua er det benyttet nyttelaster iht. SVV "Håndbok R412 – Bruklassifisering". Nyttelastene er Bk 10/60 vogntoglast og last på gang- og sykkelbane. Lastene er gjengitt i Tabell 5.

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	4

Tabell 5 Nyttelaster på eksisterende hengebru, iht. håndbok R412

Nyttelast	Lasttype	Last-størrelse
Vogntoglast 	A - Aksellast	40 kN
	V - Vogntog	600 kN
	P - Jevnt fordelt	6 kN/m
	L – Lengde av vogntog	18 m
Last på gang- og sykkelbane adskilt fra kjørebane med rekkverk		1 kN/m ²

Bruas kjørebane har 7.0 m føringsbredde, som tilsier at maksimalt to kjørefelt er tillatt for vogntoglast. Føringsbredden til den eksisterende gangbanen settes konservativt til 2.0 m, men er i realiteten noe mindre pga. areal opptatt av rekkverk.

2.2.2 Påhengte gang- og sykkelbaner

For den/de påhengte sykkelbanene er nyttelaster både iht. R412 og NS-EN 1991-2 vurdert, med laststørrelser som angitt i Tabell 6.

Tabell 6 Vurderte nyttelaster på påhengte gang- og sykkelbaner

Nyttelast	Referanse	Last-størrelse
Last på gang- og sykkelbane adskilt fra kjørebane med rekkverk samtidig med trafikk	Håndbok R412 pkt. 3.2.5.1	1.0 kN/m ²
	NS-EN 1991-2 pkt. NA. 5.3.2.1	2.5 kN/m ²

Flere ulike føringsbredder for de påhengte gangbanene er vurdert.

2.2.3 Trafikklast ved økt føringsbredde i kjørebanen

Den eksisterende kjørebanen på Haglesundbrua har en føringsbredde på ca. 7.0 m. Dette tilsier at brua beregningsmessig kan belastes med to kjørefelt med vogntoglast. SVV og de involverte kommunene ønsker at føringsbredden på kjørebanen økes ved å fjerne det eksisterende avviser-rekkverket, som skiller den eksisterende gang- og sykkelbanen fra kjørebanen. Dersom rekkverket utføres på tilsvarende måte på begge sider av brua blir føringsbredden ca. 8.6 m. Dette tilsier at brua beregningsmessig må belastes med 3 kjørefelt, to med vogntog og ett med lett trafikk, iht. SVV sin håndbok R412. Dette er skissert på Figur 3.

Prosjekt/Project

Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane

Dato/Date

15.04.19

Rev.dato/Date

13.06.19

Tittel / Title

Mulighetsstudie

Utført/Prep.By

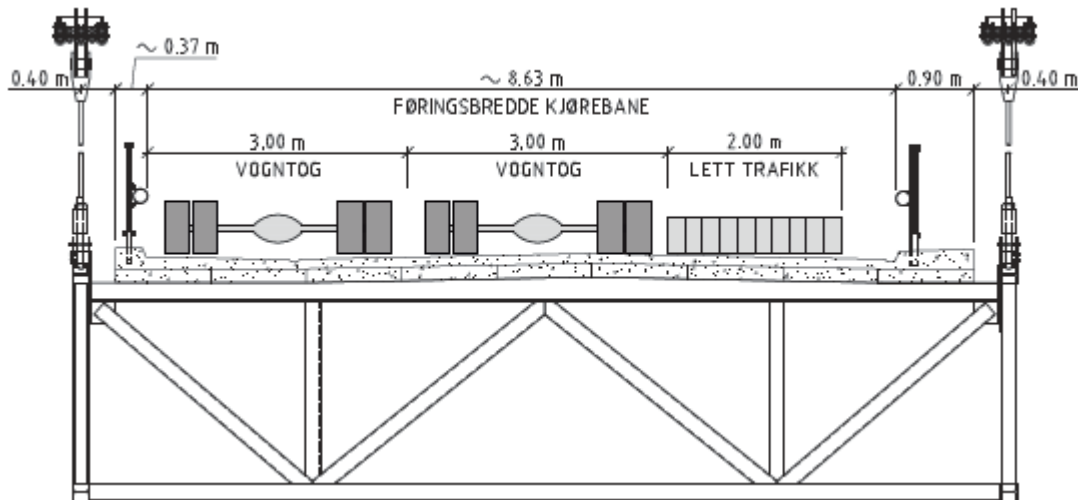
HHR

Rev. av/Rev by

HHR

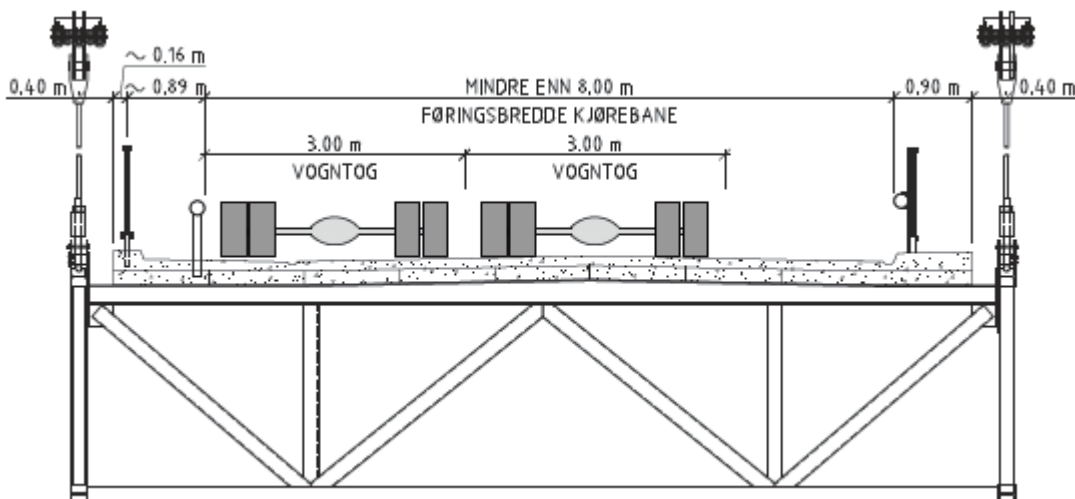
Side/Page

5




**Figur 3: Trafikklast på kjørebanen dersom det åpnes for trafikk i eksisterende gang- og sykkelbane
3 beregningsmessige kjørefelt**

Dersom føringsbredden begrenses til under 8.0 m, vil antall beregningsmessige kjørefelt reduseres til 2, som belastes med vogntoglast. Dette kan gjøres ved at det eksisterende avviserrekkeverket demonteres og det reetableres et tilsvarende avviserrekkeverk nærmere det søndre srosserrekkeverket. Denne løsningen er skissert på Figur 4, og blir benyttet i beregningene av påhengt gang- og sykkelbane med 7.95 m bred kjørebane.



Figur 4: Trafikklast på kjørebanen dersom det åpnes for trafikk i eksisterende gang- og sykkelbane og føringskinn som begrenser føringsbredden – 2 beregningsmessige kjørefelt

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	6

2.3 Lastkombinasjoner

Lastkombinasjoner i bruddgrensetilstand iht. håndbok R412 er benyttet i beregningene. Ettersom kun nyttelaster (trafikk) er vurdert som variable laster i beregningene, benyttes «Kombinasjon a» for bruddgrensetilstand, iht. håndbok R412. «Kombinasjon a» er den kombinasjonen som gir størst lastfaktor for brukslastene. Lastfaktorene som er benyttet er angitt i Tabell 7.

Tabell 7: Lastfaktorer i bruddgrensetilstand - Kombinasjon "a" iht. R412

Lasttype	Lastfaktor
Permanente laster	1.15
Brukslaster (Trafikklast i to eller flere felt)	1.30

2.4 Avklaringer med Vegdirektoratet

2.4.1 Dimensjonerende laster

Hvilke forskrifter som skal benyttes for å bestemme dimensjonerende lastvirkninger har blitt avklart med Vegdirektoratet, der Vegdirektoratet henviser til Tabell 14.1 og avsnitt 14.3 i Håndbok N400. Tabell 14.1 i N400 omhandler hva som skal være dimensjonerende belegningsvekt og trafikklast, avhengig av konstruksjonens dimensjonerende brukstid ved forsterkning/ombygging. Avsnitt 14.3 omhandler eksisterende bruer som inngår i nye veianlegg. Etter vår oppfatning bør den påhengte gang- og sykkelbanen betraktes som permanent ombygging av brua, og det som står beskrevet i Tabell 14.1 i N400 anses som mest representativt. Belegningsvekt, trafikklast og last i gang- og sykkelbaner for dimensjonerende brukstid mellom 16 og 50 år, og for mer enn 50 år, iht. Tabell 14.1 i Håndbok N400, er gitt i Tabell 8 og Tabell 9.


Tabell 8: Belegningsvekt og trafikklast for forskjellig dimensjonerende brukstid iht. Tabell 14.1 i N400

Dim. brukstid	Belegningsvekt	Trafikklast	Merknad
16 – 50 år	2.0 kN/m ² (80 mm tykkelse)	Bk 10/60	Ref. det som er beskrevet i avsnitt 2.2.1 Spesialtransport ⁽¹⁾
		Veggruppe A	
		Sv 12/100 med Bk 10/60	
> 50 år	2.0 kN/m ² (80 mm tykkelse)	9.0 kN/m	3 m feltbredde
		3 x 210 kN	Aksellaster

(1) Spesialtransport er ikke nærmere beskrevet i denne rapporten, ettersom det kan legges føringer for hvordan den skal passere brua. Dette vil kontrolleres dersom en velger å gå videre til neste fase.

