OFOTBANEN
PRØVEKJØRING 32,5 TONN AKSELLAST

Instrumentering av bruer

Sluttrapport desember 2020

00A	Første utgave	03.12.2020	RUL	MFS	OLA
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av

Ofotbanen, Narvik Havn – Vassijaure, Prøvekjøring 32,5 tonn aksellast, Instrumentering av bruer, Sluttrapport desember 2020	Ant. sider: **72**	RAMBØLL
	Produsent	Rambøll Norge AS
	Prod. dok. nr.	
	Erstatning for	
	Erstattet av	
Prosjektnr.: 224688 Parsell: 00	Dokument nr.: **IUP-00-A-20547**	Rev.: **00A**
BANE NOR	FDV-dokument nr.: **N/A**	FDV-rev.: **N/A**

RAMBØLL

INSTRUMENTERING AV BRUER
OFOTBANEN 2016-2020



INSTRUMENTERING AV BRUER OFOTBANEN 2016-2020

Revisjon	1
Dato	2020-12-03
Utført av	Lars Skaret, HBM Norge AS Odd Erik Sannerud, SBV Consult, Rambøll Norge AS Dag Arne Granberg, Ingeniør Granberg AS Sverre Martin Lund og Rune Langestrand, Rambøll Norge AS
Kontrollert av	Martin Fines
Godkjent av	Olav Lahus
Beskrivelse	Instrumentering av bruer på Ofotbanen 2016-2020
Ref.	G:\Drm\2120761\7-PROD\B-Bru\Tilleggsarbeider\021-Inspeksjon av bruer på Ofotbanen\02-INTOPPF\25-Rapportering\2020 Sluttrapport\Sluttrapport Instrumentering Ofotbanen 3 des 2020.docx

Rambøll
Erik Børresens allé 7
3015 Drammen
https://no.ramboll.com

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.	Konklusjon	1
2.	Sammendrag	2
2.1	Våre arbeider	2
2.2	Måleresultater og belastninger	2
2.2.1	Eksempelgrafer for tøyninger	3
2.2.2	Eksempelgrafer for måling av vibrasjoner	5
2.3	Geometrisk kontroll	6
2.3.1	Geometrisk kontroll av Norddalsbruene	6
2.3.2	Geometrisk kontroll av øvrige konstruksjoner	6
2.4	Klassifisering av bruene mot målte nedbøyninger	6
2.4.1	Bru 1 over Norddalen ved km 35,579.	7
2.4.2	Bru 2 over Norddalen ved km 35,989.	7
2.5	Beskrivelse av bruene	8
2.5.1	Km 2,6 – Bolagstunnelen	8
2.5.2	Km 4,288 – Mølle elv	8
2.5.3	Km 4,682 – Grunstadbrua	9
2.5.4	Km 7,608 – Hvelvbru	9
2.5.5	Km 8,266 – Hvelvbru	10
2.5.6	Km 21,182 – Kulvert Rombakk	10
2.5.7	Km 33,821 – Hvelvbru	11
2.5.8	Km 35,715 – Bru 1 over Norddalen	11
2.5.9	Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen	12
2.5.10	Km 38,669 – Undergang Solheim	12
2.5.11	Km 40,420 – Undergang Bjørnfjell	13
3.	Tøyningsmålinger HBM NORGE AS	14
3.1	Innledning	14
3.2	Strekklapp	14
3.3	Plassering	14
3.4	Oversiktsdata	15
3.4.1	Maksimalt utslag hver måned	15
3.4.2	Gjennomsnitt av daglig maksimalt utslag hver måned	20
3.4.3	Nedetid på systemet	21
3.4.4	Testtog - februar til mai 2019	22
3.4.5	Sammenheng mellom aksellast og tøyninger-februar til mai 2020	24
3.5	Datavedlegg - grafer	28
3.5.1	Størst utslag	28
3.5.2	Tøyning og nedbøyning av bru	29
3.5.3	Testtog juni-september 2019	30
4.	Vibrasjonsmåling på brubjelker	42
4.1	Innledning	42
4.2	Registrering av svingehastighet	43
4.2.1	Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen	43
4.2.2	Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen	44
4.3	Toppverdier for svingehastigheter på bruene	45
4.3.1	Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen	45
4.3.2	Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen	48

4.4	Kurvediagram av høyeste registrerte verdier	51
4.4.1	Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen	51
4.4.2	Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen	54
4.5	Oppsummering vibrasjonsmåling	56
5.	Geometrisk kontroll, innmålinger og laserscanning	57
5.1	Beskrivelse av målinger	57
5.2	Km 4,288 - Mølle elv	57
5.3	Km 4,682 – Grunstadbrua	58
5.4	Km 7,608 - Hvelvbru	59
5.5	Km 8,266 - Hvelvbru	60
5.6	KM 21,182 - Undergang Rombak (ROM)	61
5.7	Km 33,821 - Hvelvbru	62
5.8	Km 35,579 - Bru 1 over Norddalen	63
5.9	Km 35,989 - Bru 2 over Norddalen	64
5.10	Km 38,669 - Undergang Solheim	66
5.11	Km 40,420 - Undergang Bjørnfjell	67

1. KONKLUSJON

Det er målt tøyninger og vibrasjoner på Norddalsbruene gjennom en prøveperiode fra desember 2016 til og med november 2020. Nedbøyninger på fullt belastede bruer er sammenlignet med beregnede nedbøyninger fra utført klassifisering i elementmodeller. For de øvrige brukonstruksjonene på strekningen er det utført geometrisk kontroll med målepunkter og laserskyer.

Måleperioden har vært en prøveperiode der kravet fra BaneNOR har vært at det skal kjøres minimum 100 tog med makslaster opp mot 32,5 tonn pr aksel. Når vi nå kontrollerer de tyngste togpasseringene, ser vi at det er et fåtall aksler som ligger opp mot 32,5 tonn. Togene med størst totallast har få aksler opp mot 32,5 tonn, og de fleste makslast-akslene ligger mellom 30 og 31 tonn. Det kan derfor være vanskelig å påstå at man med grunnlag i testkjøringene uproblematisk kan godkjenne kjøring med aksler på inntil 32,5 tonn, da det ikke har passert mange tog med disse lastene.

Det vil alltid være knyttet usikkerhet til måleprogrammer. Vi mener det viktigste med våre målinger er at det er påvist konsistent respons i bruene etter målte og definerte belastninger. Det er ikke funnet en negativ utvikling i prøveperioden som kan knyttes til økning i belastningen på banestrekningen. Vi kan i forhold til våre målinger se at togene som har passert ikke har ført til unormale bevegelser eller vibrasjoner i bruene. Når det gjelder tøyning og nedbøyning har bruene oppført seg som forventet, og systemene har også vist demping av svingebevegelser som man kan forvente i denne typen konstruksjoner.

2. SAMMENDRAG

2.1 Våre arbeider

Arbeidet har bestått i etablering av stillas og måleutstyr på Norddalsbruene, løpende måling av tøyninger og vibrasjoner for alle passerende tog, klassifisering av Norddalsbruene samt innmåling og laserscanning av øvrige brukonstruksjoner på strekningen.

På Norddalsbruene ble det utført opphugginger og frilegging av armering. Det ble deretter montert tøyningsmålere i form av strekklapper limt på armering i underkant bjelker, og det ble etablert vibrasjonsmålere for å kontrollere svingningsbevegelser.

Det er utført hovedinspeksjon på brukonstruksjonene, og disse er lagt inn som periodisk 72-mnd-kontroll i Banedata og levert som inspeksjonsrapporter i pdf-format.

Det er utført klassifisering av Norddalsbruene der teoretisk nedbøyning er sammenliknet med reell nedbøyning. Reell nedbøyning med malmtog med full last er målt av Ing. Granberg med totalstasjon og fastmonterte prismer på bruene.

I måleperioden har det vært behov for vedlikehold i form av oppgradering og utskifting av utstyr. HBM's sentraler ble demontert for vedlikehold i desember 2019. De ble montert igjen i januar 2020. SBV's vibrasjonsmålere har også vært inne til kontroll og oppgradering.

Vi har fått hjelp fra Bane NOR med å resette utstyret ved noen anledninger. Det er god dekning for mobiltelefoni, og så lenge strømmen er tilkoblet, leverer utstyret måledata. Før oppstart ble det etablert en trafo på Søsterbekk stasjon for tilførsel av 230 V og 50 Hz til måleutstyret.

Vi fjernet måleutstyret under bruene i begynnelsen av november 2020. Opphuggingene ble reparert og støpt igjen av VISINOR Rehab AS.

Hengestillasene er bestilt fjernet i løpet av 15. og 16. desember 2020 med hjelp fra Spordrift som stiller med kran og sikkerhetsvakt.

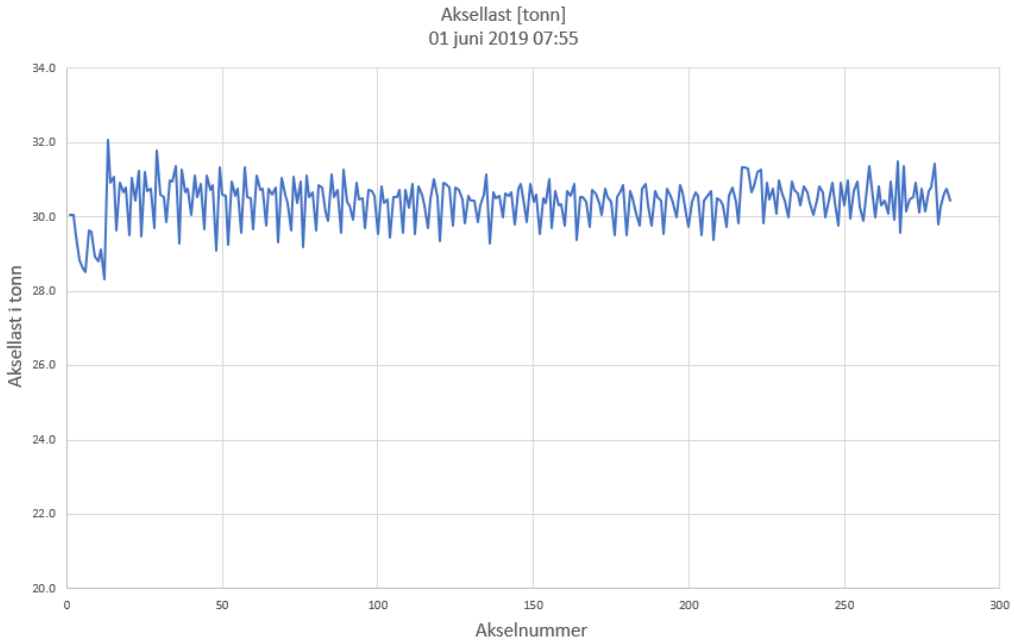
2.2 Måleresultater og belastninger

Vi har mottatt toglaster fra BaneNOR ved Bjørn Gunnar Larsen. Toglastene har bestått av totallast for hvert enkelt tog med en fordeling av aksellaster i vektkategorier, og vi har fått enkeltlisting av tog der belastning fra hvert enkelt hjul på høyre og venstre skinne er målt og registrert.

Vi har sortert ut de tyngste togene og vurdert dem mot tidspunkt for målte høyeste verdier for tøyning i armeringen og høyeste verdier for vibrasjoner. Det viser seg at de tyngste togene ikke gir de største målte verdiene for tøyning eller for vibrasjoner. De høyeste verdiene for målt tøyning samsvarer heller ikke med de høyeste målte verdiene for vibrasjoner. Dette gjelder toppverdiene, men det er naturligvis en sammenheng i størrelsesorden og mengder, selv om ikke toppverdiene samsvarer enkeltvis. Vi antar at dette kan skyldes ujevnheter i hjul og forskjellig hastighet på togene og sikkert også måleusikkerhet.

Av togpasseringene vi fikk oversendt i 2020 er det registrert 126 togpasseringer med totalvekt over 8000 tonn. Av disse ble det målt 159 aksler over 32,5 tonn, 1995 aksler mellom 31 og 32,5 tonn, 14 078 aksler mellom 30 og 31 tonn og 18 000 aksler under 30 tonn. Tilsvarende lastbilde gjelder for togene som passerte Norddalsbruene i 2019.

Under vises variasjoner i målt aksellast på et testtog som passerte 1. juni 2019 kl 07:55. Totallast var på 8638 tonn, og dette er et av togene med største totalvekt i prøveperioden.

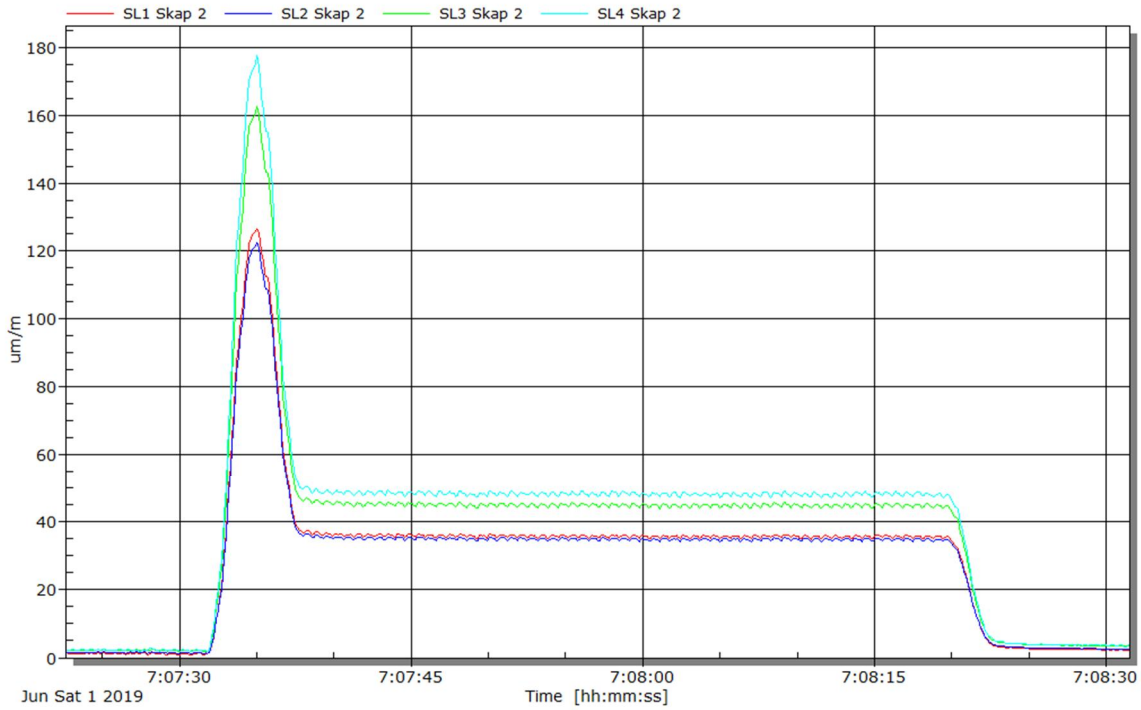


Figur 1: Aksellaster fra testtog 1. juni 2019

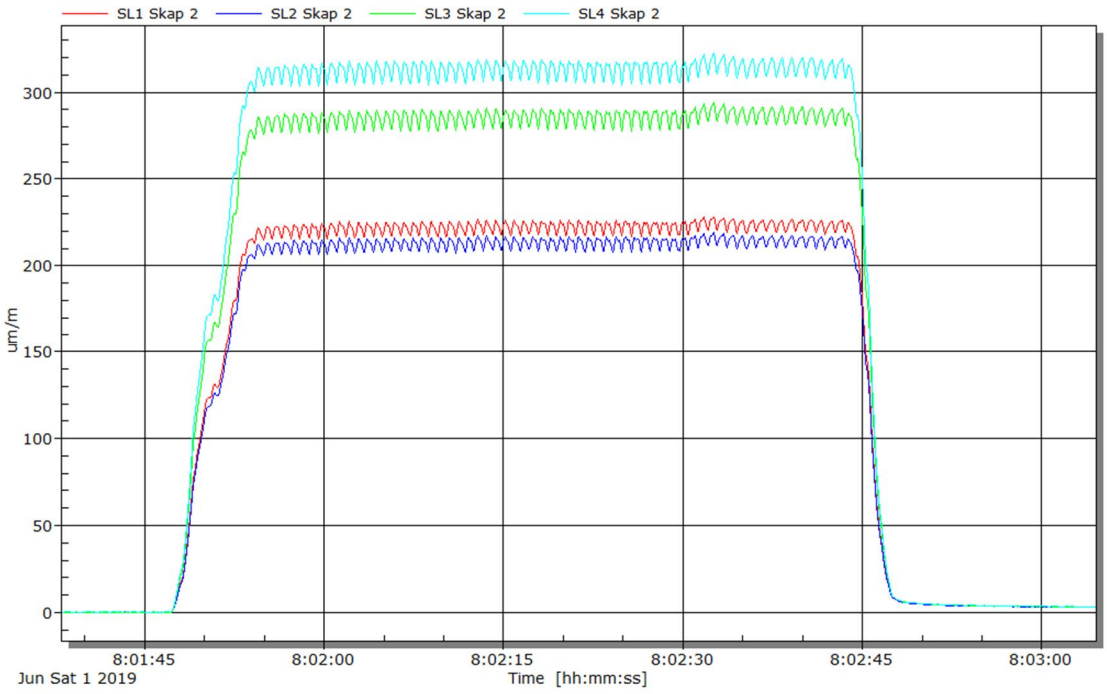
Under vises en typisk tøyningsgraf for et fullastet tog og et tomt tog på Bru 1 over Norddalen. Vi ser at det doble IORE-lokomotivet gir størst utslag i det det passerer, noe som tar ca. 9 sekunder fra det kjører inn på brua.