Tabell 9: Gang- og sykkellast for forskjellig dimensjonerende brukstid iht. Tabell 14.1 i N400

Dim. brukstid	Last i gang- og sykkelbane		Merknad
	Jevnt fordelt last	Vedlikeholdsutstyr	
16 – 50 år	1.0 kN/m ²		Med trafikk
	4.0 kN/m ²	60 kN + 30 kN	Uten trafikk – Klasse At 4.5/7.5
> 50 år	2.0 kN/m ²		Med Trafikk
	4.0 kN/m ²	60 kN + 30 kN	Uten trafikk

 AAS-JAKOBSEN Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	7

Som det fremkommer av tabellene, skal dimensjonerende belegningsvekt være noe større enn først antatt (2.0 kN/m² mot 1.5 kN/m²). Dette fører til at mulig bredde for den påhengte gang- og sykkelbanen blir noe mindre enn først beregnet. Selv om en under arbeidet ved å montere påhengt gang- og sykkelbane benytter en tynnere belegning, er det stor sannsynlighet for at det senere vil påføres ytterligere belegning på brubanen. Å benytte en noe høy dimensjonerende belegningsvekt vil derfor være fornuftig.

Tabellene viser også at det ved dimensjonerende brukstid mer enn 50 år skal benyttes en betydelig større dimensjonerende last i kjørebane, og på gang- og sykkelbanen, enn ved dimensjonerende brukstid mellom 16 og 50 år. I denne rapporten er det ikke vurdert laster for dimensjonerende brukstid mer enn 50 år, ettersom det vil resultere i at det kun er mulig å montere en svært smal påhengt gang- og sykkelbane.

2.4.2 Rekkverk

Vi har i antakelsene av egenvekt rekkverk forutsatt at det kun benyttes et avviserrekkverk av samme type som eksisterende avviser. De øvrige rekkverk beholdes og det monteres to nye rekkverk på påhengt gangbane. Vegdirektoratet har i epost av 11.06.2019 gitt tilbakemelding om at det vil være krav om styrkeklasse H2 for innerrekkverk dersom det ikke er et H2 ytterrekkverk. Eksisterende ytterrekkverk tilfredsstillende ikke styrkeklasse H2. Et innerrekkverk i styrkeklasse H2, dvs. med en føringskinne, vil kreve et større rekkverksrom enn den eksisterende Ø168 mm, slik at det gjenstående fortauet vil bli smalere enn vist på figurer i kapittel 4.6. Dette vil bli nærmere undersøkt i neste fase.


2.4.3 Sikringsgjerde

Et høyt sikringsgjerde på toppen av rekkverkene vil øke vindkreftene på brua, samt endre de dynamiske egenskapene. Bruas aerodynamiske stabilitet må derfor undersøkes. Dette vil bli gjort i neste fase, da det krever at det utføres spesielle analyser. Spørsmål vedrørende løsninger og erfaringer med sikkerhetsgjerder er også oversendt Vegdirektoratet som har gitt følgende tilbakemelding i epost av 11.06.2019:

SVV har montert forhøyede brurekkverk eller lignende tiltak for selvmordsikring på følgende bruer:

- Tromsøysundbrua-2005
- Breviksbrua -2015
- Fredrikstadbrua-2018
- Tromøybrua
- Bjørndalsbrua
- Askøybrua 2017

SVV har dokumentasjon som viser at antall hopp fra bruer har gått ned etter at høyt rekkverk ble installert på noen bruer.

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	8

2.4.4 Utmatting

Av Vegdirektoratet har vi også blitt gjort oppmerksom på de sveiste knutepunktene i undergurten har passert sin beregnede utmattingslevetid. Disse beregningene er basert på et tidligere regelverk. Det har nå kommet nye Eurokoder for både utmattingslaster fra trafikk og utmattingsberegninger.

En utvidelse av føringsbredden i kjørebanelen eller påhenging av en gangbane vil ikke ha noe betydning for utmattingslevetiden av brua, da det kun er spenningsvekslingene fra utmattingskjøretøy som har betydning. En økt egenvekt av brua kan tvert imot gi en liten, gunstig effekt da strekket og dermed «stivheten» av hovedkabelen øker, slik at kreftene i avstivningsbæreren reduseres.

Det bør imidlertid utføres nye utmattingsberegninger iht. gjeldende regelverk for å identifisere områder med fare for utmatting. Vegdirektoratet foreslår at det først bør utføres trafikkmålinger for å få et bedre grunnlag for utmattingsberegningene. Videre foreslår de at det også kan utføres utmattingsprøver på en tilsvarende detalj for å bestemme utmattingsstyrken. Etter vår mening burde ikke dette være nødvendig, men dette må diskuteres nærmere med SVRV og Vegdirektoratet.

En eventuell begynnende utmattingssprekk eller fullstendig brudd i en sveis i et knutepunkt vil ikke være kritisk for bruas bæreevne, da avstivningsbæreren er et sekundært bæreelement. Et brudd vil kunne oppdages enten under normal drift og inspeksjon, eller ved spesielle inspeksjoner med fokus på disse detaljene. En begynnende sprekk vil da kunne oppdages og utbedres. Etter vår mening vil derfor et inspeksjonsopplegg være mer nyttig enn et omfattende måle- og forsøksprogram.


2.5 Avklaring mot SVRV

Fra SVRV har vi i epost av 11.06.2019 mottatt følgende opplysninger vedrørende slitelagstykkelse:

«Det var opprinnelig 30mm monolittisk betongslitelag på brua. Dette ble delvis fjernet før legging av membran og asfalt. Brua ha seinere blitt reasfaltert flere ganger. Skal dere finne hvor mye dekkevekt som er på brua nå bør dere nivållere overside dekke og underside dekke for å finne totaltykkelse av betong membran og asfalt.»

Vi vil foreslå at det ikke foretas noen målinger nå, men at vi legger til grunn den opprinnelige betongtykkelsen pluss 80 mm asfalt slik vi har gjort nå.

I neste fase vil det bli utført mer nøyaktige beregninger basert på SVRVs valgte alternativ for kjørebanelens føringsbredde og evt. inkludering av sikringsgjerder. Man kan da vurdere om man ønsker å utføre innmålinger, og om det er mulig å legge begrensninger på asfalttykkelsen. Som påpekt av Vegdirektoratet, er erfaringen at det er vanskelig å følge opp at slike begrensninger blir etterlevet.

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
	Prosjekt/Project Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane		
Dato/Date		Rev.dato/Date	
15.04.19		13.06.19	
Tittel / Title		Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by
Mulighetsstudie		HHR	HHR
		Side/Page	9

3 BEREGNINGER

3.1 Kapasitet

Den påhengte gang- og sykkelbanen vil ikke bidra til hengebruas kapasitet. Den er å betrakte som en påført last på avstivningsbæreren. For kapasitetsberegningene er det benyttet materialfaktorer iht. håndbok R412, som angitt i Tabell 10.

Tabell 10: Materialfaktorer iht. håndbok R412 - Bruddgrensetilstand

Komponent	Materialfaktor	
	γ_{M1}	γ_{M2}
Kabler	1.20	
Hengestenger	1.50	
Avstivningsbærer	1.10	1.25

Hovedkomponentenes kapasitet i bruddgrensetilstanden er angitt i Tabell 11. For momentkapasitet av brubjelken ved strekk i underkant (UK) er det forutsatt at betongen har 1/10 av stålets elastisitetsmodul (E-modul), som er en konservativ antagelse. For strekk i overkant (OK) av brubjelken er betongens/armeringens bidrag ikke inkludert.

Tabell 11: Kapasitet av hovedkomponenter i hengespenn - Bruddgrensetilstand

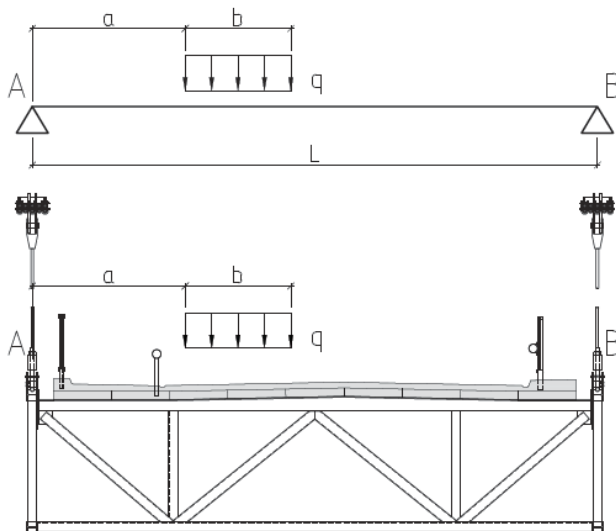
Komponent		Kapasitet	Merknad
Brubjelke	Strekk i UK	24.6 MNm	
	Strekk i OK	-23.4 MNm	Benytter kun stålets kapasitet
	Knekking av undergurt	4.0 MN	
Hovedkabel (per kabelplan)		27.8 MN	
Hengestenger	Generelt	1647 kN	
	Midtspenn	3174 kN	

3.2 Sporfaktorer

Effekten av eksentrisk plassering av trafikklast i bruas tverretning er inkludert ved å beregne sporfaktorer for ulike lastkonfigurasjoner i tverrsnittet. Beregningene er foretatt ved å anta et statisk system der brubjelken er fritt opplagt på hengestengene, som illustrert på Figur 5 for den eksisterende brua. Dette vil være konservativt, da det ikke er tatt hensyn til avstivningsbærerens torsjonsstivhet.

Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
12095_2	12095_2-01	B
Dato/Date	Rev.dato/Date	
15.04.19	13.06.19	
Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
HHR	HHR	10

Prosjekt/Project	Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane		
Tittel / Title	Mulighetsstudie		



Figur 5: Statisk system for beregning av sporfaktorer

Tilsvarende er gjort for beregningen av sporfaktor med påhengte gang- og sykkelbaner, men da virker den påhengte gang- og sykkelbanen som en utkrager.

3.3 Selbergs influensdiagrammer

I beregningene av de dimensjonerende lastene er Selbergs influensdiagrammer benyttet. Ved hjelp av Selbergs influensdiagrammer kan man beregne kabelkrefter, hengestangskraft, samt momenter, skjærkraft ved opplegg, nedbøyning og rotasjon ved opplegg for brubjelken.

Horisontalkomponenten av kabelkraften i hovedkabelen beregnes ved følgende uttrykk, etter Selbergs formler:

$$H_q = q \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{l^2}{f} \cdot [b^2(3 - 2b) - a^2(3 - 2a)]$$

$$H_p = P \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{l}{f} \cdot z \cdot (1 - z)$$

Hvor:

H_q = Horisontalkomponenten av kabelkraften pga. jevnt fordelt last

H_p = Horisontalkomponenten av kabelkraften pga. punktlast

q = Jevnt fordelt belastning


P = Punktlast

l = Spennvidde

f = Pilhøyde

(250 m for Haglesundbrua)

(25 m for Haglesundbrua)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	11

- a = Relativ avstand fra opplegget der belastningen starter (Mellom 0 og 1)
 b = Relativ avstand fra opplegget der belastningen slutter (Mellom 0 og 1)
 z = Relativ avstand fra opplegget der lasten virker (Mellom 0 og 1)

Når kabelkraftens horisontalkomponent er beregnet, bestemmes hengestangskrefter, momenter i brubjelken osv. fra influensdiagrammer. Verdiene i influensdiagrammene baserer seg på forholdet mellom kassens stivhet og kabelens geometriske stivhet. Beregningen av stivhetsforholdet gjøres uten lastfaktorer, ved uttrykket:

$$c = l \cdot \sqrt{\frac{H}{E \cdot I}}$$

Hvor:

- c = Forholdet mellom kabelens geometriske stivhet og stivheten av brukassen
 H = Horisontalkomponenten av kabelkraften uten lastfaktorer
 E = Stålets elastisitetsmodul (210 GPa)
 I = Annet arealmoment av brukassen (0.18 m⁴)


Selbergs influensdiagrammer er blitt brukt for å bestemme følgende dimensjonerende krefter i bruddgrensetilstand:

- Kraft hengestang
- Maksimalt moment i brubjelke (Ved $x = 0.2 L$)
- Rotasjon ved opplegg

Hengestangskraften er tilnærmet lik for alle hengerne, med unntak av de to hengerne nærmest tårnene. Beregnet hengestangskraft i de øvrige hengerne er multiplisert med en faktor på 1.5 for å ta hensyn til brudd eller utskifting av en hengestang. Nærmest tårn er den ene hengeren avlastet og den andre hengeren "skrudd opp" for å skape et moment i avstivningsbæreren. Dette er nærmere omtalt i avsnitt 3.4. Henger nr. 2 vil få en ekstra last pga. oppskruingen. Denne må kontrolleres nærmere senere.

Maksimalt positivt moment (strek i underkant av brukassen) opptrer ca. 50 m fra opplegg (0.2 L). De første 87.5 m (0.35 L) av hengespennet er da belastet med jevnt fordelt nyttelast, og vogntoglasten og aksellasten er plassert i avstand 50 m fra opplegg (0.2 L). Samme lastplassering gir dimensjonerende negativt moment (strek i overkant av brubjelken) og maksimal rotasjon ved opplegg.

Maksimal aksialkraft i hovedkabelen opptrer når hengespennet er belastet med jevnlast i hele spennet, og vogntog og aksellast er plassert midt i spennet. Horisontalkomponenten av kabelkraften er konstant. Maksimal kabelkraft opptrer i kabelens bakspenn ettersom kabelen her har den bratteste helningen (1:2.1).

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	12

3.4 "Oppskruing" av brubjelke

Av tegningene fremgår det at avstivningsbæreren er "skrudd opp" ved montering. Dette medfører et tilleggsmoment i bjelken. Nødvendig oppskruing for å nå riktig planumskote ved feltmidt er beregnet basert på følgende informasjon gitt på tegningene:


Planumskote feltmidt:	54.127 m	
Planumskote tårn:	51.000 m	
Koteforskjell:	3.127 m	
Nivå feltmidt ved utlegg i verksted:	1.385 m	(Brubjelken produseres med krumning)
Nødvendig oppskruingsnivå feltmidt:	1.742 m	

Oppskruing gir et konstant moment i avstivningsbæreren. Nødvendig konstant moment som gir ønsket oppskruingsnivå ved feltmidt bestemmes av uttrykket:

$$\Delta M = \frac{8 \cdot u_{max} \cdot E \cdot I}{L^2} = -3.01 \text{ MNm}$$

Hvor:

ΔM	= Oppskruingsmoment	(-3.01 MNm)
u_{max}	= Nødvendig oppskruingsnivå feltmidt	(1.742 m)
I	= Annet arealmoment av avstivningsbæreren	(0.06 m ⁴)
E	= Stålets elastisitetsmodul	(210 GPa)
L	= Spennvidde	(250 m for Haglesundbrua)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	13

4 RESULTATER

4.1 Generelt

I beregningene er følgende kapasitetskontroller gjennomført:

- Aksialkraft i hovedkabel
- Aksialkraft i hengere
- Momentkapasitet av brubjelken
- Knekking av undergurt (Iht. NS-EN 1993-1-1 pkt. 6.3.1.1(3))
- Rotasjon ved opplegg


Det er utført beregninger for påhengt gang- og sykkelbane med følgende føringsbredder på kjørebane:

- 7.00 m: Samme føringsbredde som eksisterende Haglesundbrua. 2 beregningsmessige kjørefelt med vogntog.
- 8.63 m: Søndre sprøse- og avviserrekverk fjernes og det monteres nytt kjøresterkt rekkverk på søndre kantbjelke. 3 beregningsmessige kjørefelt, to med vogntog og ett med lett trafikk.
- 7.95 m: Avviserrekverk mellom fortau og kjørebane fjernes og det monteres et nytt tilsvarende avviserrekverk som begrenser føringsbredden til under 8.0 m. 2 beregningsmessige kjørefelt med vogntog.

For hver av de 3 føringsbreddene for kjørebane, er mulig føringsbredde for den påhengte gang- og sykkelbanen vurdert for nyttelaster både iht. NS-EN 1991-2 og SVV sin håndbok R412. Det vil si nyttelast på den påhengte gang- og sykkelbanen lik henholdsvis 2.5 kN/m^2 og 1.0 kN/m^2 .

I de påfølgende tabellene er følgende forkortelser benyttet:

- F_{Ed} = Dimensjonerende belastning i bruddgrensetilstand
- F_{Rd} = Dimensjonerende kapasitet i bruddgrensetilstand
- UR = Utnyttelsesgrad (forholdet mellom belastning og kapasitet)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	14

4.2 Eksisterende bru

Kapasitet og utnyttelse av hovedkomponentene til den eksisterende brua er angitt i Tabell 12. Som tabellen viser, er det hovedkabelene som er høyest utnyttet. Den maksimale hengerkraften er sammenlignet med kapasiteten til de generelle hengerne, og som tabellen viser, er det godt med restkapasitet i hengerne. Det er da ikke tatt hensyn til "oppskrings-kraften" i hengerne nærmest t rn, som omtalt i avsnitt 3.3. Den dimensjonerende kraften i hengerne er multiplisert med en faktor på 1.5 for   ta hensyn til evt. brudd eller utskifting av en henger.


For brubjelken er det momenter som gir strekk i underkant av brubjelken som har minst restkapasitet.

Tabell 12: Resultater eksisterende bru

Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	23.7 MN	27.8 MN	85 %
Hengestenger	Aksialkraft	1229 kN	1647 kN ⁽¹⁾	75 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	19.8 MNm	24.6 MNm	80 %
	Moment – Strekk i overkant	-14.8 MNm	-23.4 MNm	63 %
	Knekking av undergurt	2964 kN	4056 kN	73 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.14°	1.91°	60 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	15

4.3 Med påhengte gang- og sykkelbaner – Opprinnelig føringsbredde i kjørebane

4.3.1 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok R412

Tabell 13 til Tabell 15 viser dimensjonerende belastning og utnyttelse av bruas hovedkomponenter for ulike føringsbredder for påhengt gang- og sykkelbane med nyttelast på 1.0 kN/m^2 , iht. SVV håndbok R412.

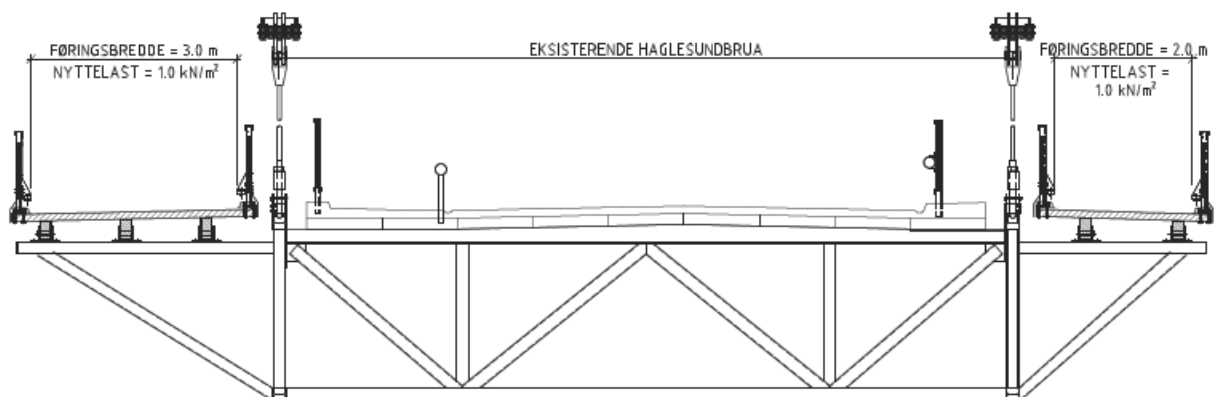
Tabellene viser at løsningen med $3.0 \text{ m} + 2.0 \text{ m}$ tosidig påhengt gang- og sykkelbane, vist i Tabell 13, er den eneste løsningen som ikke overskrider kapasiteten til noen av hengespennets hovedkomponenter og som samtidig gir en total føringsbredde for de påhengte gang- og sykkelbanene på 5.0 m .