Måling av tøyninger og vibrasjoner blir forklart og gjennomgått senere i rapporten i HBM's kapittel 3.

2.2.1 Eksempelgrafer for tøyninger



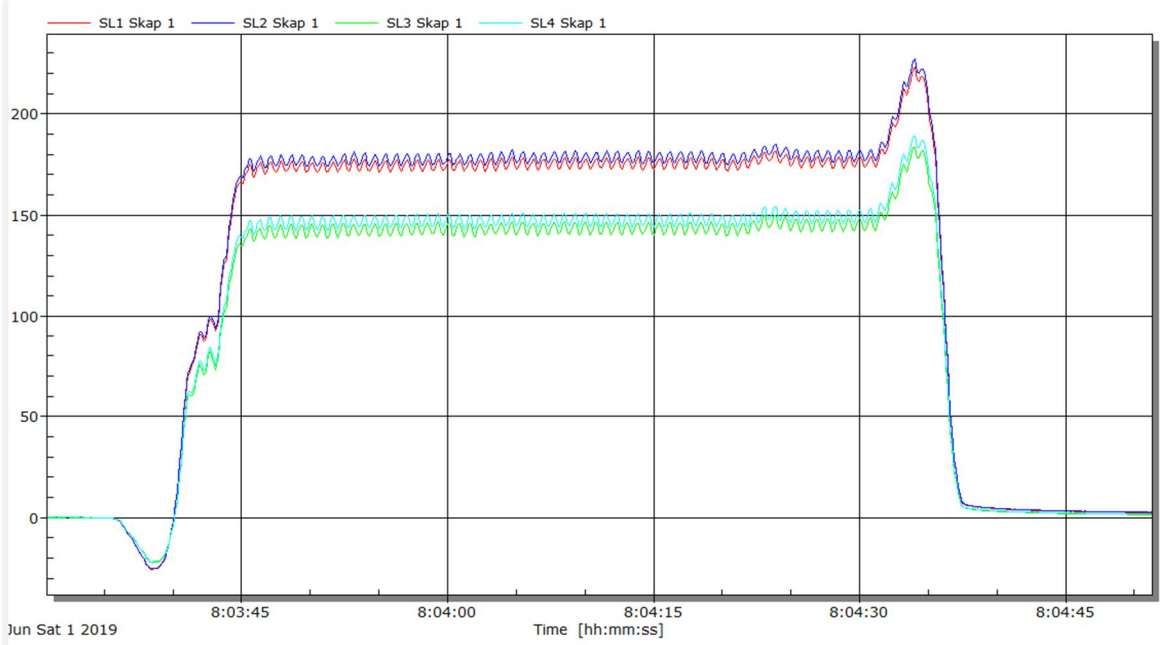
Figur 2: Tomt malmtog på veg mot Kiruna. Bru 1 over Norddalen ved km 35,579



Figur 3: Fullastet malmtog på veg mot Narvik. Bru 1 over Norddalen ved km 35,579

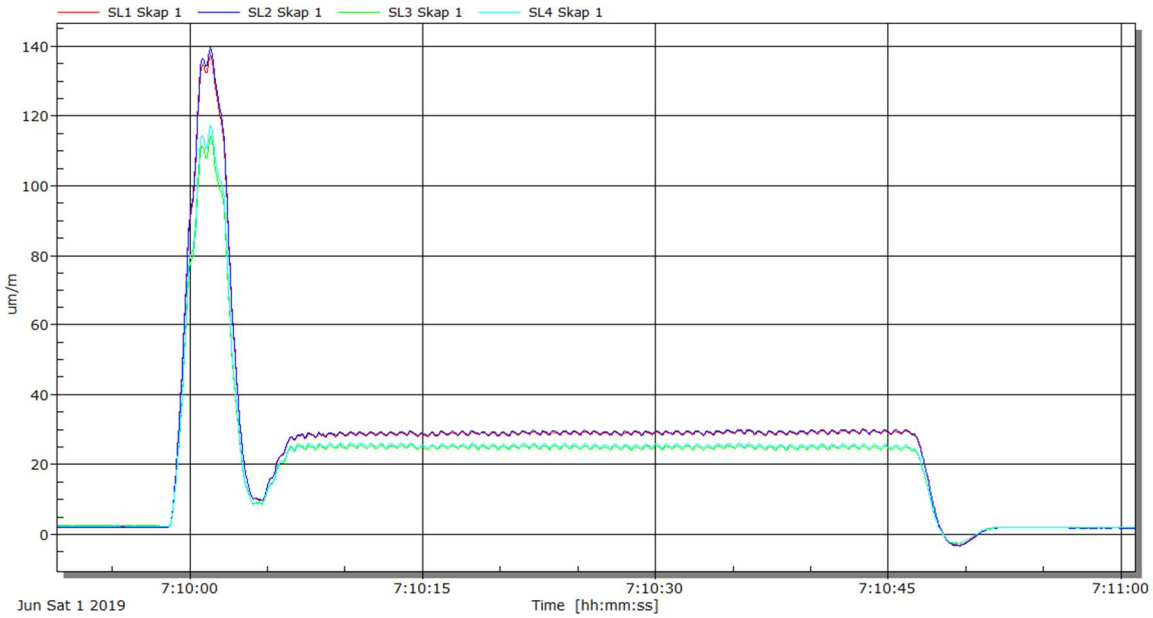
For Bru 1 over Norddalen øker tøyningene til det er full last på brua med malmvogner, og dette holder seg til toget har passert.

For Bru 2 over Norddalen ser vi at det fulle malmtoget fra Kiruna gir en liten reduksjon når toget ruller inn på brua for så å øke til full tøyning når hele brua er belastet. Dette skjer etter ca. 6 sekunder. Toghastigheten er omtrent 15 m/s, 54 km/t.



Figur 4: Fullastet malmtog på veg mot Narvik. Bru 2 over Norddalen ved km 35,989

Under vises tilsvarende tøyningsforløp for et tomt malmtog på veg tilbake til Kiruna over Bru 2.



Figur 5: Tomt malmtog på veg mot Kiruna. Bru 2 over Norddalen ved km 35,989

2.2.2 Eksempelgrafer for måling av vibrasjoner

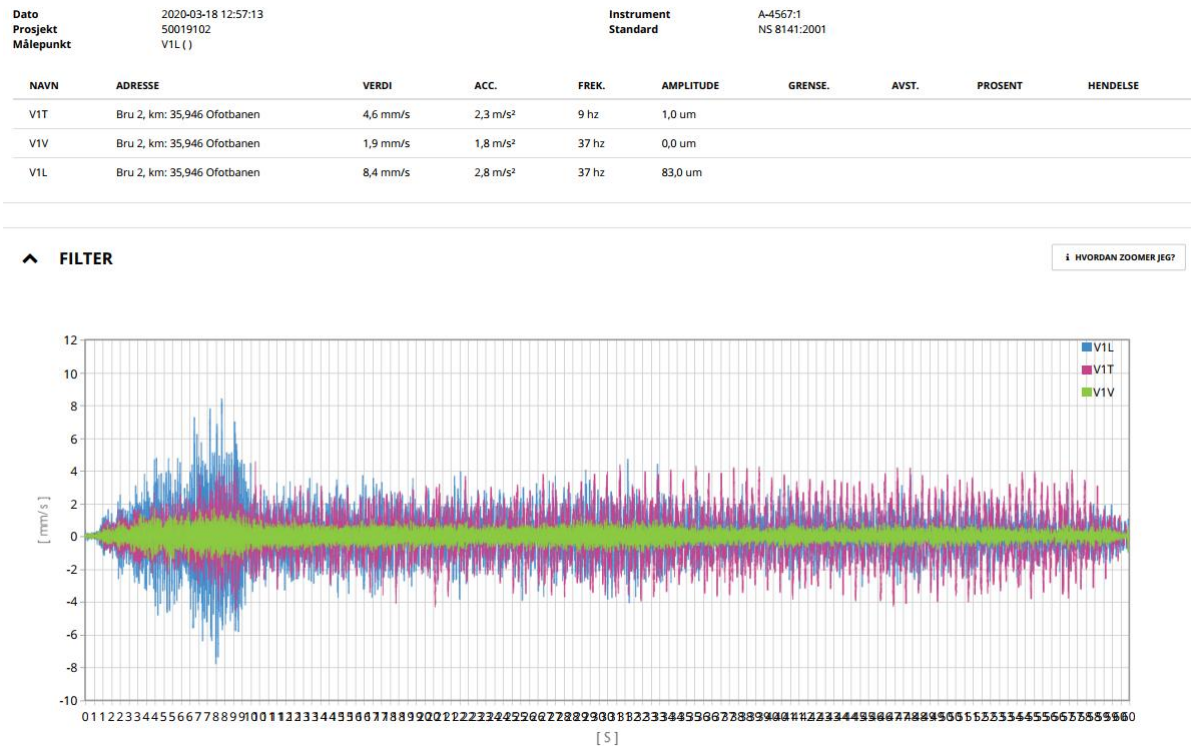
En typisk vibrasjonsmåling for Bru 1 og Bru 2 over Norddalen med fullastet malmtog er vist under. Toget passerer Bru 2 før det passerer Bru 1 ca. 30 sekunder senere. Verdiene som vises måles i tre akser der V måles vertikalt, T sideveis og L langsgående, dvs. at verdier for V3L viser vibrasjoner skapt av langsgående bremsekrefter i skinnegangen.

Dato	2020-03-18 12:57:36	**Instrument**	A-3799:1
Prosjekt	50019102	**Standard**	NS 8141:2001
Målepunkt	V3L ( )		

NAVN	ADRESSE	VERDI	ACC.	FREK.	AMPLITUDE	GRENSE.	AVST.	PROSENT	HENDELSE
V3T	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	2,5 mm/s	1,2 m/s²	5 hz	1,0 um				
V3V	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	1,3 mm/s	1,3 m/s²	30 hz	0,0 um				
V3L	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	2,0 mm/s	1,2 m/s²	7 hz	37,0 um				



Figur 6: Fullastet malmtog på veg mot Narvik. Bru 1 over Norddalen ved km 35,579



Figur 7: Fullastet malmtog på veg mot Narvik. Bru 2 over Norddalen ved km 35,989

2.3 Geometrisk kontroll

Med geometrisk kontroll menes kontroll av alt geometrisk avvik som setninger, nedbøyning og bevegelse i bruelementer.

2.3.1 Geometrisk kontroll av Norddalsbruene

Det er utført geometrisk kontroll av Ing. Granberg AS i form av nivellement (totalstasjon med tracking-funksjon) utført på Norddalsbruene med passerende fullastet malmtog. Dette er kontrollert mot elementmodeller for de to Norddalsbruene i SOFISTIK. Målingene viser samsvar med beregningene innenfor et avvik på ca. 10 % for tøyningsmålingene. Beregningsrapportene er oversendt som separate dokumenter, og de omtales mer detaljert i et eget kapittel.

2.3.2 Geometrisk kontroll av øvrige konstruksjoner

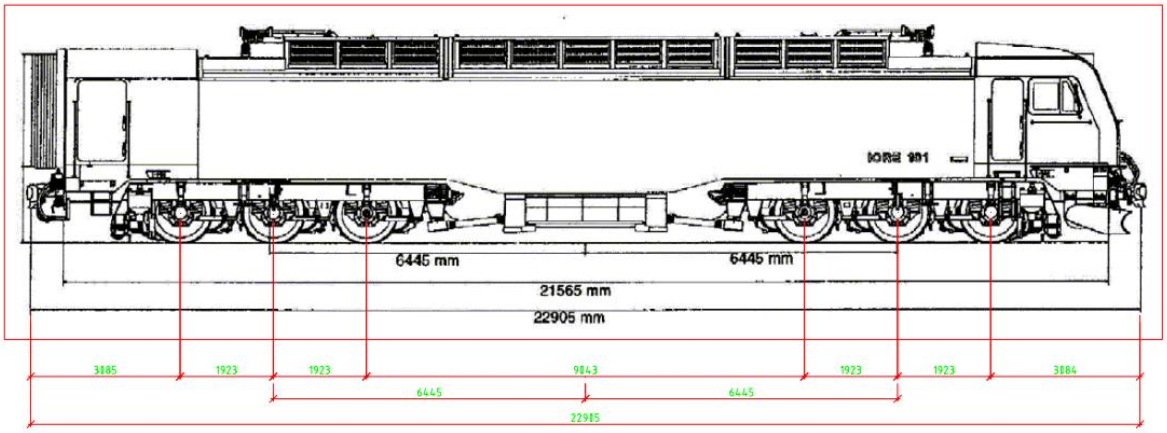
For de øvrige konstruksjonene i linja er den geometriske kontrollen utført vha. laserskyer med fastmonterte bolter eller prismer som kontrollpunkter. Disse er kontrollert til forskjellige tidspunkt og verdiene er sammenlignet. Det er ikke funnet avvik av betydning annet enn for Undergang Solheim ved km 38,669 der det er funnet avvik i et punkt. Kontrollmålingene behandles i kapittel 5.

2.4 Klassifisering av bruene mot målte nedbøyninger

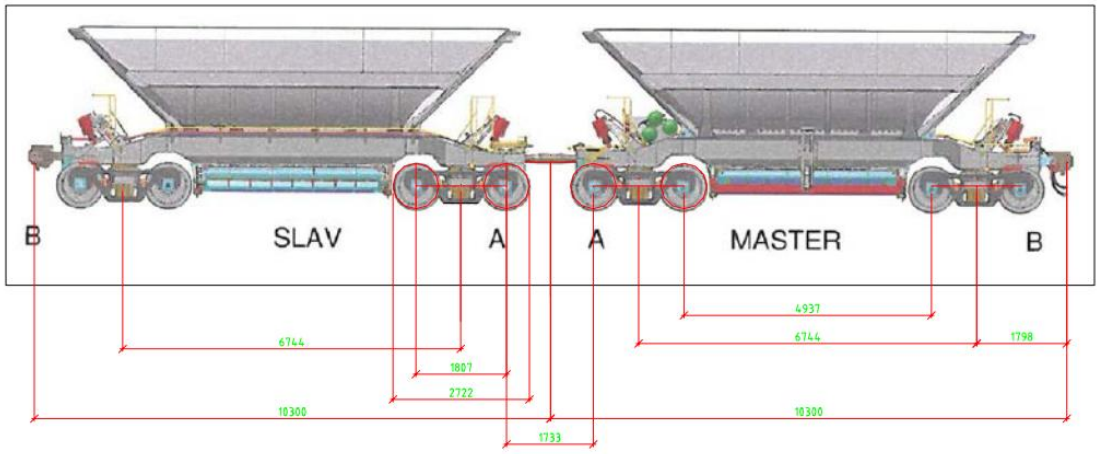
Vi har etablert en modell i elementprogrammet SOFISTIK for å kontrollere opptredende nedbøyninger i bruene mot beregnede. Detaljer rundt beregningene foreligger i beregningsdokumentet for bruene, og vi oppsummerer her det viktigste.

Norddalsbruene er kraftig oppspent. For beregning av sannsynlig nedbøyning vil betongens E-modul være av betydning, og det er derfor utført en ikke-lineær beregning som skal kontrollere om tverrsnittet er opprisset og evt. ta hensyn til den reduserte stivheten i tverrsnittet.

Det er beregnet deformasjoner for dimensjonerende laster og for økte laster opp til 32,5 tonn pr aksel. Lokomotiv og vogner er modellert som flatelaster iht. følgende modell. Lokomotivet kjører multippel som en dobbel versjon av figuren under.



Figur 8: IORE enkel, 2 x trippel boggi – gjeldende akselavstander



Figur 9: Malmvogner, geometri og akselavstander

2.4.1 Bru 1 over Norddalen ved km 35,579.

Beregningene viser en teoretisk nedbøyning på 20,4 mm for 30 tonns aksler før lastøkning og 22 mm etter lastøkning til 32,5 tonns aksler.

Målt deformasjon for fullt malmtog viser nedbøyning på 20 mm, og det er dermed i samsvar med beregnet nedbøyning.