Tabell 13: Resultater med $3 \text{ m} + 2 \text{ m}$ tosidig påhengt gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m^2 nyttelast)


Komponent	Kontroll	F_{Ed}	F_{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	27.3 MN	27.8 MN	98 %
Hengestenger	Aksialkraft	1521 kN	1647 kN ⁽¹⁾	92 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	22.6 MNm	24.6 MNm	92 %
	Moment – Strekk i overkant	-17.3 MNm	-23.4 MNm	74 %
	Knekking av undergurt	3451 kN	4056 kN	85 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.24°	1.91°	65 %

(2) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(3) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 6: Haglesundbrua med $3 \text{ m} + 2 \text{ m}$ tosidig påhengt gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m^2 nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	16

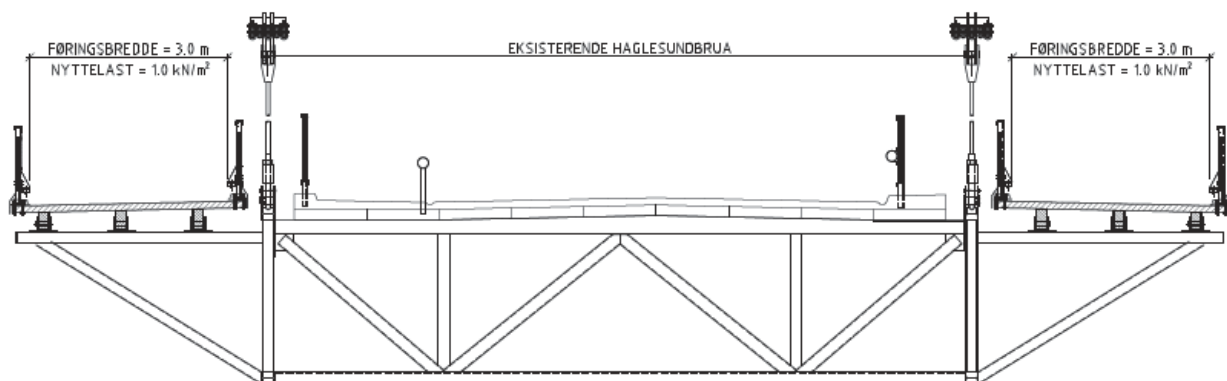
Tabell 14 viser dimensjonerende laster og utnyttelse for tosidig påhengt gang- og sykkelbane med 3.0 m + 3.0 m føringsbredder. Som tabellen viser, så får en da ca. 1 % overskridelse av hovedkablens kapasitet. Det er mulig at mer nøyaktige beregninger vil gi en lavere utnyttelsesgrad for denne løsningen.

Tabell 14: Resultater med 3 m + 3 m tosidig påhengt gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m² nyttelast)


Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.1 MN	27.8 MN	101 %
Hengestenger	Aksialkraft	1605 kN	1647 kN ⁽¹⁾	97 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	23.2 MNm	24.6 MNm	94 %
	Moment – Strekk i overkant	-17.7 MNm	-23.4 MNm	76 %
	Knekking av undergurt	3549 kN	4056 kN	87 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.26°	1.91°	66 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 7: Haglesundbrua med 3 m + 3 m tosidig påhengt gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m² nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	17

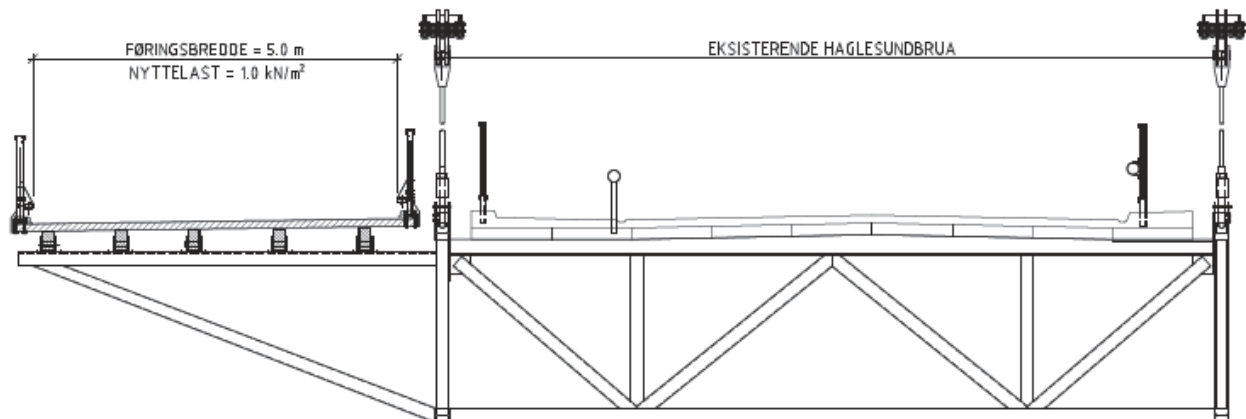
I Tabell 15 er resultatene fra beregningene med 5.0 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane vist. Beregningene gir om lag 4 % overskridelse av hovedkablernes kapasitet. Løsningen med 5.0 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane medfører en signifikant skjevlast, med tilhørende ugunstig sporfaktor. Dette er årsaken til at en får en så mye større utnyttelse enn f.eks. løsningen med tosidig påhengt gang- og sykkelbane. Mer nøyaktige beregninger vil trolig fordele kreftene jevnere til de to kabelplanene.

Tabell 15: Resultater med 5 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m² nyttelest)


Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.8 MN	27.8 MN	104 %
Hengestenger	Aksialkraft	1647 kN	1647 kN ⁽¹⁾	100 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	22.6 MNm	24.6 MNm	92 %
	Moment – Strekk i overkant	-17.3 MNm	-23.4 MNm	74 %
	Knekking av undergurt	3451 kN	4056 kN	85 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.28°	1.91°	67 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 8: Haglesundbrua med 5 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m² nyttelest)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	18

4.3.2 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok NS-EN 1991-2

Tabell 16 til Tabell 18 viser dimensjonerende belastning og utnyttelse av bruas hovedkomponenter for ulike føringsbredder for påhengt gang- og sykkelbane som er belastet med nyttelast på 2.5 kN/m^2 , iht. NS-EN 1991-2. Som resultatene i tabellene viser, blir mulig føringsbredde for påhengte gang- og sykkelbaner betydelig redusert.

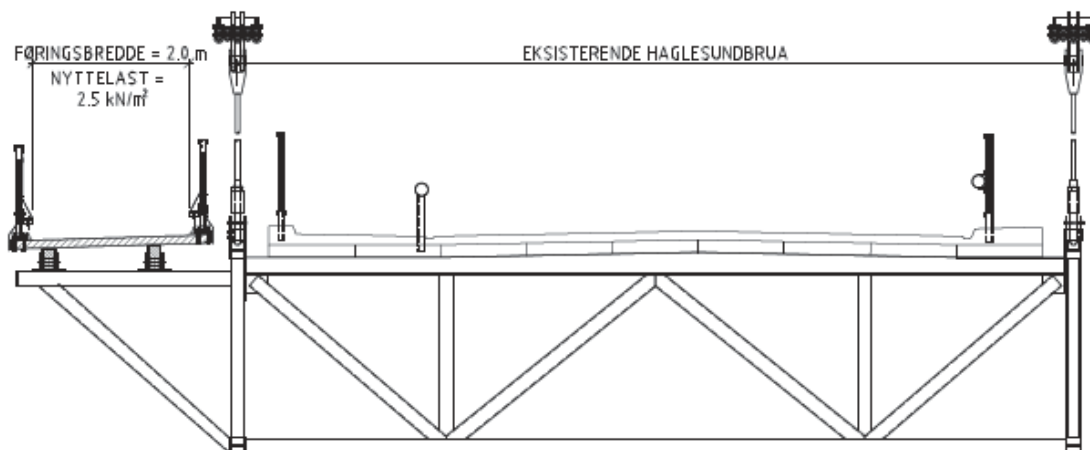
Tabell 16 viser resultatene med ensidig påhengt gang- og sykkelbane med 2.0 m føringsbredde. Som tabellen viser så får en noe overskridelse av hovedkablens kapasitet, men det forventes at en med mer nøyaktige beregninger vil kunne oppnå akseptable resultater.