2.4.2 Bru 2 over Norddalen ved km 35,989.

Beregningene viser en teoretisk nedbøyning på 18 mm for 30 tonns aksler før lastøkning og 19,5 mm etter lastøkning til 32,5 tonns aksler.

Målt deformasjon for fullt malmtog viser nedbøyning på 18 mm, så dette viser også godt samsvar med beregnet nedbøyning.

2.5 Beskrivelse av bruene

Jernbanebruene på Ofotbanen fra km 2,6 til km 40,420 er kort beskrevet under. Veibruer der toget passerer under er ikke nærmere beskrevet. Enkelte bruer er etter hovedinspeksjon registrert med skader som kan redusere bærekapasiteten. Dette er beskrevet under hver enkelt bru.

2.5.1 Km 2,6 – Bolagstunnelen

Jernbanekulvert for personer av plasstøpt betong som nå benyttes til gjennomføring av rør og kabler. Kulverten er bygd i 1958 og ligger under togoppstillingsområdet ved LKAB's utskipningskai og krysser under ni spor.



Figur 10: Østre inngang til Bolagstunnelen



Figur 11: Overside av spor over Bolagstunnelen

2.5.2 Km 4,288 – Mølle elv

Jernbanebru, bygget som mørtlet hugget steinhvelv i ett spenn over Mølle elv, bygd i 1902. Brua har spennvidde på 4 meter, og det er ett jernbanespor over brua.



Figur 12: Oversiktsbilde – fra nedstrøms side



Figur 13: Oversiktsbilde fra spor

2.5.3 Km 4,682 – Grunstadbrua

Jernbanebru som består av betongtrau i ett spenn over natursti. Landkar i murt hugget stein antatt bygget i 1902. Overbygning ble skiftet ut i 2002. Brulengden er 5 meter, og det er ett jernbanespor over brua.



Figur 14: Oversiktsbilde fra høyre side



Figur 15: Oversiktsbilde fra spor

2.5.4 Km 7,608 – Hvelvbru

Jernbanebru bygget som mørtlet hugget steinhvelv i ett spenn over elv, bygd i 1902. Buen har spennvidde 2 m med ett jernbanespor over brua.

Det er ved inspeksjon registrert undergraving og bevegelse av stein i buevegg på begge sider av hvelvet. Undergraving og bevegelse kan skyldes mangelfull fundamentering og gi svekket bærekapasitet.



Figur 16: Oversiktsbilde fra nedstrøms side



Figur 17: Undergraving av buevegg i akse 2

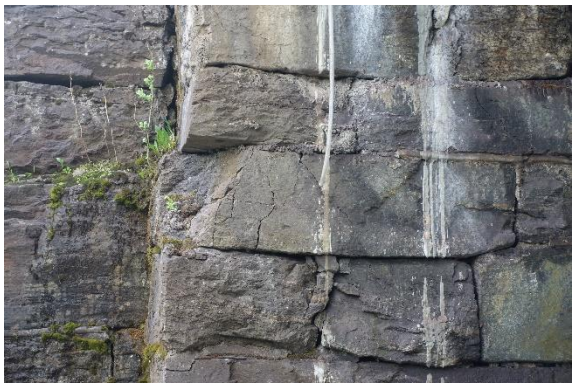
2.5.5 Km 8,266 – Hvelvbru

Jernbanebru bygget som mørtlet hugget steinhvelv i ett spenn over elv, bygd i 1902. Brua har spennvidde 4 meter med ett jernbanespor.

Det ble ved inspeksjon registrert avskalling og knusing av en stein i akse 2 samt sprekker i enkelte stein i buevegg på begge sider av landkar. Skadeårsak antas å være overbelastning av enkelte stein. Dette kan skyldes manglende fuging for lastfordeling. Oppfølging av oppsprekking med lasermålinger vil vise om skaden har utviklet seg i måleperioden.



Figur 18: Oversiktsbilde fra nedstrøms side



Figur 19: Avskalling og sprekker i ytterste stein på buevegg

2.5.6 Km 21,182 – Kulvert Rombakk

Jernbanekulvert av prefabrikkerte betongelementer, bygd i 2015. Spennvidde for kulverten er 4 meter, og det går tre jernbanespor over brua.



Figur 20: Oversiktsbilde fra høyre side



Figur 21: Oversiktsbilde fra spor

2.5.7 Km 33,821 – Hvelvbru

Jernbanebru bygget som mørtlet hugget steinhvelv i ett spenn over bekk, bygd i 1902. Brua har spennvidde 2,5 meter, og det er ett jernbanespor over brua.



Figur 22: Oversiktsbilde fra høyre side



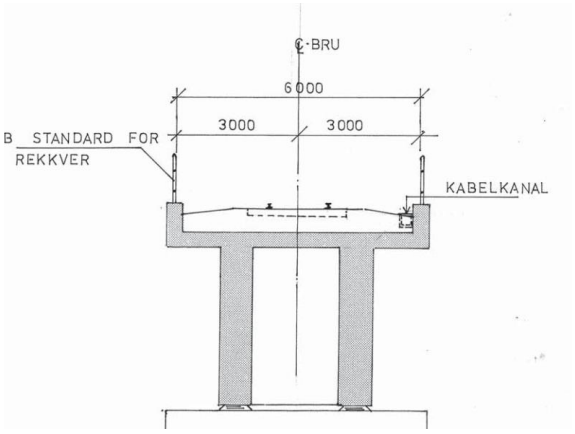
Figur 23: Oversiktsbilde fra spor

2.5.8 Km 35,715 – Bru 1 over Norddalen

Jernbanebru av plasstøpte etteroppspente doble betongbjelker med samvirke fritt opplagt i ett spenn. Brua er bygd i 1985. Plasstøpte betonglandkar med vinger. Brua er 50 meter lang med ett jernbanespor.



Figur 24: Oversiktsbilde av Bru 1 over Norddalen



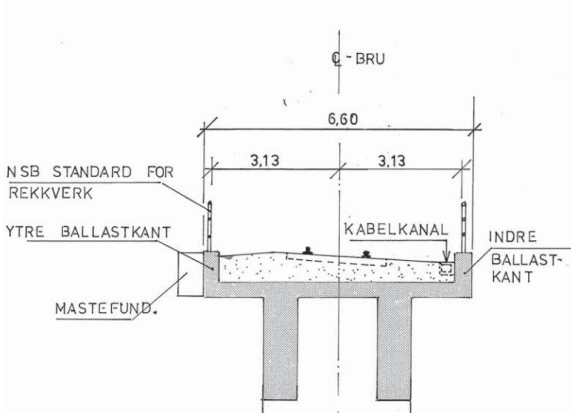
Figur 25: Typisk tverrsnitt Bru 1 over Norddalen

2.5.9 Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen

Jernbanebru av plasstøpte ettersoppspente doble betongbjelker med samvirke kontinuerlig over to spenn på 44 m og 41 m. Brua er bygd i 1985 med plasstøpte betonglandkar med vinger. Brua er 85 meter lang, og det er ett jernbanespor over brua.



Figur 26: Oversiktsbilde av Bru 2 over Norddalen



Figur 27: Typisk tverrsnitt Bru 2 over Norddalen

2.5.10 Km 38,669 – Undergang Solheim

Jernbanebru i steinfylling av korrugert stålrør som undergang for gående og syklende, bygd i 2009. Røret har en diameter på 3 meter med ett jernbanespor over.



Figur 28: Oversiktsbilde fra høyre side



Figur 29: Oversiktsbilde fra spor

2.5.11 Km 40,420 – Undergang Bjørnfjell

Jernbanekulvert av prefabrikkerte betongelementer som undergang for gående og syklende, bygd i 2012. Spennvidde for kulvert er 4 meter, og det ligger tre jernbanespor på brua.



Figur 30: Oversiktsbilde fra venstre side



Figur 31: Oversiktsbilde mot Bjørnfjell stasjon

3. TØYNINGSMÅLINGER HBM NORGE AS

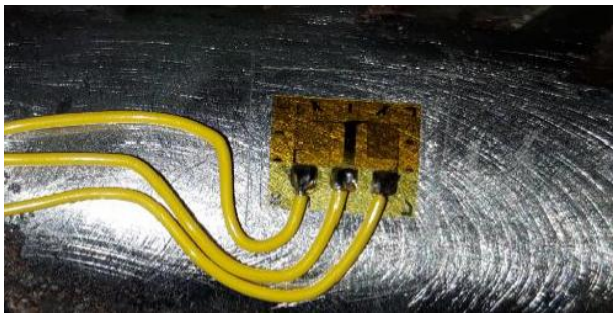
3.1 Innledning

21. til 23. november 2016 ble strekklapper montert på armeringsjern under 2 broer i nærheten av Søsterbekk stasjon, Ofotbanen. Frem til 2. november 2020 har det pågått en kontinuerlig innsamling av tøyningsverdier med enkelte opphold på grunn av langvarige strømbrudd, vedlikehold og lignende.

Tøyningsverdiene som er målt, er ikke alarmerende store. Det er heller ikke noen tydelig økning fra år til år. Basert på redundans i målingene, tyder resultatene på at sensorene måler korrekt

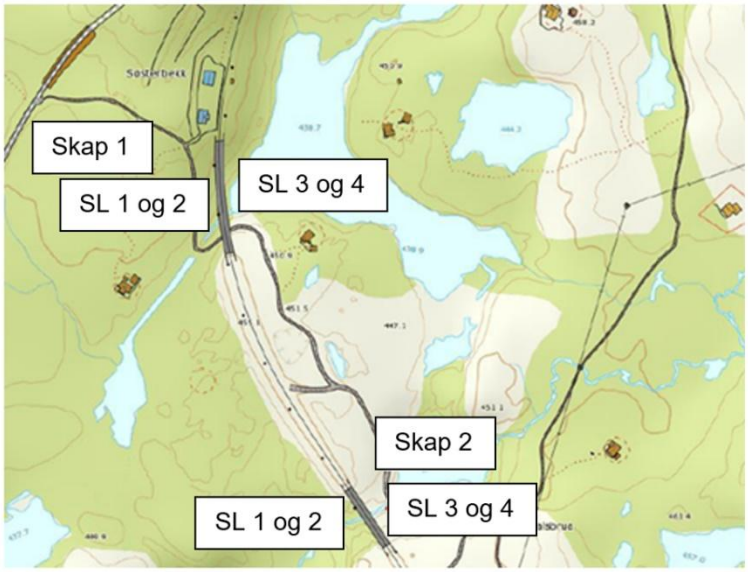
3.2 Strekklapp

Strekklapper er små sensorer (ca 1 x 1 cm) som, noe forenklet, er en tråd med en spesifikk motstand inne i en folie. De blir limt på en rein og jevn overflate og vil følge materialet når det utvides og komprimeres. Bevegelsene vil gjøre at motstanden i strekklappen endres. Ved å koble strekklappen som en Wheatstone målebro vil man kunne måle motstandsendringene som et elektrisk signal, mV/V. Dette elektriske signalet blir konvertert til tøyninger (mikrometer per meter, µm/m) basert på spesifikasjonene til strekklappen.



Figur 32: Nærbilde av en strekklapp fra installasjonen

3.3 Plassering





Figur 33: Plassering av strekklappene

Figur 2 viser en oversikt over hvor strekklappene er plassert. Merk: Skap1 = Bru 2 og Skap 2 = Bru 1.

- Skap 1 er plassert på Bru 2 over Norddalen ved km 35,989
- Skap 2 er plassert på Bru 1 over Norddalen ved km 35,579
- 4 og 4 strekklapper er koblet til hvert sitt skap, Skap 1 og Skap 2.
- SL (Strekklapp) 1 og 2 er plassert på samme armeringsjern, SL 3 og 4 er også plassert på samme armeringsjern.
- SL 1 og 2 er plassert omtrent 10 cm fra hverandre
- SL 3 og 4 er plassert omtrent 10 cm fra hverandre

3.4 Oversiktsdata

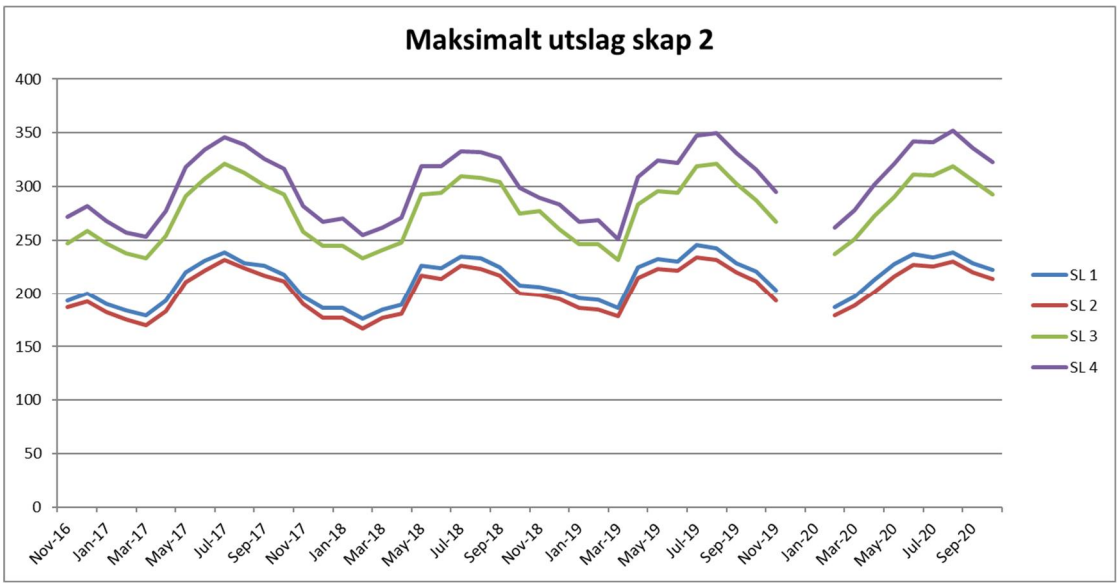
For å se etter trender i målingene, presenteres oversiktsdata. Her er det det maksimale utslaget fra sensoren som står i fokus, med andre ord, største registrerte tøyning ved togpassering.

3.4.1 Maksimalt utslag hver måned

I dette kapittelet vises utviklingen av det månedlige maksimale utslaget siden desember 2016. Det undersøkes om det er noen tydelig endring, og om det er en økning eller reduksjon.

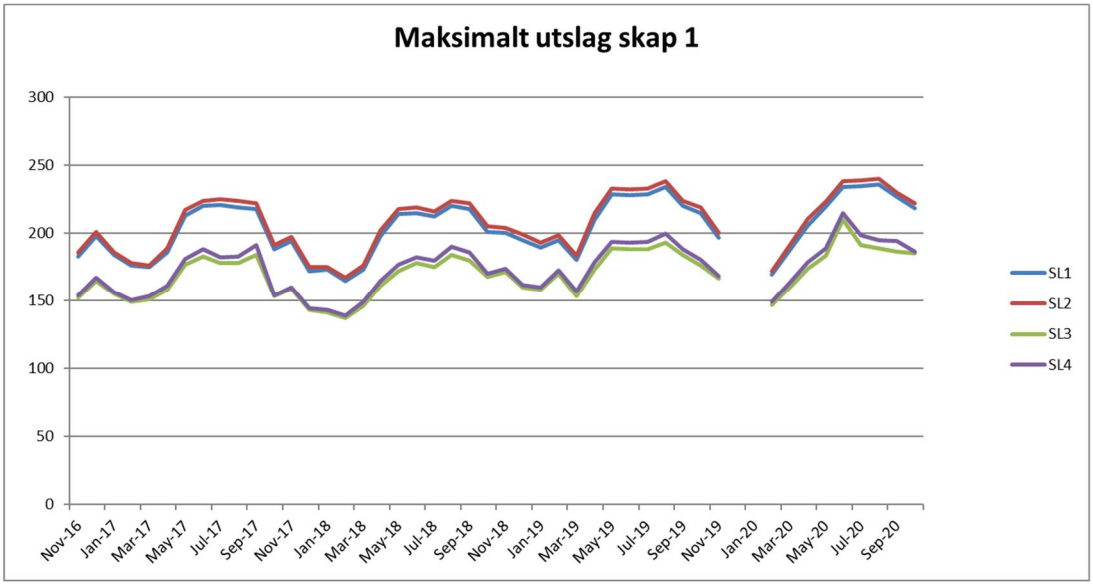
Det høyeste tøyningsutslaget ved togpassering er hentet ut hver måned.

Det gir oss følgende graf for Bru 1.



Figur 34: Maksimalt utslag hver måned, skap 2, bru nærmest Narvik

Det gir oss følgende graf for Bru 2.



Figur 35: Maksimalt utslag hver måned, skap 1, bru nærmest Søsterbekk holdeplass

Kommentarer til figurene

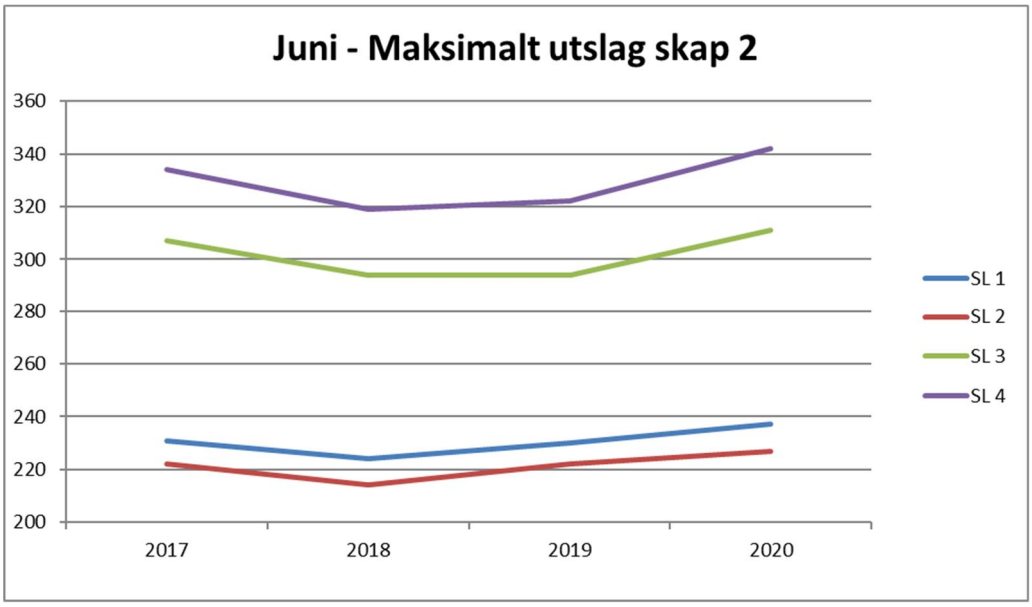
Tomrommet skyldes nedetid da deler av systemet ble kalibrert og skiftet ut vinteren 2019/2020. For øvrig er det også andre perioder med kortere nedetid på systemet, se oversikt lenger ned i kapittelet.

Grafene tyder på at det er en sesongmessig variasjon i utslagene, hvor sommerperioden gir større utslag enn vinteren.

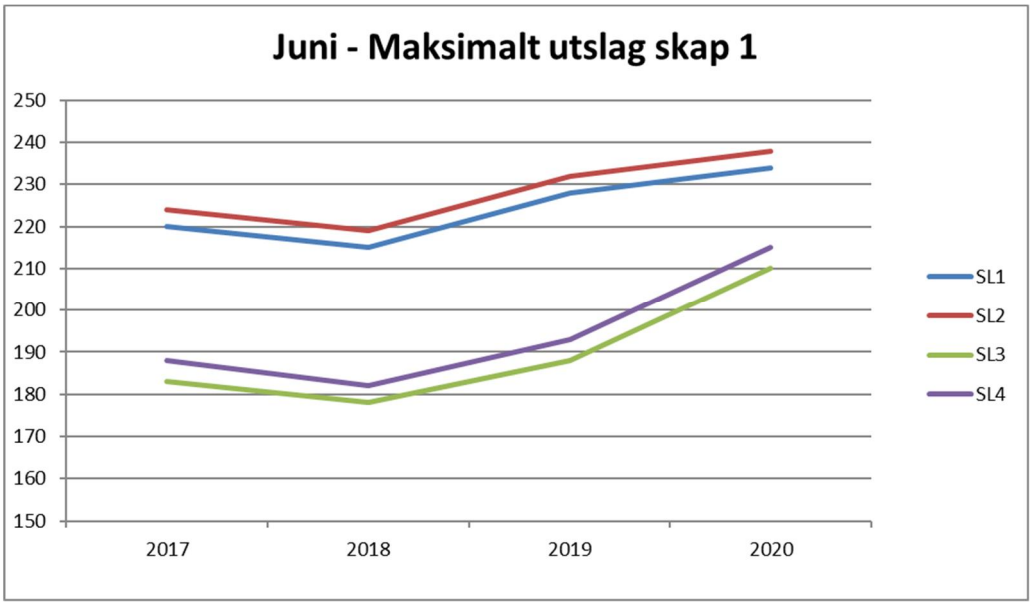
De to sensorene som er montert ved siden av hverandre følger hverandre tett. Dette gir en bekreftelse på at målingene man leser er korrekte.

Det er ingen bemerkelsesverdig økning i maksimalt utslag innenfor samme måned. For å tydeliggjør dette, er det hentet ut grafer med maksutslag for månedene juni, juli og august. Disse er vist på de påfølgende sidene. Juni og juli er valgt ut fordi samtlige togpasseringer er logget, alle de fire somrene i prøveperioden. August er valgt ut fordi det er denne måneden utslagene normalt har vært størst. I august 2017 var systemet nede i 2 dager og i august 2019 var det nede i henholdsvis 9 og 4 dager (skap 1 og 2), så vi har et nesten komplett datasett for august også.

Den største økningen ser vi i juni fra 2018 til 2020 for sensor SL4, med en økning på 32 µm/m, ca. 15 %. Merk at på grafene under er det forstørret langs den vertikale aksen slik at økningen ser relativt sett større ut enn den faktisk er. For andre måneder er det målt lavere maksutslag i 2020 enn i de tidligere årene. Det er derfor ingen tydelig tendens i målingene.

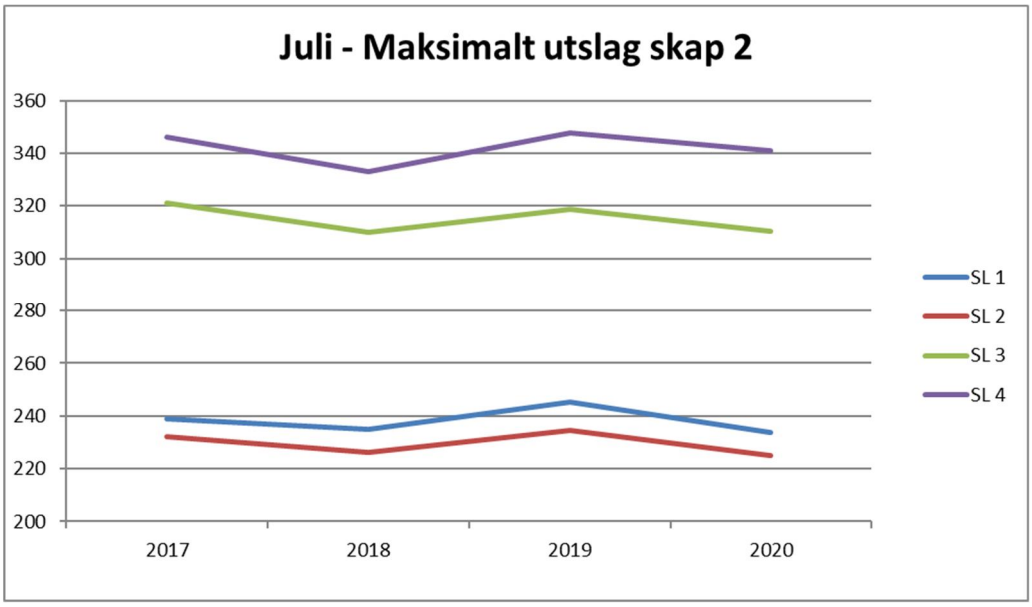


Figur 36: Maksimalt utslag juni måned, skap 2

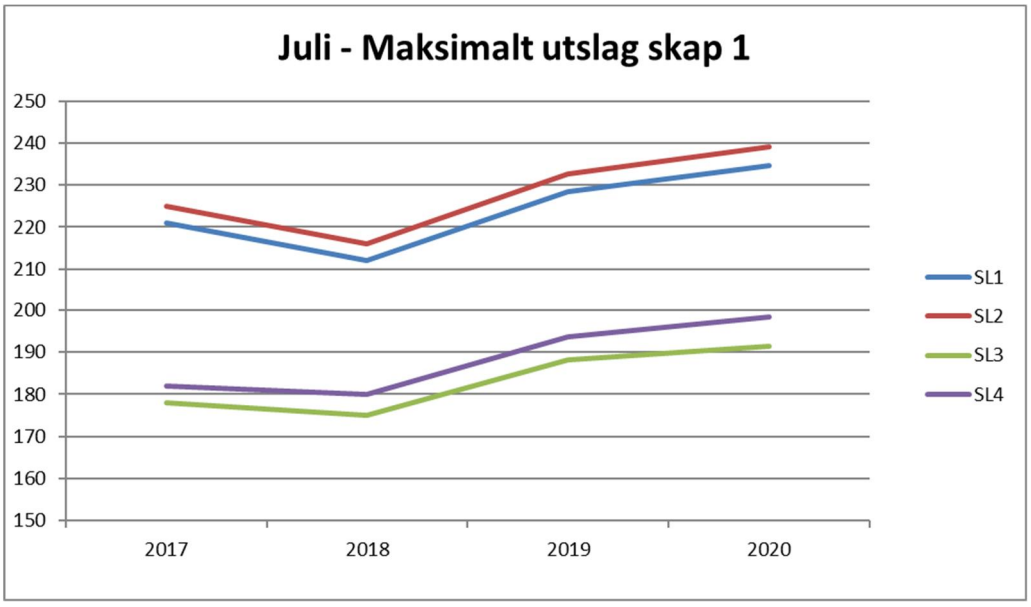


Figur 37: Maksimalt utslag juni måned, skap 1

Det mest påfallende i juni er utviklingen for strekklapp 3 og 4 på bru 2 (skap 1). Her er det en økning på 15 % fra 2018 til 2020. For bru 1 er det en flat tendens.

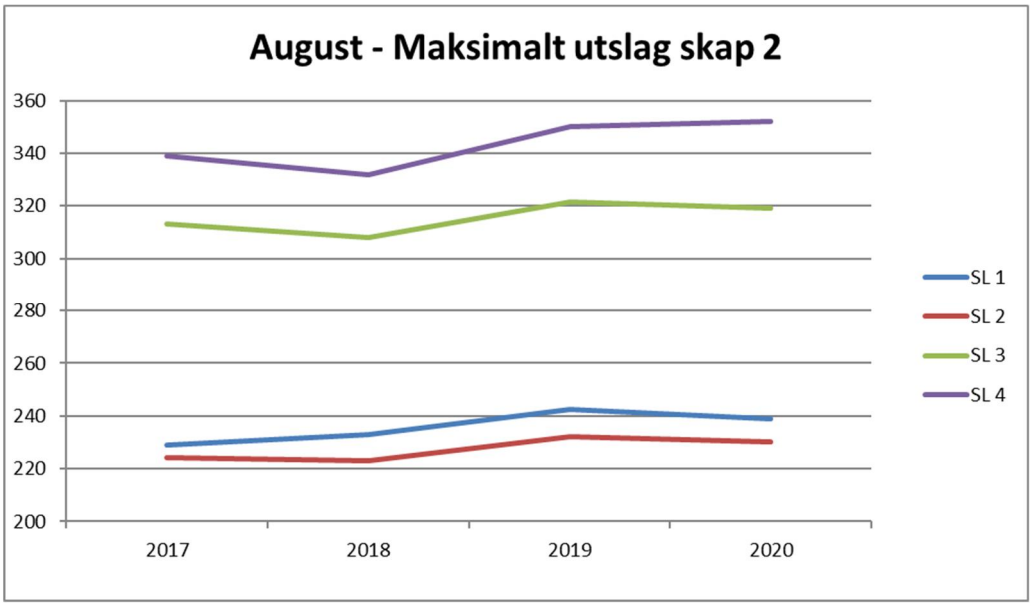


Figur 38: Maksimalt utslag juli måned, skap 2

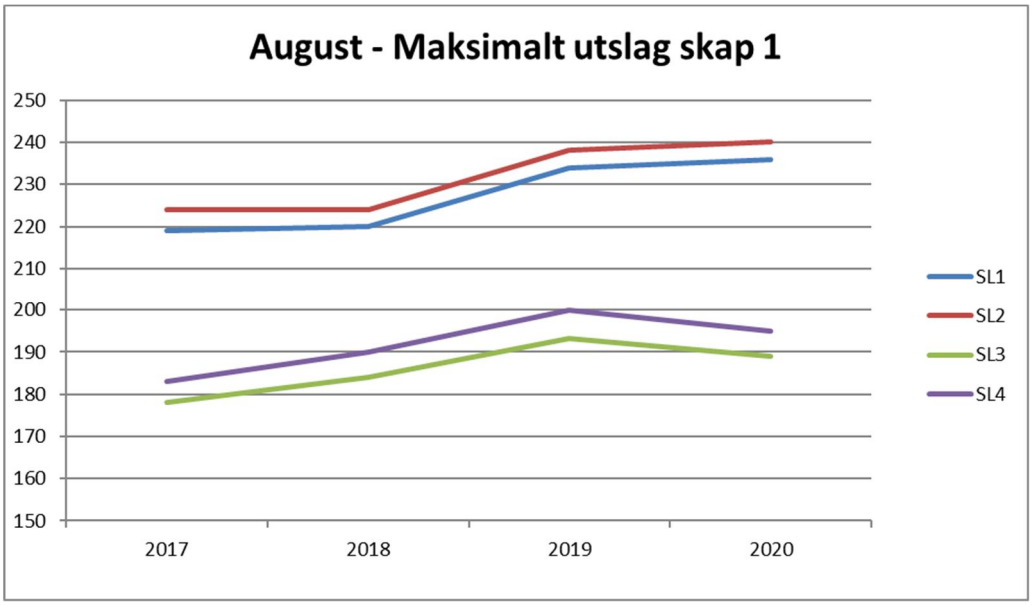


Figur 39: Maksimalt utslag juli måned, skap 1

For juli ser vi at for bru 1 (skap 2) er det en flat tendens, mens det for bru 2 (skap 1) er en svak økning, opp mot 10 %.



Figur 40: Maksimalt utslag august måned, skap 2



Figur 41: Maksimalt utslag august måned, skap 1

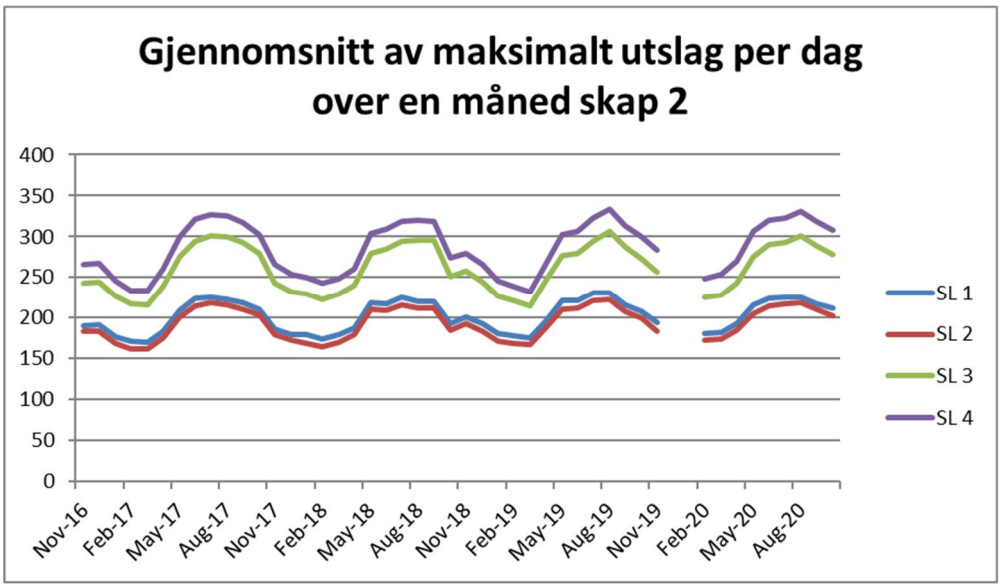
August viser også en ganske flat tendens. Den største økningen er for bru 2 (skap 1) med en økning på 8 % fra 2017 til 2019

3.4.2 Gjennomsnitt av daglig maksimalt utslag hver måned

Her gjøres det samme som i forrige kapittel, men i stedet for å se på det maksimale utslaget hver måned, tas det nå ut det maksimale hver dag. Et gjennomsnitt for hver måned regnes ut og plottes.