Tabell 16: Resultater med 2.0 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (2.5 kN/m^2 nyttelast)


Komponent	Kontroll	F_{Ed}	F_{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.0 MN	27.8 MN	101 %
Hengestenger	Aksialkraft	1563 kN	1647 kN ⁽¹⁾	95 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	22.6 MNm	24.6 MNm	92 %
	Moment – Strekk i overkant	-17.3 MNm	-23.4 MNm	74 %
	Knekking av undergurt	3451 kN	4056 kN	85 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.28°	1.91°	67 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 9: Haglesundbrua med 2.0 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (2.5 kN/m^2 nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	19

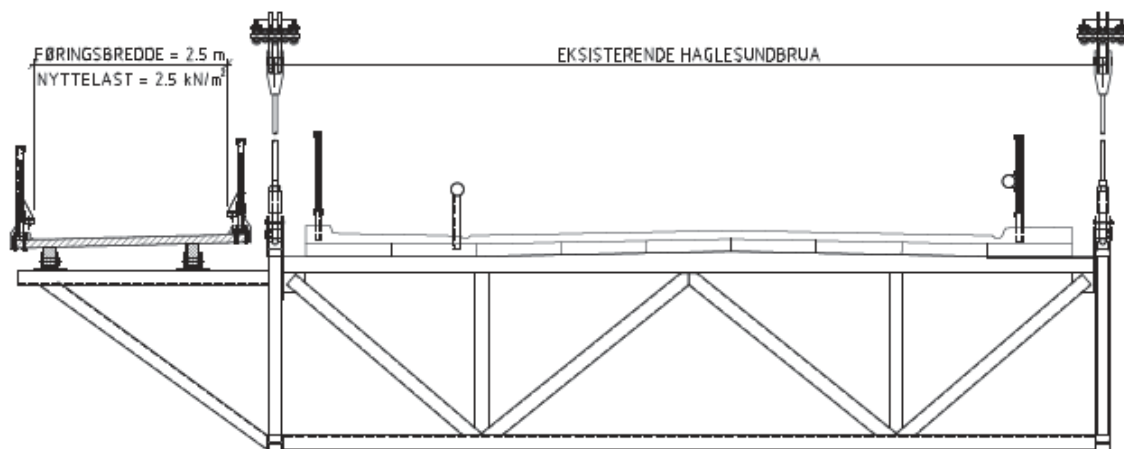
Tabell 17 og Tabell 18 viser resultatene med føringsbredder på henholdsvis 2.5 m ensidig og 2.0 m + 2.0 m tosidig påhengt gang- og sykkelbane. Tabellene viser at en får overskridelse av hovedkablens kapasitet ved begge løsningene, og at løsningen med 2.0 m + 2.0 m tosidig gang- og sykkelbane også gir overskridelse av brubjelkens kapasitet.

Tabell 17: Resultater med 2.5 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (2.5 kN/m² nyttelast)


Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.9 MN	27.8 MN	104 %
Hengestenger	Aksialkraft	1619 kN	1647 kN ⁽¹⁾	98 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	23.3 MNm	24.6 MNm	95 %
	Moment – Strekk i overkant	-17.9 MNm	-23.4 MNm	76 %
	Knekking av undergurt	3573 kN	4056 kN	88 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.32°	1.91°	69 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



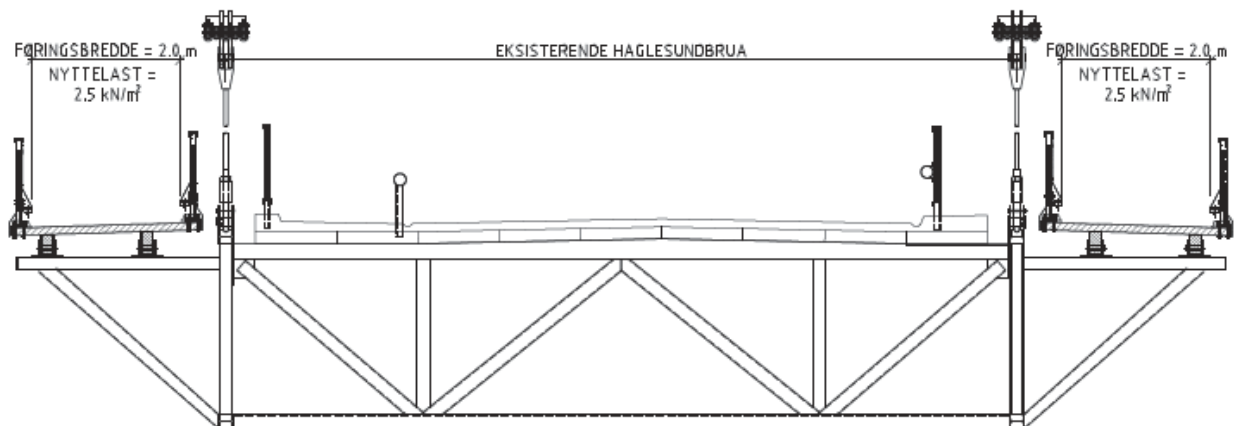
Figur 10: Haglesundbrua med 2.5 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (2.5 kN/m² nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	20


Tabell 18: Resultater med 2.0 m + 2.0 m tosidig påhengt gang- og sykkelbaner (2.5 kN/m² nyttelast)

Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.3 MN	27.8 MN	102 %
Hengestenger	Aksialkraft	1585 kN	1647 kN ⁽¹⁾	96 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	25.5 MNm	24.6 MNm	103 %
	Moment – Strekk i overkant	-19.7 MNm	-23.4 MNm	84 %
	Knekking av undergurt	3939 kN	4056 kN	97 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.40°	1.91°	73 %

- (1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.
 (2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 11: Haglesundbrua med 2.0 m + 2.0 m tosidig påhengt gang- og sykkelbaner (2.5 kN/m² nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	21

4.4 Med påhengt gang- og sykkelbane – 8.63 m føringsbredde i kjørebanelen

4.4.1 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok R412

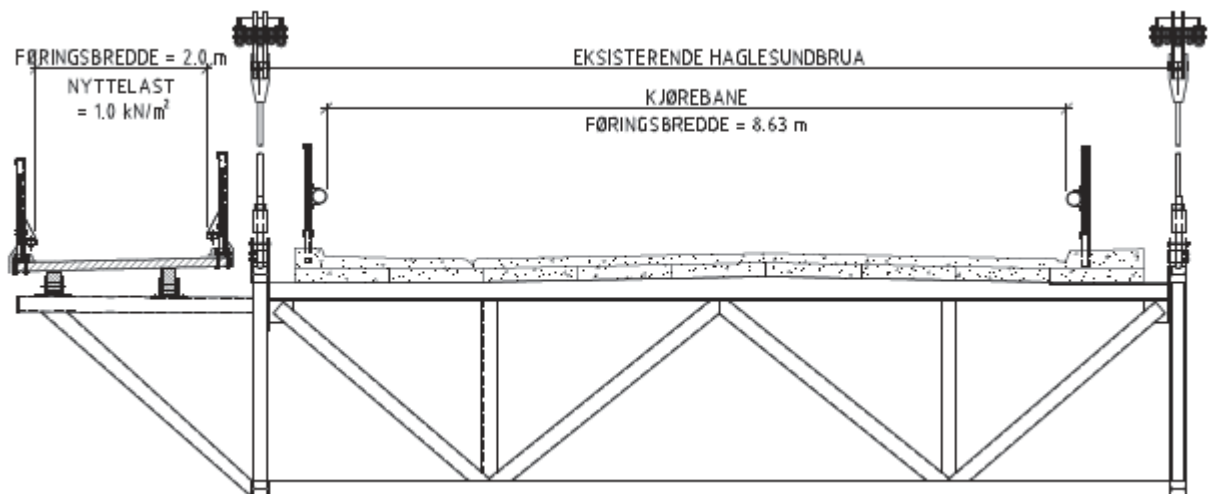
Tabell 19 og Tabell 20 viser resultater der den påhengte gang- og sykkelbanen er belastet med nyttelaster iht. SVV sin Håndbok R412 (1.00 kN/m^2), og 8.63 m føringsbredde for kjørebanelen. Tabell 19 viser resultatene med 2.0 m føringsbredde for ensidig påhengt gang- og sykkelbane. Som tabellen viser, så har alle kontrollerte komponenter tilstrekkelig kapasitet for en slik løsning.

Tabell 19: Resultater med 2.0 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m^2 nyttelast og 8.63 m bred kjørebane)


Komponent	Kontroll	F_{Ed}	F_{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	27.7 MN	27.8 MN	100 %
Hengestenger	Aksialkraft	1553 kN	1647 kN ⁽¹⁾	94 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	23.2 MNm	24.6 MNm	94 %
	Moment – Strekk i overkant	-17.7 MNm	-23.4 MNm	76 %
	Knekking av undergurt	3549 kN	4056 kN	87 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.28°	1.91°	67 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 12: Haglesundbrua med 2.0 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane og 8.63 m føringsbredde på kjørebanelen (1.0 kN/m^2 nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	22

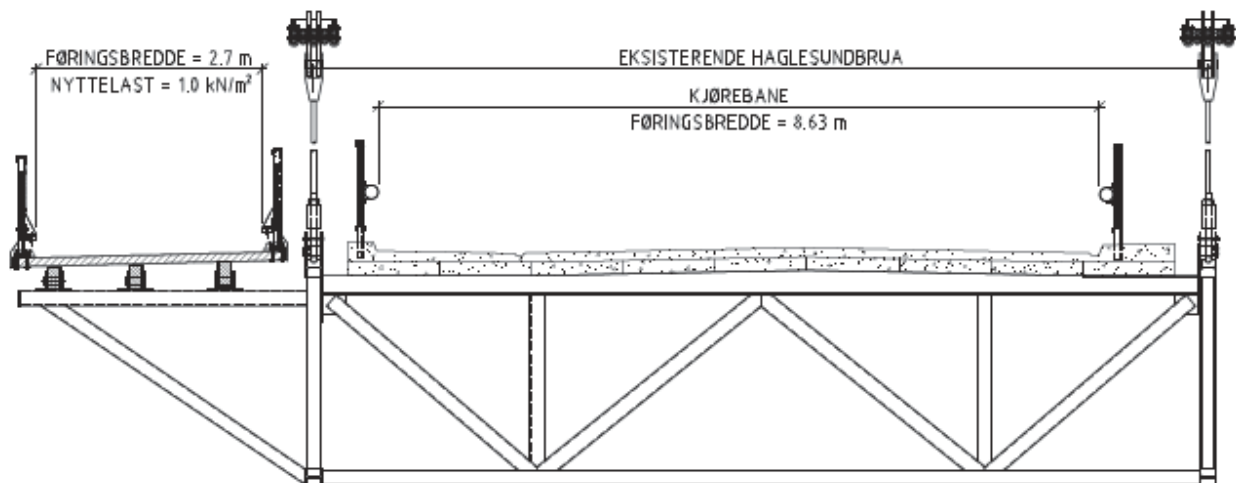
Tabell 20 viser resultatene med 2.7 m føringsbredde for ensidig påhengt gang- og sykkelbane. Som tabellen viser, så får vi noe overskridelse av hovedkabelens kapasitet med denne løsningen. Det forventes at mer detaljerte beregninger, der brubjelkens torsjonsstivhet blir inkludert i beregningene, vil gi en jevnere fordeling av kreftene mellom kabelplanene og at en dermed oppnår akseptable resultater.