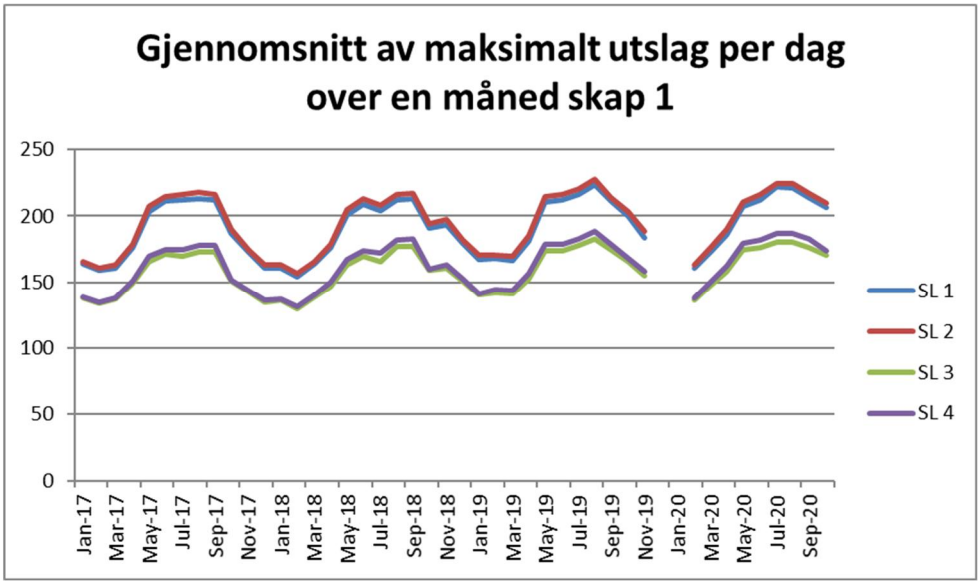
Mens man i forrige kapittel så på ekstremitetene, det ene store utslaget i måneden, vil man her se på den gjennomsnittlige belastninga over en og en måned. Merk at man må ta høyde for nedetid i systemet, men også perioder uten trafikk på grunn av vedlikehold på banen og lignende.

Det gir oss følgende graf for bru 1.



Figur 42: Gjennomsnittlig utslag hver måned, skap 2, bru nærmest Narvik

Det gir oss følgende graf for bru 2.



Figur 43: Gjennomsnittlig utslag hver måned, skap 1, bru nærmest Søsterbekk

Disse grafene gjentar inntrykket fra grafene med månedlige maksutslag i forrige kapittel. Ingen klare tendenser på økning eller minskning i målingene.

3.4.3 Nedetid på systemet

Tabellen under viser nedetid på systemet i perioden. Vi har komplette målinger i alle mnd der det ikke er noen anmerkning.

Nov-16	***	Nov-17	*	Nov-18		Nov-19	*
Dec-16		Dec-17	*	Dec-18		Des-19	***
Jan-17		Jan-18	**	Jan-19	*	Jan-20	***
Feb-17		Feb-18	***	Feb-19		Feb-20	***
Mar-17		Mar-18		Mar-19		Mar-20	***
Apr-17		Apr-18	**	Apr-19	*	Apr-20	
May-17		May-18	*	May-19		May-20	
Jun-17		Jun-18		Jun-19		Jun-20	
Jul-17		Jul-18		Jul-19		Jul-20	
Aug-17	*	Aug-18		Aug-19	*	Aug-20	
Sep-17	*	Sep-18	**	Sep-19	*	Sep-20	
Oct-17	***	Oct-18	**	Oct-19	*	Oct-20	*
Blankt	Data for hele måneden for begge skapene						
*	Data fra 1-10 dager mangler på ett eller begge skap						
**	Data fra 11-20 dager mangler på ett eller begge skap						
***	Data fra 21-31 dager mangler på ett eller begge skap						

Tabell 1: Andel data logget

3.4.4 Testtog - februar til mai 2019

I dette kapittelet sammenlignes passeringer rapportert å være testtog (32,5 tonn aksellast) med et ikke-testtog samme dag. Dette for å avdekke om det er noen betydelig økning i utslagene. Fordi vi ikke har detaljert informasjon om aksellastene på alle testtogene og normale malmtog, må det tas høyde for variasjon i aksellastene.

I tabellen under vises en oversikt over oppgitte togpasseringer med aksellast 32,5 tonn. Alle filer med aksellaster og togpasseringer er målt i nærheten av Søsterbekk og utarbeidet og overlevert oss fra Bjørn Gunnar Larsen hos BaneNOR.

Det maksimale utslaget blant de 8 sensorene er hentet ut, dette er strekklapp 4 på bru 1.

I tillegg, det maksimale utslaget samme dag som ikke er tog merket med aksellast 32,5 tonn. Dette for å gi et sammenligningsgrunnlag. Grunnen til at det er valgt å sammenligne med samme dag er for at forholdene da er så like som mulig.

I snitt gir togpasseringene merket med aksellast 32.5 tonn 2.1 % høyere maksutslag enn største togpassering samme dag som ikke er merket 32.5 tonn.

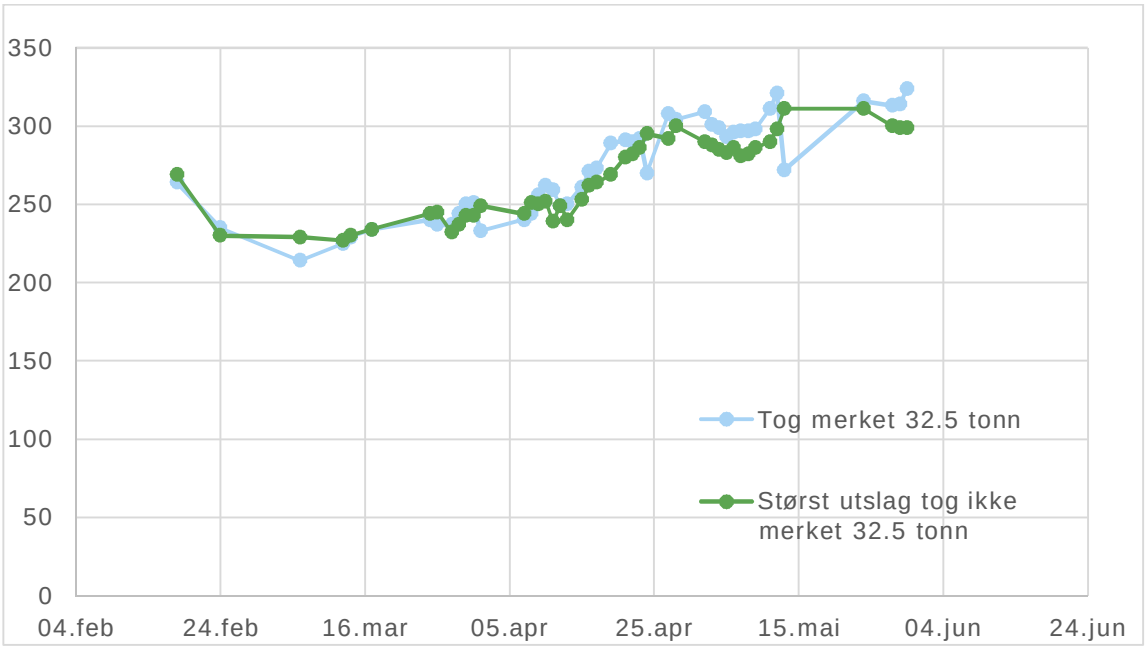
Merknader:

*	Ingen passeringer mellom 19.02 06:30 og 20.02 18:00
**	Duplikat av 13. april eller 14. april
***	Ingen passeringer mellom 13:00 og 18:30 denne dagen

Ved følgende tidspunkter er det grunn til å dobbeltsjekke at togene faktisk hadde 32.5 tonn last. Dette på grunn av det lave utslaget ved disse tidene.

31 mars 14:20
01 april 14:20
24 april 14:20
13. mai 14:20

Basert på informasjonen fra tabellen, er det generert følgende graf. Den viser utslaget fra testtog med blå linje og ikke-testtog med grønn linje. Enkelte dager kan man se at tog merket med 32,5 tonn last faktisk ikke ga størst utslag den dagen. Det kan være verdt å undersøke de faktiske aksellastene på disse togene.



Dato	Tidtabell ca. kl. Søsterbekk	Logget tid	Tøyning testtog	Tid for ikke-testtog	Størst tøyning ikke-testtog	Prosent
18-Feb	14:20	14:25	264	08:33	269	-2%
19-Feb	14:20	*				
20-Feb	00:50	*				
24-Feb	14:20	14:21	235	17:31	230	2%
7-Mar	00:50	01:18	214	14:53	229	-7%
13-Mar	18:20	18:20	225	03:54	227	-1%
14-Mar	14:20	14:16	229	19:30	230	0%
17-Mar	14:20	14:18	234	03:38	234	0%
20-Mar	14:20	**				
25-Mar	14:20	15:01	240	08:47	244	-2%
26-Mar	14:20	14:27	237	01:17	245	-3%
28-Mar	14:20	15:25	237	01:42	232	2%
29-Mar	14:20	14:07	244	16:45	237	3%
30-Mar	14:20	18:54	250	07:39	243	3%
31-Mar	14:20	14:23	251	00:54	243	3%
1-Apr	14:20	14:30	233	02:12	249	-7%
7-Apr	14:20	14:19	240	22:23	244	-2%
8-Apr	14:20	14:20	244	05:10	251	-3%
9-Apr	14:20	14:17	256	00:54	250	2%
10-Apr	14:20	14:01	262	09:41	252	4%
11-Apr	14:20	13:54	259	02:37	239	8%
12-Apr	14:20	14:01	249	02:37	249	0%
13-Apr	14:20	***				
13-Apr	14:20	14:25	250	04:56	240	4%
15-Apr	14:20	14:16	261	22:39	253	3%
16-Apr	14:20	14:00	271	05:07	262	3%
17-Apr	14:20	14:13	273	00:52	264	3%
19-Apr	11:30	11:47	289	02:19	269	7%
20-Apr	14:20	***				
21-Apr	14:20	14:35	291	02:42	280	4%
22-Apr	14:20	14:12	290	08:03	282	3%
23-Apr	11:30	11:22	292	02:58	286	2%
24-Apr	14:20	14:10	270	09:49	295	-9%
27-Apr	14:20	14:29	308	22:46	292	5%
28-Apr	14:20	14:23	304	02:25	300	1%
2-May	14:20	14:20	309	00:36	290	6%
3-May	14:20	14:17	301	00.28	288	4%
4-May	14:20	14:34	299	02:43	285	5%
5-May	14:20	15:26	293	09:42	283	3%
6-May	14:20	13:37	296	07:42	286	3%
7-May	14:20	14:00	297	08:01	281	5%
8-May	18:20	18:30	297	00:56	282	5%
9-May	18:20	18:15	298	02:32	286	4%
11-May	09:50	11:10	311	02:47	290	7%
12-May	22:25	22:57	321	16:38	298	7%
13-May	14:20	14:06	272	18.36	311	-14%
24-May	14:20	14:20	316	02:45	311	2%
28-May	14:20	14:22	313	11:11	300	4%
29-May	14:20	15:06	314	22:42	299	5%
30-May	14:20	14:31	324	00:52	299	8%

Tabell 2 32,5 tonn målinger for februar til september 2019

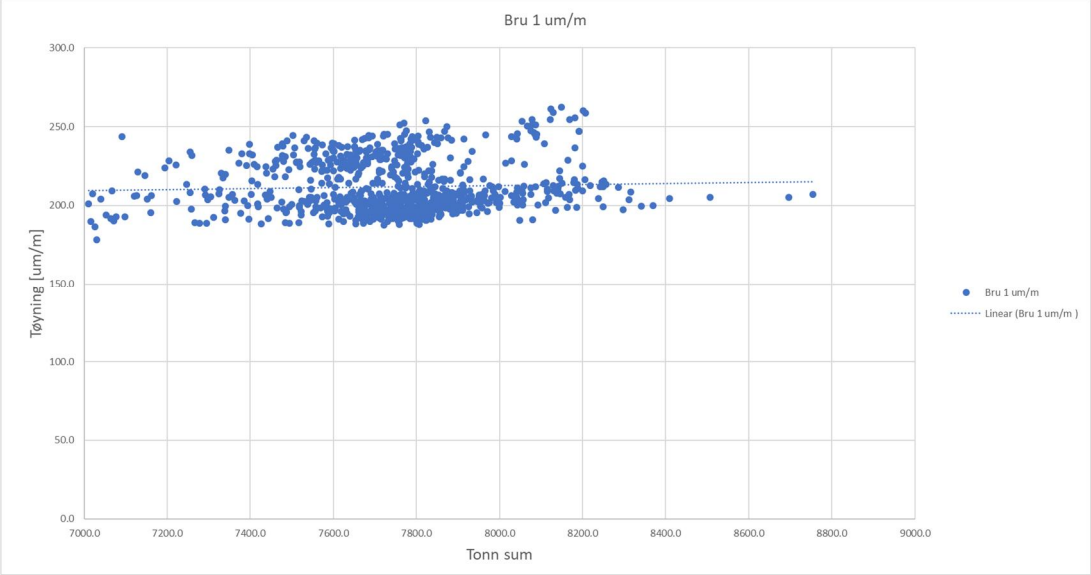
3.4.5 Sammenheng mellom aksellast og tøyninger-februar til mai 2020

I dette kapittelet plottes forskjellige egenskaper ved toget (maks, gjennomsnittlig og total aksellast) mot målt utslag for tøyning i armeringen. Ved hjelp av verktøy i Excel, settes også en lineariseringskurve basert på punktene.

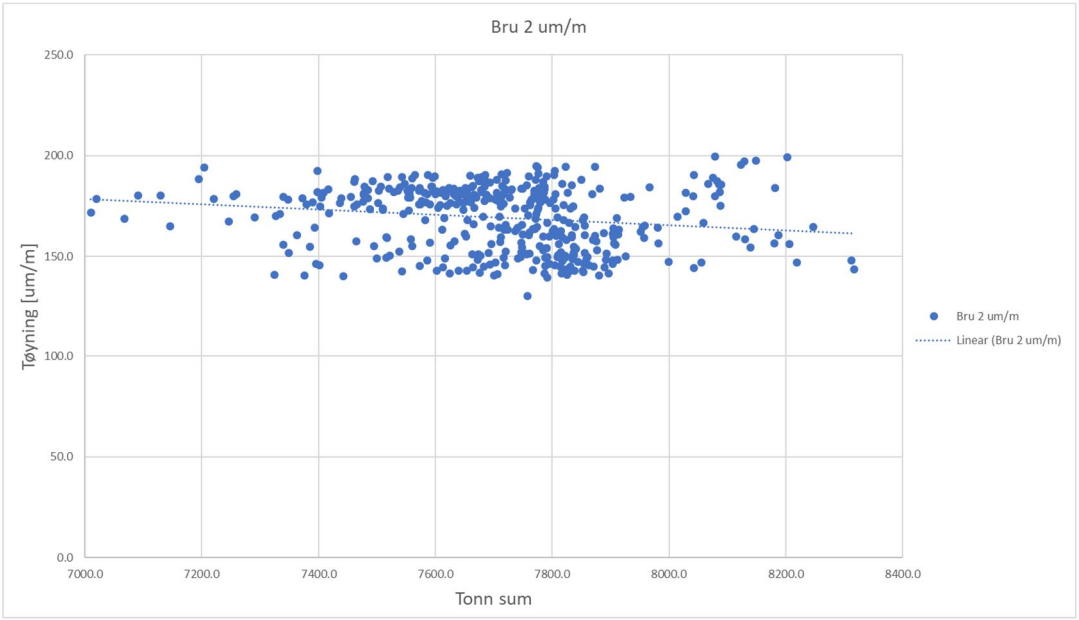
Det er hentet ut data for tog fra februar-mai 2020, basert på Excel-ark mottatt fra Bane NOR.

Det her blitt gjort 3 sammenligninger mellom lastene på akslingene til togene og utslagene fra sensorene. Dataene er gjengitt i tabellform under. I grafene er det kun sett på passeringer med malmtog med totalvekt over 7000 tonn. Både vanlige malmtog og testtog er inkludert. Ved hjelp av verktøy i Excel har det blitt anslått en lineariseringskurve basert på punktene. Grafene er interessante i seg selv og gir en viss pekepinn på hvordan tyngre tog påvirker bruene. Men et større datagrunnlag er nødvendig for å kunne gi en mer nøyaktig forståelse.

1. Totalvekten av toget (summen av aksellastene) er sammenlignet med snitt av utslagene for alle strekklappene for hver bro. Kun tog med totalvekt over 7000 tonn er tatt med i sammenligningen. Det er sett på 849 togpasseringer for bru 1 og 430 togpasseringer for bru 2. Det er ingen tydelig sammenheng mellom totalvekten og utslagene. At utslagene er sesongavhengige gir en viss spredning i verdiene.

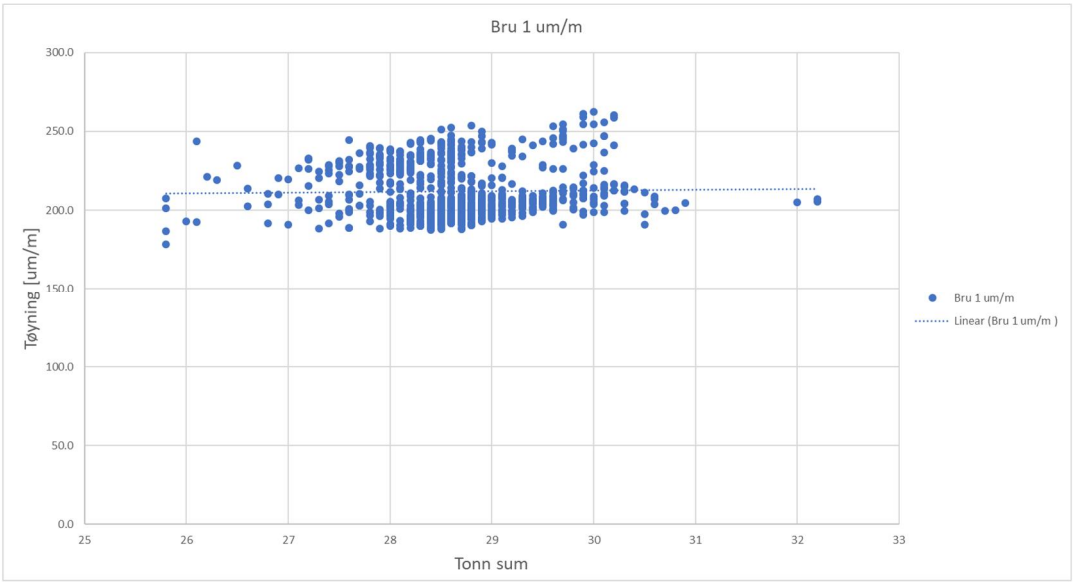


Figur 44: Bru 1 - Totalvekt av tog og tøyning

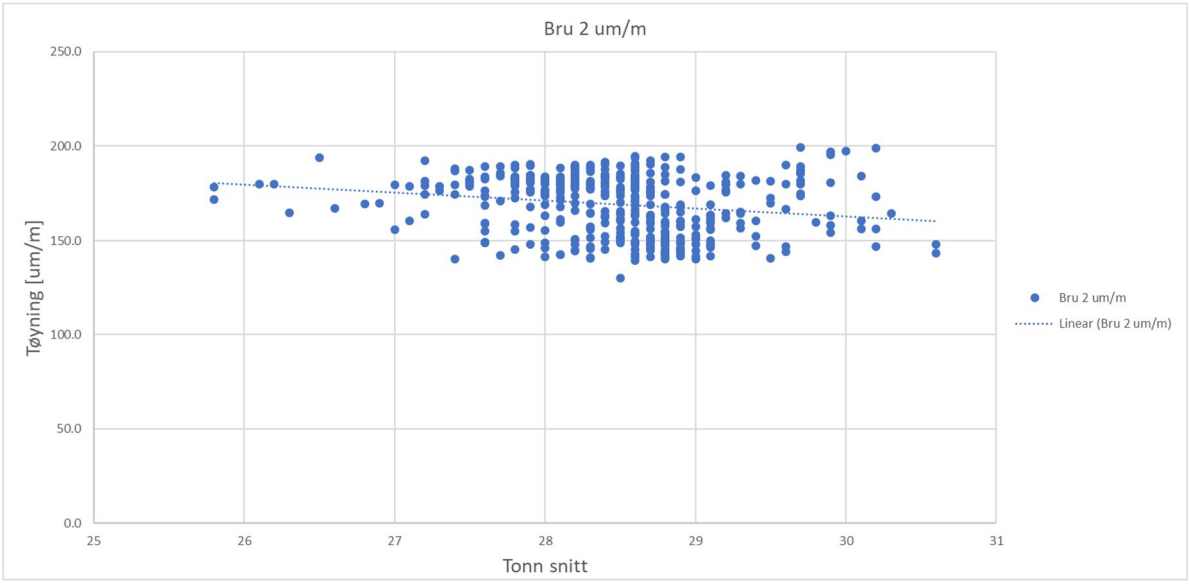


Figur 45: Bru 2 - Totalvekt av tog og tøyning

2. Gjennomsnittet av alle aksellastene for toget er sammenlignet med snitt av utslagene for alle strekklappene for hver bro. Kun tog med totalvekt over 7000 tonn er tatt med. Det er også her sett på 849 togpasseringer for bru 1 og 430 togpasseringer for bru 2. Det er ingen tydelig sammenheng mellom gjennomsnittlig aksellast og utslagene. Det at utslagene er sesongavhengige gir en viss spredning i verdiene.

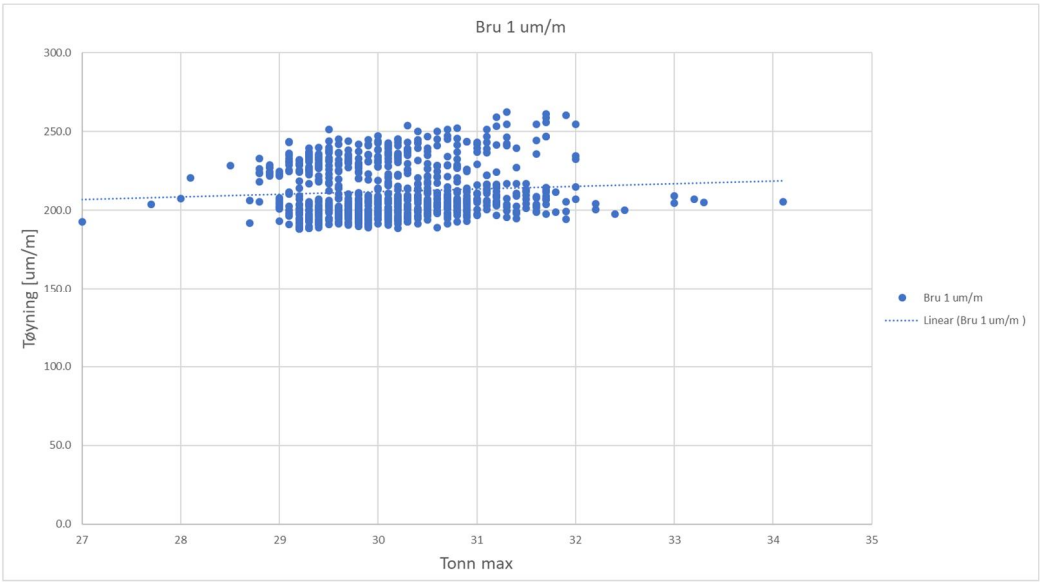


Figur 46: Bru 1 – Snitt aksellast og tøyning

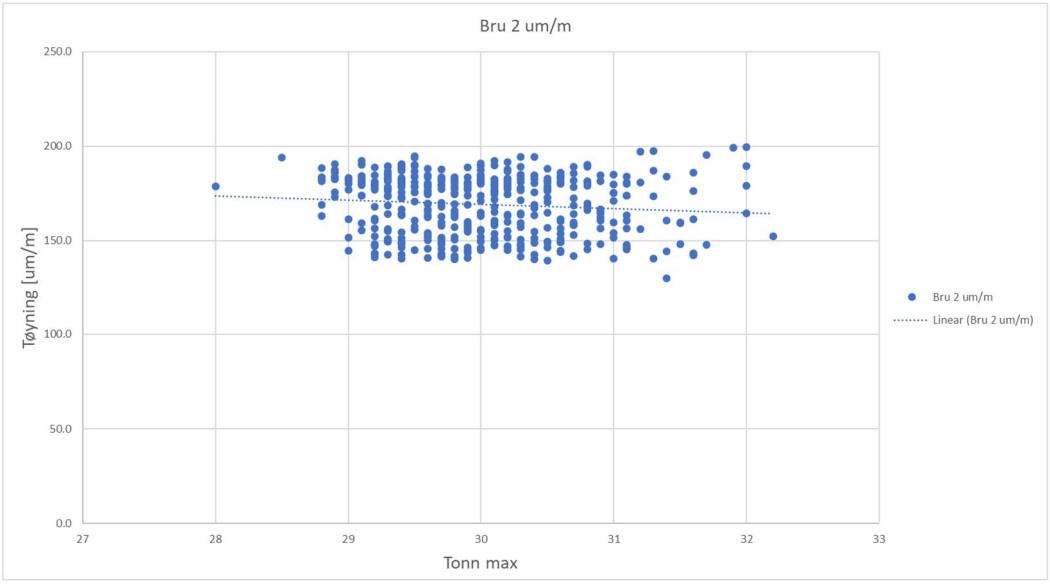


Figur 47: Bru 2 – Snitt aksellast og tøyning

3. Den største registrerte aksellasten for toget er sammenlignet med snitt av utslagene for alle strekklappene for hver bru. Kun tog med totalvekt over 7000 tonn er tatt med. Det er sett på 849 togpasseringer for Bru 1 og 430 togpasseringer for Bru 2. Det er ingen tydelig sammenheng mellom maks aksellast og utslagene. At utslagene er sesongavhengige gir en viss spredning i verdiene.



Figur 48: Bru 1 – Maks aksellast mot tøyning



Figur 49: Bru 2 – Maks aksellast mot tøyning

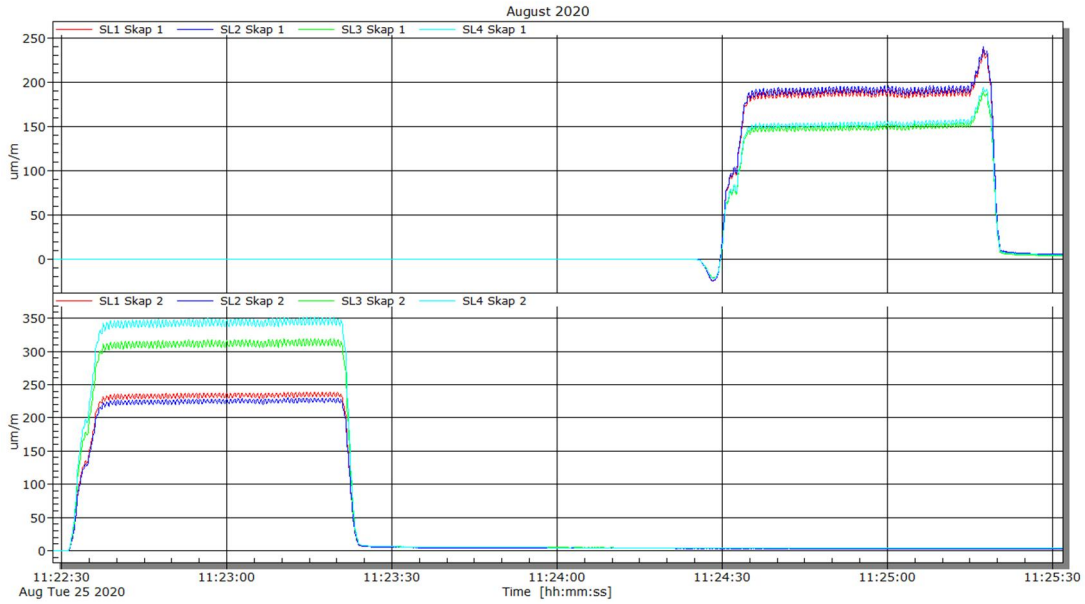
3.5 Datavedlegg - grafer

Logging av data har i all hovedsak foregått med 10 verdier i sekundet (10 Hz samplingsrate). Derfor er det mulig å plotte de målte verdiene i en tidsgraf for å se hvordan armeringen reagerer på belastningen.

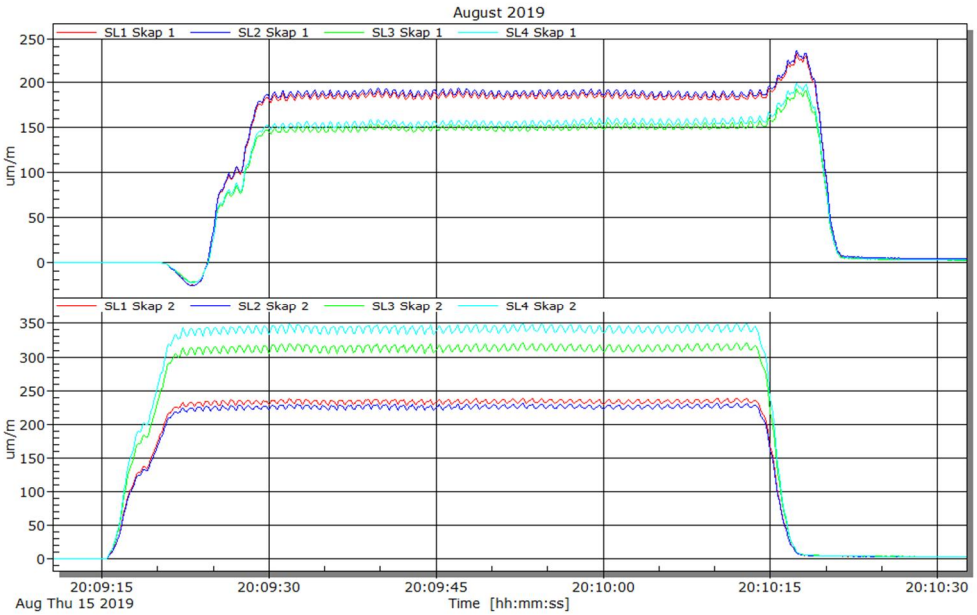
Merk at grafene kan være noe forskjøvet fra hverandre fordi klokkene på de to systemene ikke har vært perfekt synkronisert.

3.5.1 Størst utslag

Det største utslaget ble registrert 25. august 2020, klokka 11:23. Nest største utslag ble registrert 15. august 2019, klokka 20:09. Det er ukjent om det største utslaget er fra et testtog. Det nest største utslaget er et testtog med total aksellast 8738 tonn, gjennomsnitts aksellast 30,8 tonn og største målte aksellast 32,3 tonn.



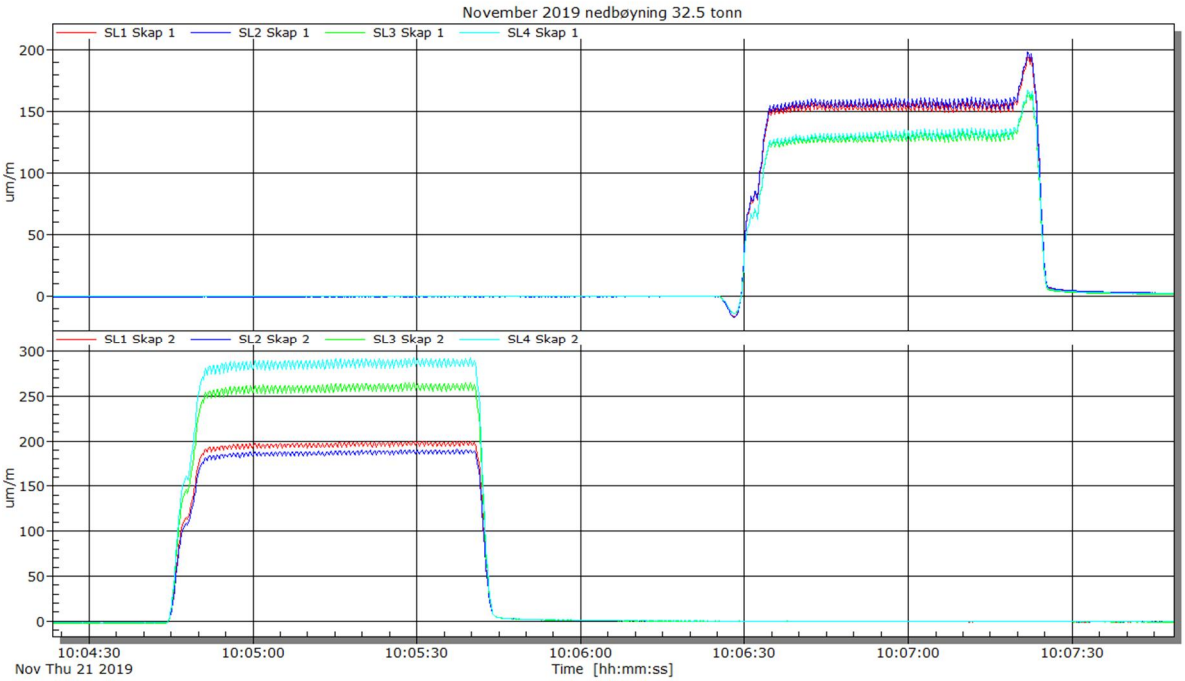
Figur 50: Største utslag i måleperioden



Figur 51: Nest største utslag i måleperioden

3.5.2 Tøyning og nedbøyning av bru

21 november 2020: I samarbeid med Ingeniør Granberg, ble det gjennomført målinger av nedbøyning av broen samtidig som et tog oppgitt med 32,5 tonn aksellast passerte. Tøyningsmålingene er som følger. Merk at dette ikke er passeringen som ga størst utslag i november, det var 2. november 10:55. Skap 1 = Bru 2 og Skap 2 = Bru 1.