Tabell 20: Resultater med 2.7 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m² nyttelast og 8.63 m bred kjørebane)


Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.3 MN	27.8 MN	102 %
Hengestenger	Aksialkraft	1599 kN	1647 kN ⁽¹⁾	97 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	23.6 MNm	24.6 MNm	96 %
	Moment – Strekk i overkant	-18.1 MNm	-23.4 MNm	77 %
	Knekking av undergurt	3617 kN	4056 kN	89 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.30°	1.91°	68 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 13: Haglesundbrua med 2.7 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane og 8.63 m føringsbredde på kjørebane (1.0 kN/m² nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	23

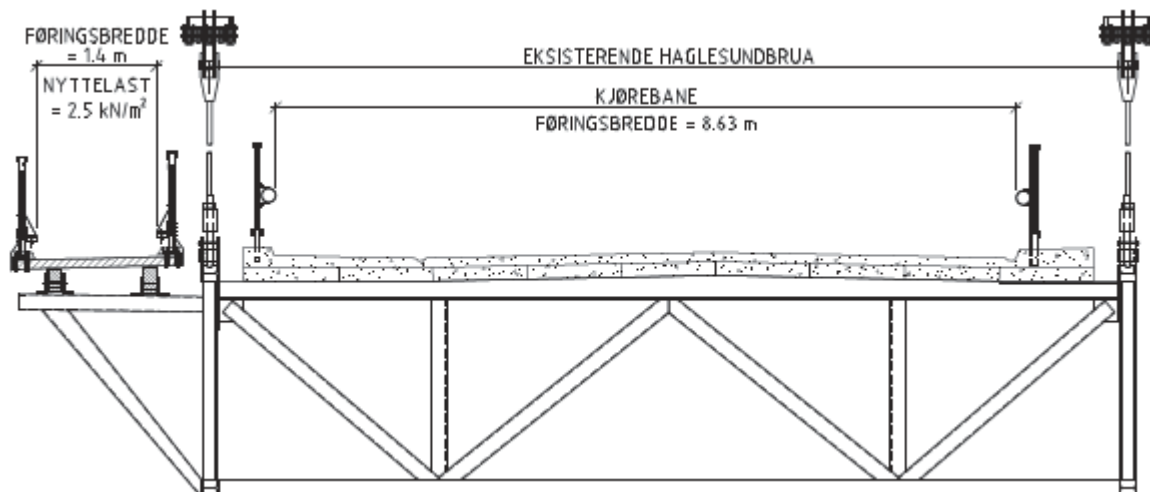
4.4.2 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok NS-EN 1991-2

Tabell 21 viser resultater der den påhengte gang- og sykkelbanen er belastet med nyttelaster iht. NS-EN 1991-2 (2.50 kN/m^2), og 8.63 m føringsbredde for kjørebane. Tabellen viser resultatene med 1.4 m føringsbredde for ensidig påhengt gang- og sykkelbane. Som tabellen viser, så får vi noe overskridelse av hovedkabelens kapasitet med denne løsningen. Det forventes at mer detaljerte beregninger, der brubjelkens torsjonsstivhet blir inkludert i beregningene, vil gi en jevnere fordeling av kreftene mellom kabelplanene og at en dermed oppnår akseptable resultater.


Tabell 21: Resultater med 1.4 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (2.5 kN/m^2 nyttelast og 8.63 m bred kjørebane)

Komponent	Kontroll	F_{Ed}	F_{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.3 MN	27.8 MN	102 %
Hengestenger	Aksialkraft	1595 kN	1647 kN ⁽¹⁾	97 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	24.0 MNm	24.6 MNm	98 %
	Moment – Strekk i overkant	-18.5 MNm	-23.4 MNm	79 %
	Knekkning av undergurt	3695 kN	4056 kN	91 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.33°	1.91°	70 %

- (1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.
- (2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 14: Haglesundbrua med 1.4 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane og 8.63 m føringsbredde på kjørebane (2.5 kN/m^2 nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	24

4.5 Med påhengt gang og sykkelbane – 7.95 m føringsbredde i kjørebane

4.5.1 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok R412

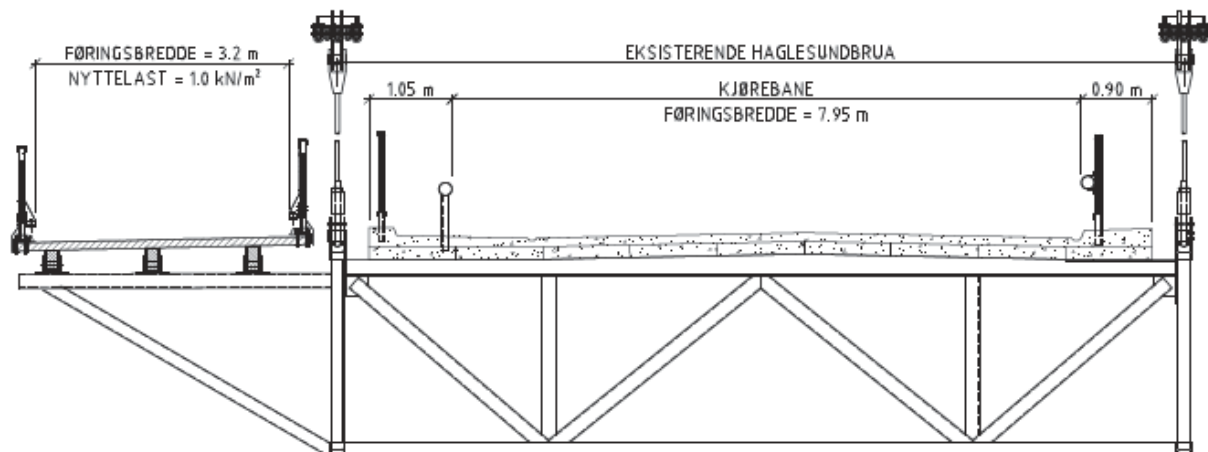
Tabell 22 og Tabell 23 viser resultater der den påhengte gang- og sykkelbanen er belastet med nyttelaster iht. SVV håndbok R412 (1.00 kN/m^2), og 7.95 m føringsbredde for kjørebane. Tabell 22 viser resultatene med 3.2 m føringsbredde for ensidig påhengt gang- og sykkelbane. Som tabellen viser, så har alle kontrollerte komponenter tilstrekkelig kapasitet for en slik løsning.

Tabell 22: Resultater med 3.2 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m^2 nyttelast og 7.95 m bred kjørebane)


Komponent	Kontroll	F_{Ed}	F_{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	27.7 MN	27.8 MN	100 %
Hengestenger	Aksialkraft	1452 kN	1647 kN ⁽¹⁾	88 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	20.5 MNm	24.6 MNm	83 %
	Moment – Strekk i overkant	-15.4 MNm	-23.4 MNm	66 %
	Knekking av undergurt	3089 kN	4056 kN	76 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.12°	1.91°	59 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 15: Haglesundbrua med 3.2 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane og 7.95 m føringsbredde på kjørebane (1.0 kN/m^2 nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	25

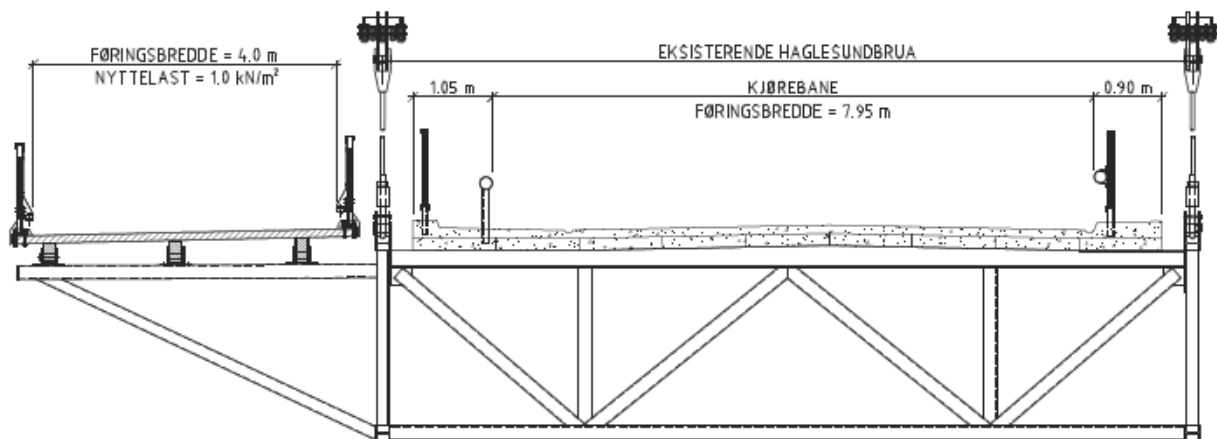
Tabell 23 viser resultatene med 4.0 m føringsbredde for ensidig påhengt gang- og sykkelbane. Som tabellen viser, så får vi noe overskridelse av hovedkabelens kapasitet med denne løsningen. Det forventes at mer detaljerte beregninger, der brubjelkens torsjonsstivhet blir inkludert i beregningene, vil gi en jevnere fordeling av kreftene mellom kabelplanene og at en dermed oppnår akseptable resultater.