Figur 52: Tog med 32,5 aksellast hvor nedbøyning av bru er målt av Ingeniør Granberg

3.5.3 Testtog juni-september 2019

I de påfølgende grafene vises last fra hver enkelt aksel fra de forskjellige togene, samt grafer av tøyningene fra sensorene. Disse grafene kan sammenlignes for å få et innblikk i hvordan armeringen i broen påvirkes av ulike typer tog. Vekten av toget kan man finne ved å sammenligne tidspunktet i grafen med tidspunkt i Tabell 3.

Informasjon om aksellaster på enkelttog er mottatt fra Bjørn Gunnar Larsen hos BaneNOR.

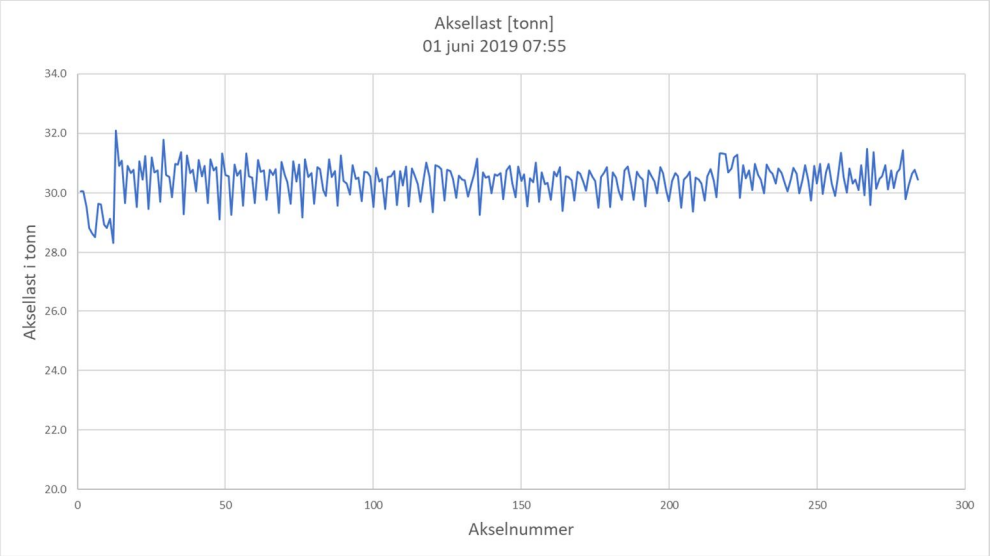
Man kan tydelig se at fasongen på tøyningene speiler aksellasten. Dette er spesielt tydelig for malmtogene med tomme vogner.

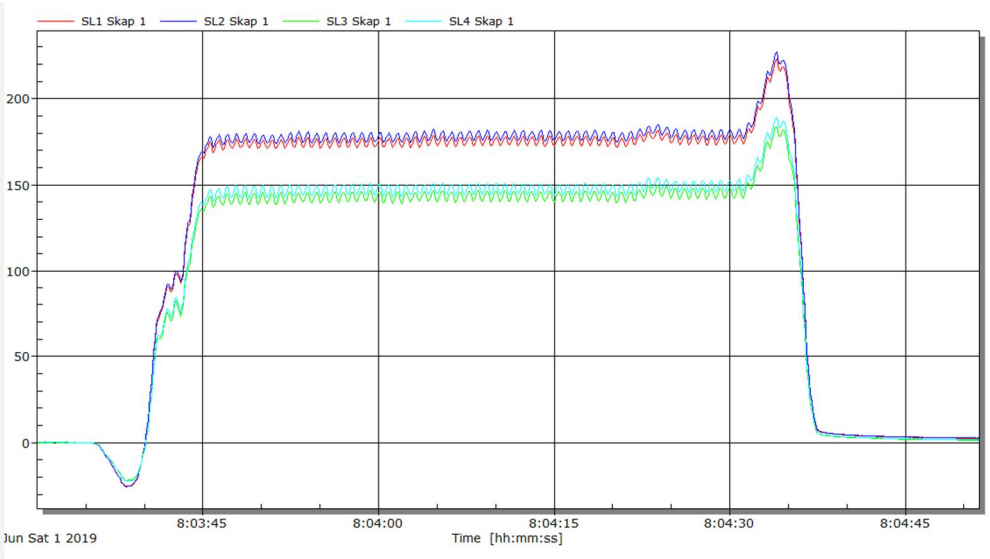
Det er ikke noe spesielt å bemerke når det gjelder tøyningsbildet for testtogene. Det ser ut som for de andre malmtogene, med noe høyere tøyningsverdier.

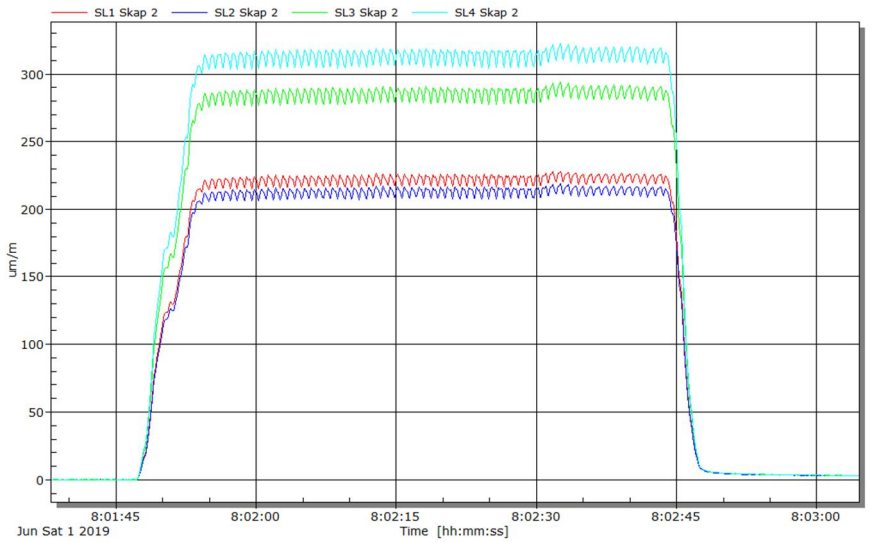
						Snitt utslag	
		Tonn sum	Tonn snitt	Tonn max		Bru 1 um/m	Bru 2 um/m
	1/6/2019 07:55	8638	30	32		266	205
	25/6/2019 14:58	8627	30	32		267	210
	28/7/2019 10:58	8756	31	34		286	201
	31/7/2019 18:52	8679	31	34		285	208
	5/8/2019 19:11	8771	31	32		282	211
	15/8/2019 20:02	8738	31	32		285	215
	17/8/2019 11:02	8444	31	32		280	208
	29/9/2019 16:27	8163	30	32		269	202
Før	1/6/2019 07:03	1899	7	31		148	127
	25/6/2019 14:48	973	7	23		69	68
	28/7/2019 10:20	1477	14	22		97	73
	31/7/2019 18:12	8027	28	30		257	188
	2/8/2019 11:35	296	15	21		58	65
	5/8/2019 18:25	1009	7	22		76	75
	17/8/2019 09:36	7982	28	30		259	192
	29/9/2019 15:58	1903	7	31		147	121
Etter	1/6/2019 09:58	8154	29	30		242	188
	25/6/2019 15:21	1902	7	31		146	125
	28/7/2019 11:13	7963	28	30		254	176
	31/7/2019 19:57	8181	29	32		265	196
	5/8/2019 19:25	296	15	20		58	65
	15/8/2019 21:29	940	14	22		61	67
	17/8/2019 11:43	4347	29	32		261	208
	29/9/2019 17:56	1904	7	31		148	121

Tabell 3 Sammenligning mellom toglaster og tøyning i armering

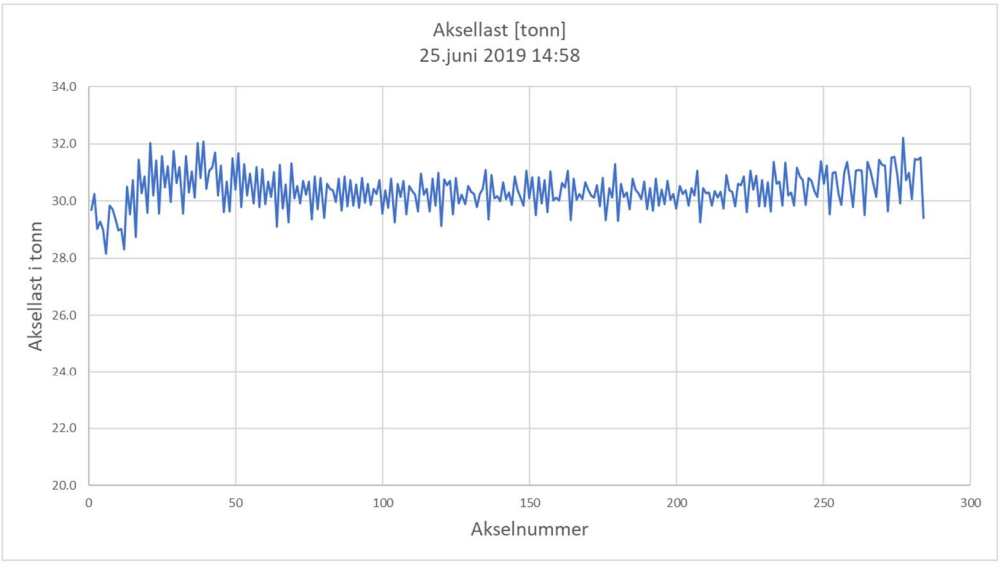
Testtog, 1. juni 2019, 07:55
Først ser vi lokomotivet med en noe lavere aksellast og deretter kommer malmvognene. Merk den taggete profilen som viser variasjon i aksellastene og på målingene fra strekklappene.

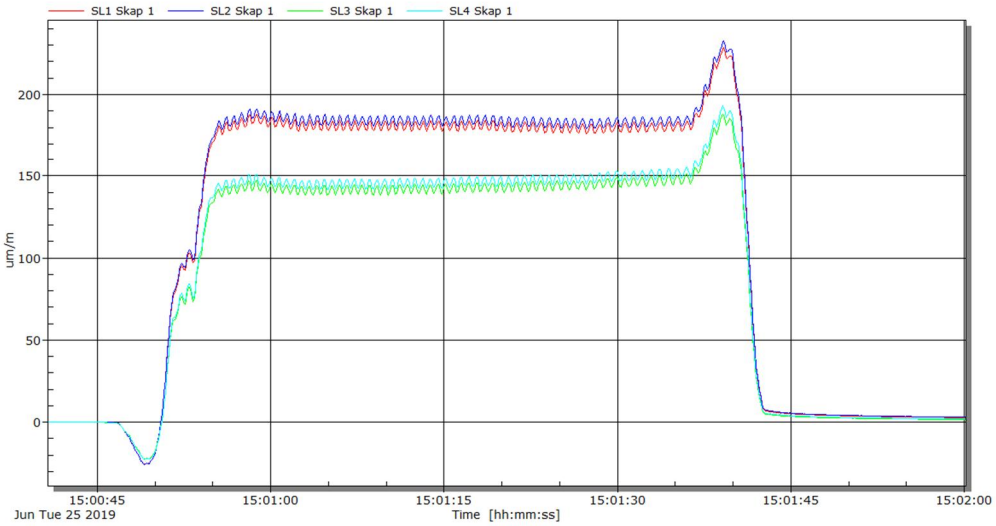


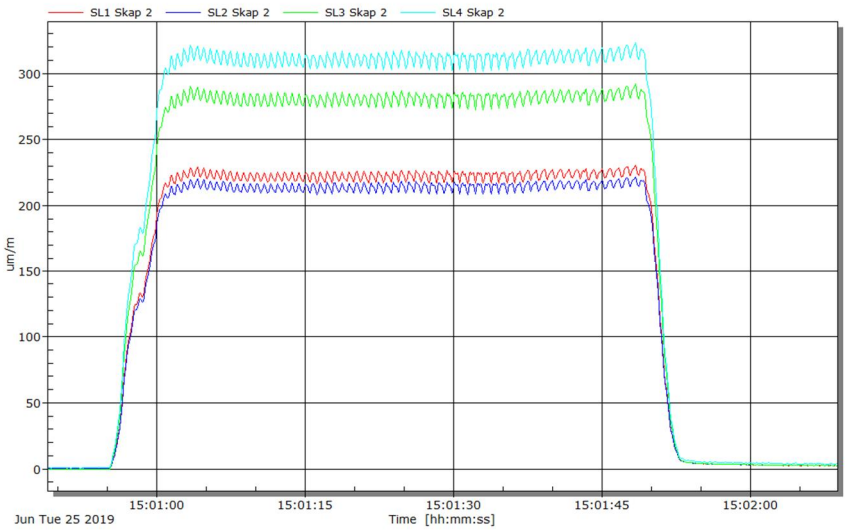




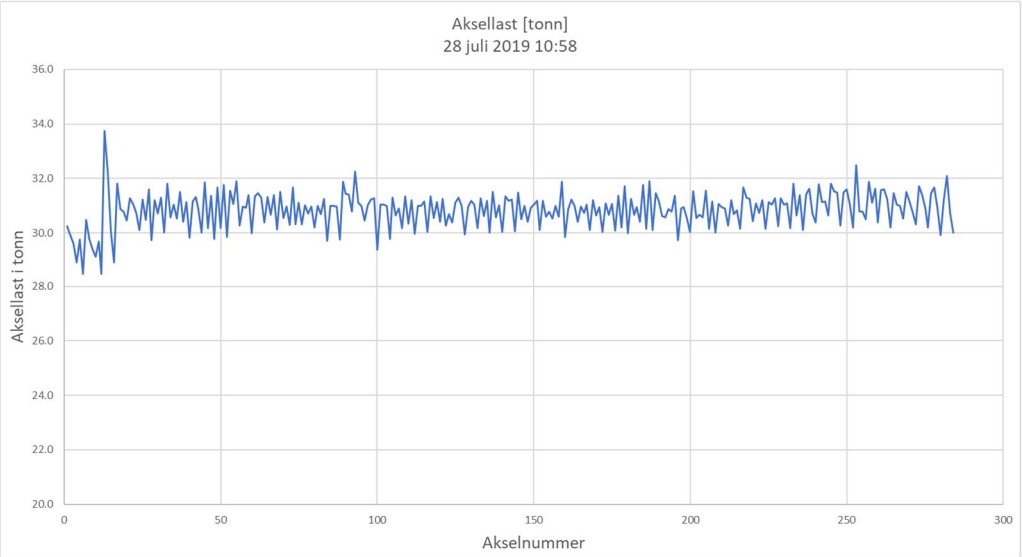
Testtog, 25. juni 2019, 14:58
Først ser vi lokomotivet med en noe lavere aksellast og deretter resten av malmtoget.