Tabell 23: Resultater med 4.0 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m² nyttelast og 7.95 m bred kjørebane)


Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.5 MN	27.8 MN	102 %
Hengestenger	Aksialkraft	1462 kN	1647 kN ⁽¹⁾	89 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	20.9 MNm	24.6 MNm	85 %
	Moment – Strekk i overkant	-15.8 MNm	-23.4 MNm	68 %
	Knekking av undergurt	3159 kN	4056 kN	78 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.14°	1.91°	60 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 16: Haglesundbrua med 4.0 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane og 7.95 m føringsbredde på kjørebane (1.0 kN/m² nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	26

4.5.2 Nyttelaster på påhengt gang- og sykkelbane iht. håndbok NS-EN 1991-2

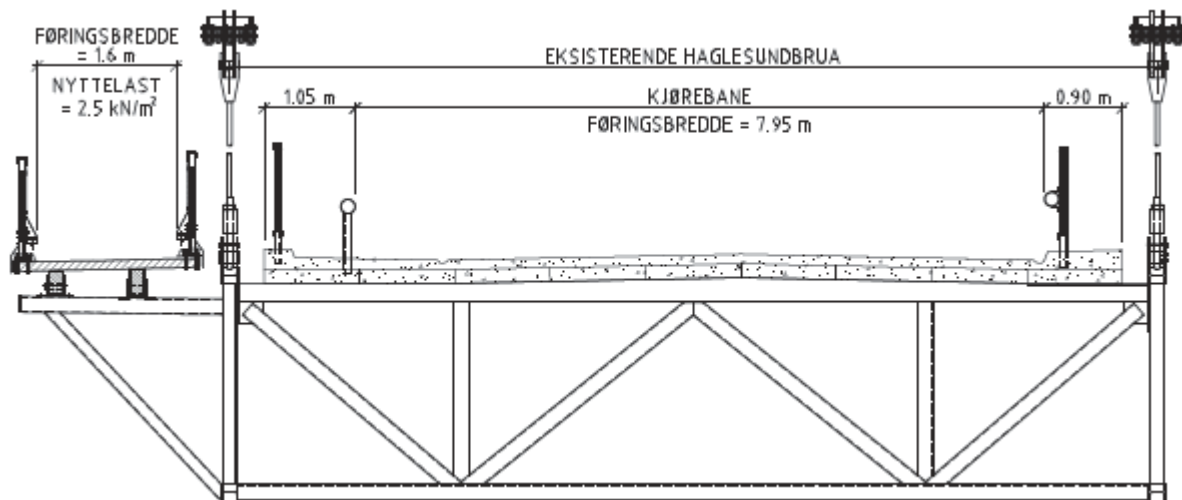
Tabell 24 og Tabell 25 viser resultater der den påhengte gang- og sykkelbanen er belastet med nyttelaster iht. NS-EN 1991-2 (2.50 kN/m^2), og 7.95 m føringsbredde for kjørebane. Tabell 24 viser resultatene med 1.6 m føringsbredde for ensidig påhengt gang- og sykkelbane. Som tabellen viser, så har alle kontrollerte komponenter tilstrekkelig kapasitet for en slik løsning.

Tabell 24: Resultater med 1.6 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (2.5 kN/m^2 nyttelast og 7.95 m bred kjørebane)


Komponent	Kontroll	F_{Ed}	F_{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	27.7 MN	27.8 MN	100 %
Hengestenger	Aksialkraft	1495 kN	1647 kN ⁽¹⁾	91 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	20.9 MNm	24.6 MNm	85 %
	Moment – Strekk i overkant	-15.8 MNm	-23.4 MNm	68 %
	Knekking av undergurt	3159 kN	4056 kN	78 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.15°	1.91°	60 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 17: Haglesundbrua med 1.6 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane og 7.95 m føringsbredde på kjørebane (2.5 kN/m^2 nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	27

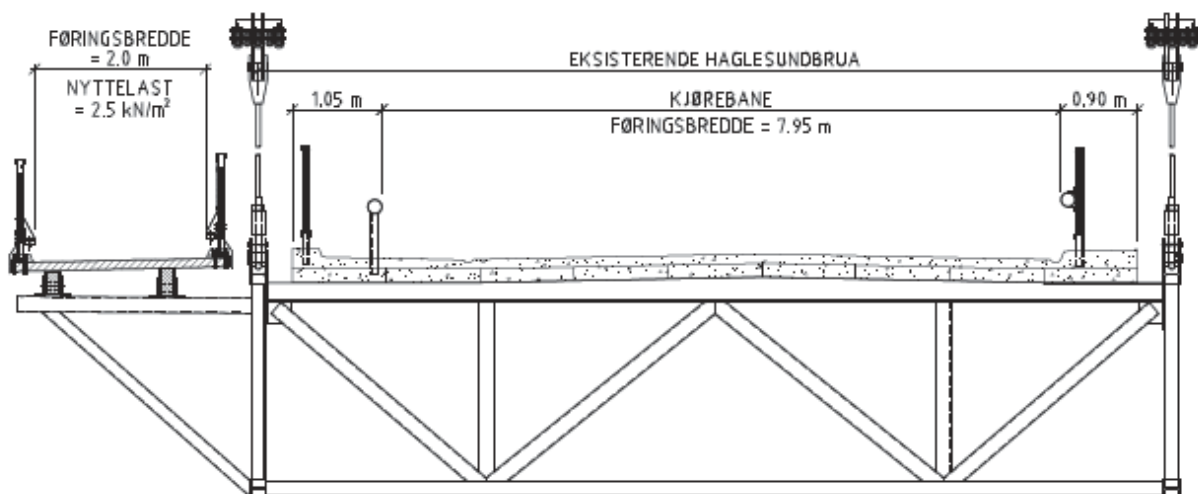
Tabell 25 viser resultatene med 2.0 m føringsbredde for ensidig påhengt gang- og sykkelbane. Som tabellen viser, så får vi noe overskridelse av hovedkabelens kapasitet med denne løsningen. Det forventes at mer detaljerte beregninger, der brubjelkens torsjonsstivhet blir inkludert i beregningene, vil gi en jevnere fordeling av kreftene mellom kabelplanene og at en dermed oppnår akseptable resultater.

Tabell 25: Resultater med 2.0 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (2.5 kN/m² nyttelast og 7.95 m bred kjørebane)


Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.4 MN	27.8 MN	102 %
Hengestenger	Aksialkraft	1503 kN	1647 kN ⁽¹⁾	91 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	21.5 MNm	24.6 MNm	87 %
	Moment – Strekk i overkant	-16.3 MNm	-23.4 MNm	70 %
	Kneking av undergurt	3256 kN	4056 kN	80 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.18°	1.91°	62 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$



Figur 18: Haglesundbrua med 2.0 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane og 7.95 m føringsbredde på kjørebane (2.5 kN/m² nyttelast)

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	28

4.6 Resultater etter avklaring med Vegdirektoratet – Dim. brukstid 16 – 50 år

Etter avklaring med Vegdirektoratet er det foretatt beregninger for å vurdere føringsbredden på den påhengte gang- og sykkelbanen med dimensjonerende brukstid for konstruksjonen mellom 16 og 50 år. Dimensjonerende belegningsvekt for kjørebane er da 2.0 kN/m² og dimensjonerende trafikklast er iht. Håndbok R412. Dvs. at trafikklasten er iht. det som er beskrevet i avsnitt 2.2.1, og nyttelasten på den påhengte gang og sykkelbanen samtidig med trafikk er 1.0 kN/m². Både 7.95 m og 8.63 m føringsbredde i kjørebane er vurdert.

4.6.1 7.95 m føringsbredde på kjørebane


Tabell 26 viser resultatene for 3.0 m føringsbredde for den påhengte gang- og sykkelbanen, 7.95 m føringsbredde i kjørebane og dimensjonerende belastning iht. dimensjonerende brukstid mellom 16 og 50 år (dvs. nyttelaster iht. Håndbok R412 og 2.0 kN/m² belegningsvekt i kjørebane). Som tabellen viser, så får vi noe overskridelse av hovedkabelens kapasitet med denne løsningen. Det forventes at mer detaljerte beregninger, der brubjelkens torsjonsstivhet blir inkludert i beregningene, vil gi en jevnere fordeling av kreftene mellom kabelplanene og at en dermed oppnår akseptable resultater.

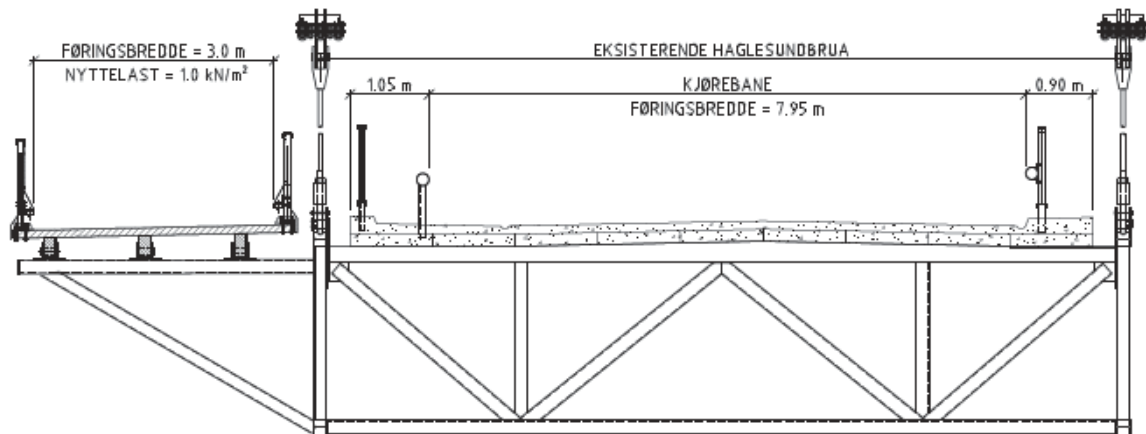
Tabell 26: Resultater med 3.0 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m² nyttelast, 7.95 m bred kjørebane og 2.0 kN/m² belegningsvekt i kjørebane)

Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.4 MN	27.8 MN	102 %
Hengestenger	Aksialkraft	1481 kN	1647 kN ⁽¹⁾	90 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	20.3 MNm	24.6 MNm	83 %
	Moment – Strekk i overkant	-15.3 MNm	-23.4 MNm	66 %
	Knekking av undergurt	3061 kN	4056 kN	75 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.07°	1.91°	56 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	29



Figur 19: Haglesundbrua med 3.0 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane (1.0 kN/m² nyttelast) og 7.95 m føringsbredde på kjørebane med 2.0 kN/m² belegningsvekt

4.6.2 8.63 m føringsbredde på kjørebane

Tabell 27 viser resultatene for 1.9 m føringsbredde for den påhengte gang- og sykkelbanen, 8.63 m føringsbredde i kjørebane og dimensjonerende belastning iht. dimensjonerende brukstid mellom 16 og 50 år (dvs. nyttelaster iht. Håndbok R412 og 2.0 kN/m² belegningsvekt i kjørebane). Som tabellen viser, så får vi noe overskridelse av hovedkabelens kapasitet med denne løsningen. Det forventes at mer detaljerte beregninger, der brubjelkens torsjonsstivhet blir inkludert i beregningene, vil gi en jevnere fordeling av kreftene mellom kabelplanene og at en dermed oppnår akseptable resultater.

Tabell 27: Resultater med 1.9 m påhengt ensidig gang- og sykkelbaner (1.0 kN/m² nyttelast, 8.63 m bred kjørebane og 2.0 kN/m² belegningsvekt i kjørebane)

Komponent	Kontroll	F _{Ed}	F _{Rd}	UR
Hovedkabel	Aksialkraft	28.5 MN	27.8 MN	102 %
Hengestenger	Aksialkraft	1525 kN	1647 kN ⁽¹⁾	93 %
Brubjelke	Moment – Strekk i underkant	23.1 MNm	24.6 MNm	94 %
	Moment – Strekk i overkant	-17.7 MNm	-23.4 MNm	76 %
	Kneking av undergurt	3439 kN	4056 kN	87 %
	Rotasjon ved opplegg ⁽²⁾	1.23°	1.91°	64 %

(1) Kapasiteten til de generelle hengestengene er konservativt benyttet.

(2) Iht. N400 pkt. 13.2.1 skal rotasjonsvinkelen ved opplegg (α) begrenses til $\tan \alpha < 1/30$

Prosjekt/Project

Haglesundbrua – Påhengt gang-/sykkelbane

Dato/Date

15.04.19

Rev.dato/Date

13.06.19

Tittel / Title

Mulighetsstudie

Utført/Prep.By

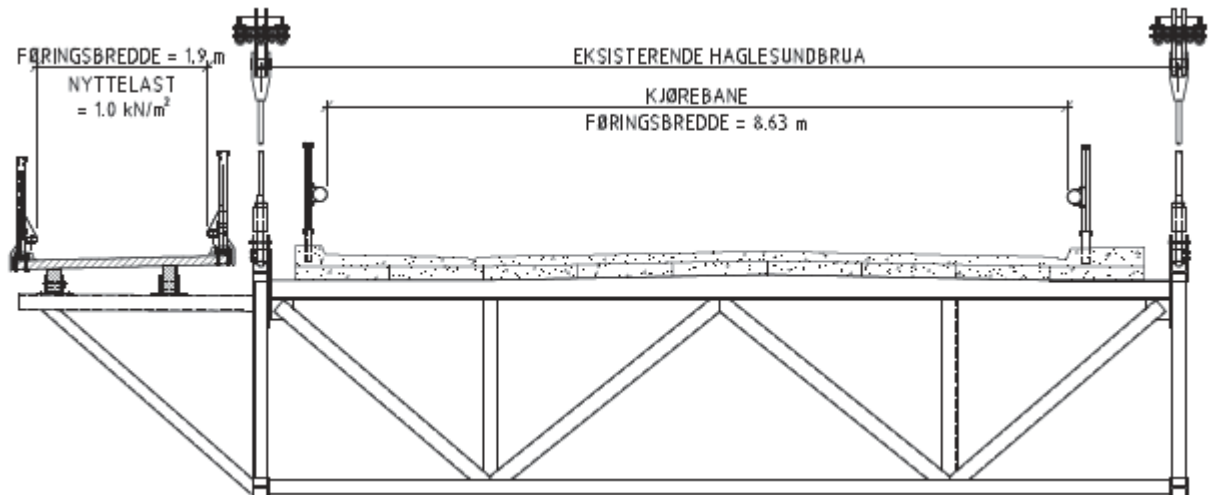
HHR

Rev. av/Rev by


HHR

Side/Page

30



Figur 20: Haglesundbrua med 1.9 m ensidig påhengt gang- og sykkelbane (1.0 kN/m² nyttelast) og 8.63 m føringsbredde på kjørebane med 2.0 kN/m² belegningsvekt


 AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00		Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
			12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project			Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane			15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title			Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie			HHR	HHR	31

5 NØDVENDIG OPPGRADERING AV EKSISTERENDE BRU

I «BRUTUS» finner vi at det er utført hovedinspeksjon av brua i 2014. Kort oppsummert er det ikke rapportert noen alvorlige feil eller mangler som skal påvirke mulighetene for å henge på GS-bane på brua.

Av Vegdirektoratet har vi også blitt gjort oppmerksom på de sveiste knutepunktene i undergurten har passert sin beregnede utmattingslevetid, se kap 2.4.4.

Denne detaljen er ikke kritisk for bruas bæreevne. En begynnende sprekk vil kunne oppdages og utbedres. Etter vår mening vil derfor et inspeksjonsopplegg være mer nyttig enn et omfattende måle- og forsøksprogram og evt. forsterkning.

 Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	32

6 KOSTNADSESTIMAT

Innenfor denne delen av prosjektet er kostnadene grovt estimert med bakgrunn i erfaringstall. Da det av kapasitetshensyn anses som nødvendig at påhengt gang-sykkelbane i hengebrudelen utføres som en lett komposittkonstruksjon (Fiberarmert polymer, enten karbon eller glass eller kombinasjon) er det ikke vurdert kostnader for et stålalternativ i hovedspennet.

For en tosidig påhengt gangsykkelbane med bredder 2.0 + 3.0m (som vist på Figur 6), og med eksisterende føringsbredde i kjørebane, estimerer vi entrepris-kostnadene til:

Tabell 28 Tosidig påhengt gangsykkelbane med bredder 2.0 + 3.0m med eksisterende føringsbredde.


Beskrivelse	Mengde	Enhetspris	Pris
Påhengt GS-bane, hovedspenn	1250 m ²	33 000 kr/m ²	kr 41 mill
Sidespenn	1865 m ²	22 000 kr/m ²	kr 41 mill
Sum			kr 82 mill

For alternativet med utvidelse til 7,95m føringsbredde, vil det i tillegg påløpe kostnader til fjerning av rekkverket mellom kjørebane og gangbane, levering og montering av nytt, tilsvarende rekkverk, kjerneboring av nye hull og montering av slukstusser for vanngjennomløp, samt asfaltering for å opparbeide nye tverrfall.

Tabell 29 Ensidig påhengt gangsykkelbane med bredde 3.0m og føringsbredde 7.95m i kjørebane.

Beskrivelse	Mengde	Enhetspris	Pris
Påhengt GS-bane, hovedspenn	750 m ²	33 000 kr/m ²	kr 25 mill
Sidespenn	1120 m ²	22 000 kr/m ²	kr 25 mill
Sum			kr 50 mill
Arbeider på eksisterende bru (rekkveksarbeider, vanngjennomløp, asfaltering etc.)		RS	kr 15 mill
Sum			kr. 65 mill

For alternativet med 8,6 m føringsbredde må også rekkverk mellom gangbane og kjørebane fjernes. i tillegg må srosserekkverket på bruas sørside erstattes med et kjøresterkt rekkverk tilsvarende det som er på nordsiden. Det vil i følge Vegdirektoratet bli krevd rekkverk med styrkeklasse H2. Øvrige arbeider mht. tverrfall og sluk blir som for alternativet med 7,95 m, slik at kostnadene anses å være litt høyere for dette alternativet enn for alternativet med 7.95 m føringsbredde.

 AAS-JAKOBSEN Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no	Dok.nr./Doc.no	Rev.
	12095_2	12095_2-01	B
Prosjekt/Project	Dato/Date	Rev.dato/Date	
Haglesundbrua – Påhengt gang/-sykkelbane	15.04.19	13.06.19	
Tittel / Title	Utført/Prep.By	Rev. av/Rev by	Side/Page
Mulighetsstudie	HHR	HHR	33

7 REFERANSER

- /1/ Statens vegvesen – Vegdirektoratet (2015), *Håndbok N400: Bruprosjektering.*
- /2/ Statens vegvesen – Vegdirektoratet (2014), *Håndbok R412: Bruklassifisering.*
- /3/ Statens vegvesen – Vegdirektoratet (2018), *NA-rundskriv 2017/10: Endringer og tilføyelser til håndbok R412 Bruklassifisering.*
- /4/ Standard Norge (2010), *NS-EN 1991-2 – Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 2: Trafikklast på bruer.*
- /5/ Selberg, A. (1947) *Beregning av små hengebruer.*
- /6/ Selberg, A. (1945) *Design of suspension bridges.* Det kgl. Videnskaber Selskabs skrifter.