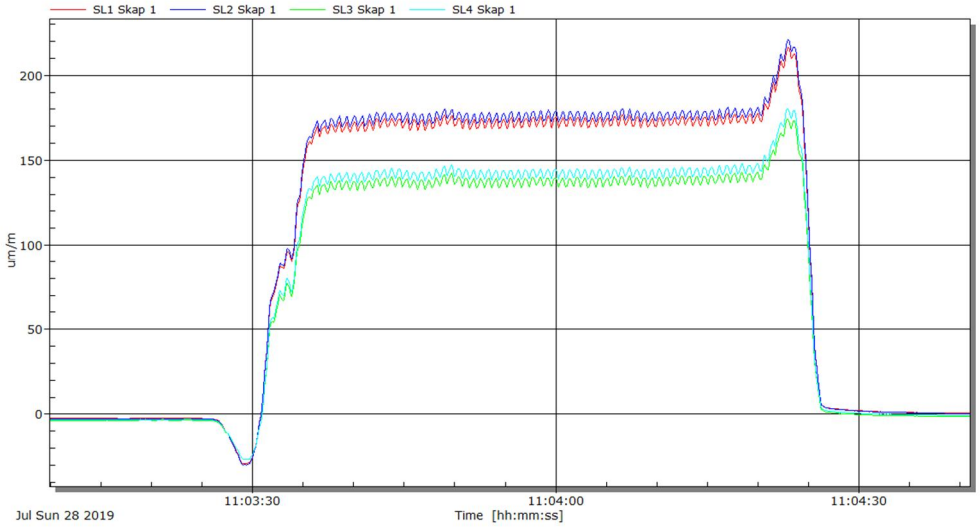


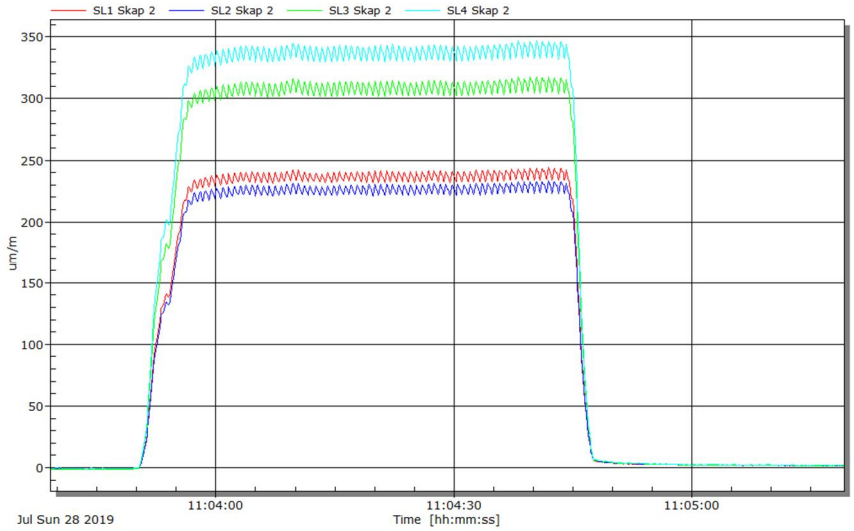




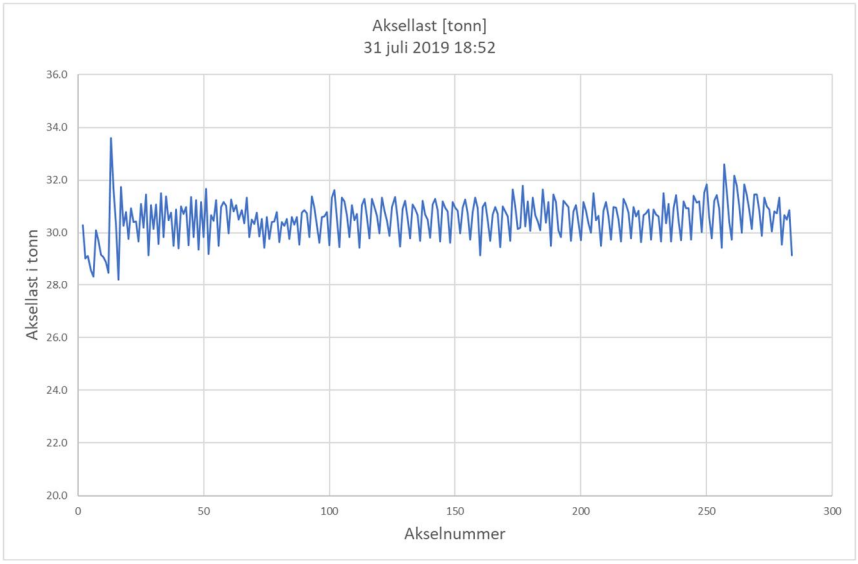
Testtog, 28. juli 2019, 10:58
Først ser vi lokomotivet med en noe lavere aksellast og deretter resten av malmtoget. Merk akselen på nesten 34 tonn.

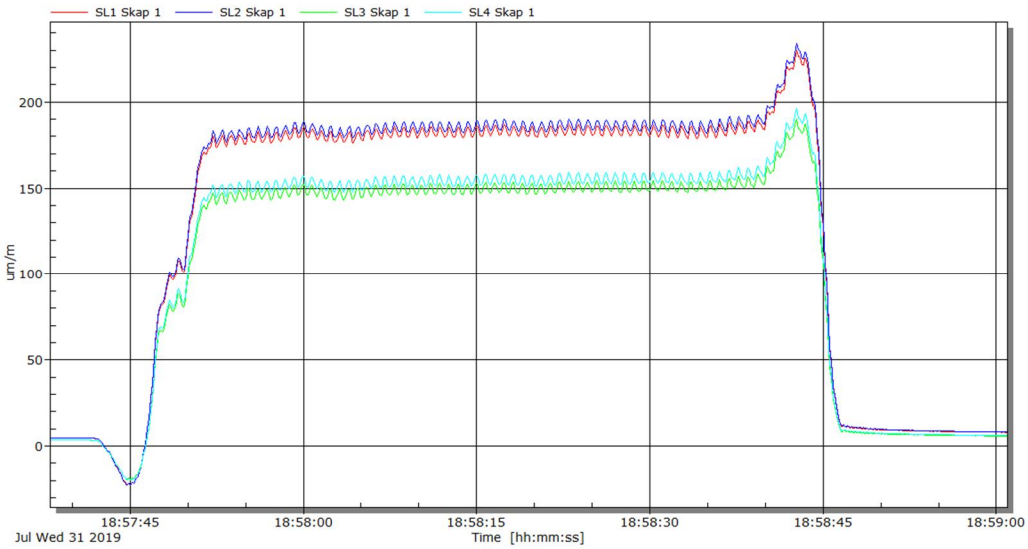


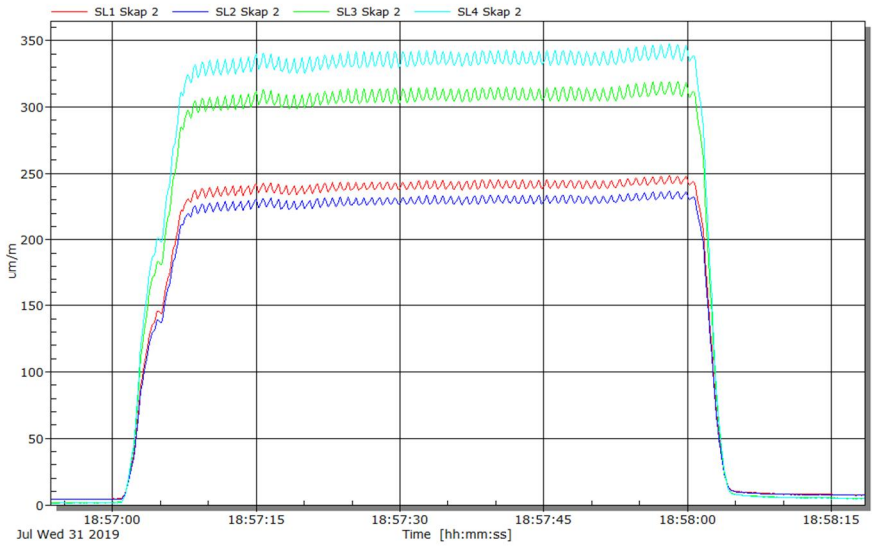




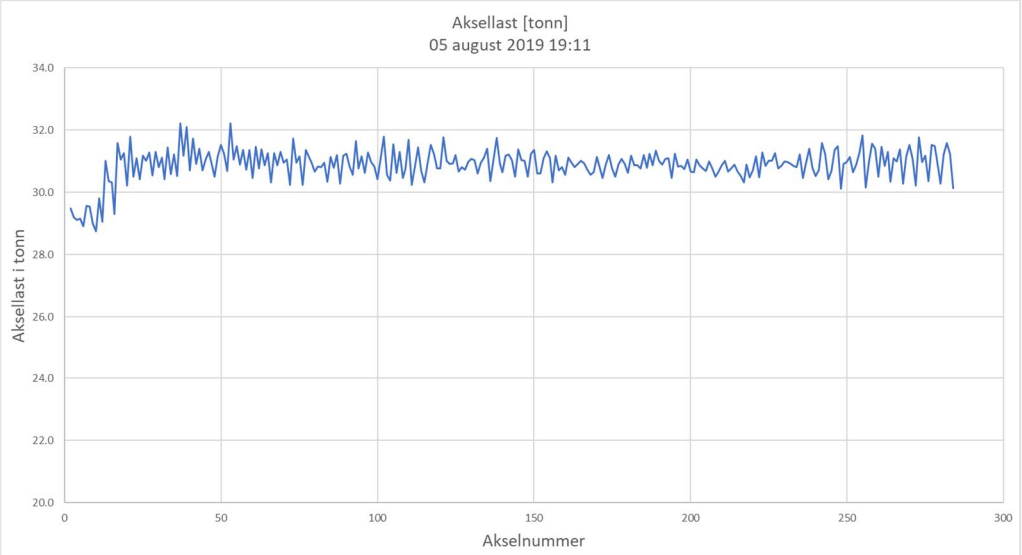
Testtog, 31. juli 2019, 18:52
Først ser vi lokomotivet med en noe lavere aksellast og deretter resten av malmtoget. Merk akselen på nesten 34 tonn.

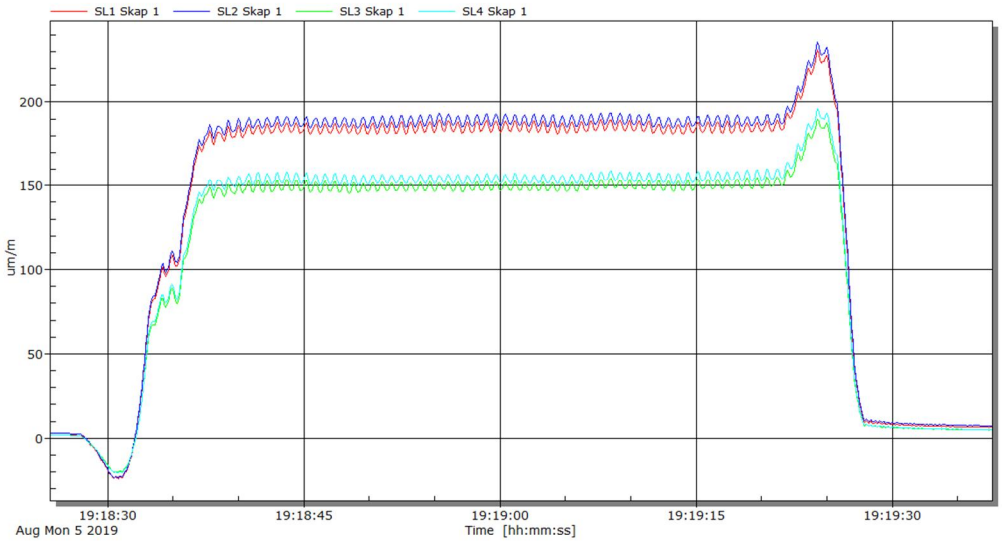


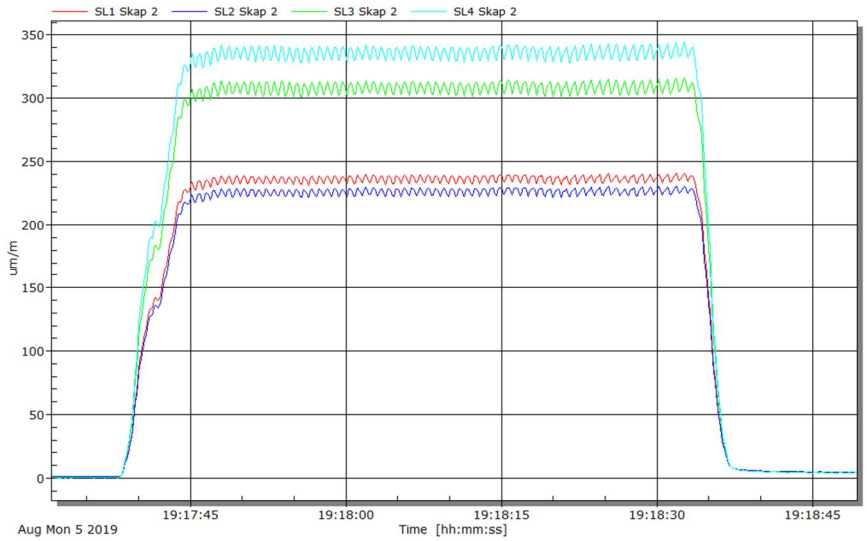




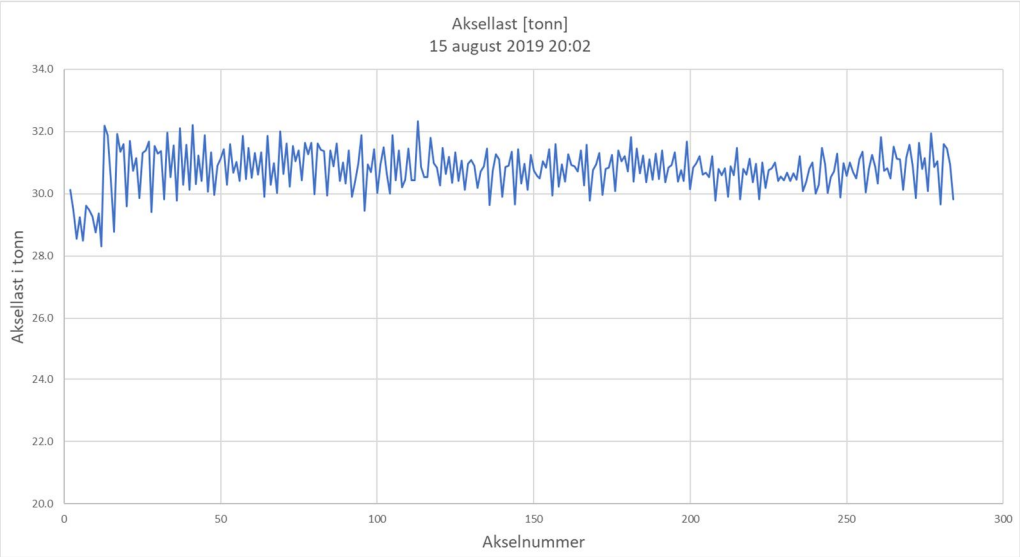
Testtog, 5. august 2019, 19:11
Først ser vi lokomotivet med en noe lavere aksellast og deretter resten av malmtoget.

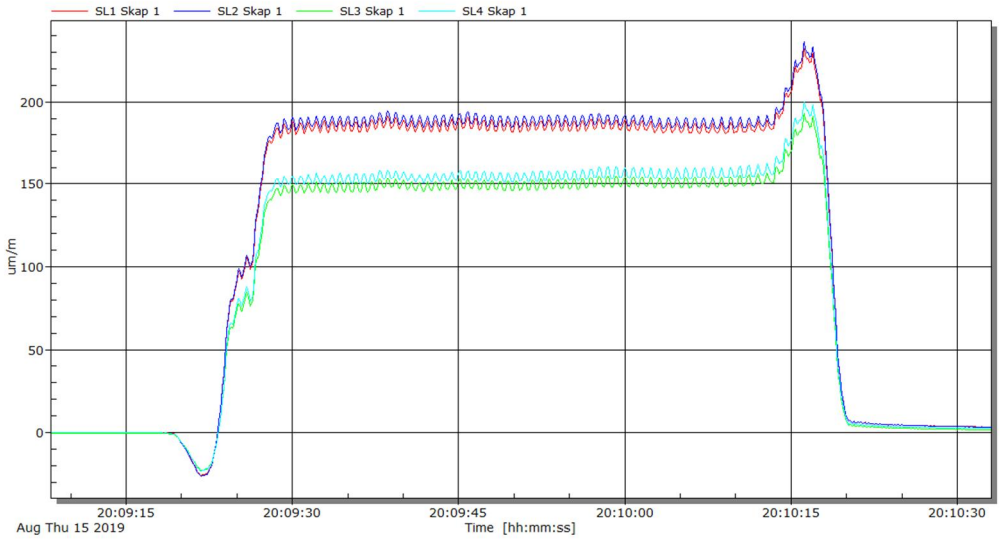


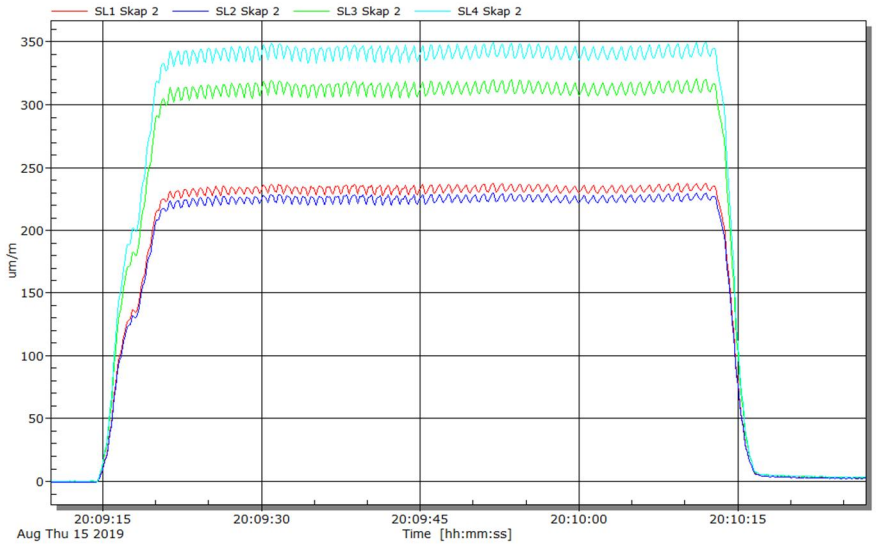




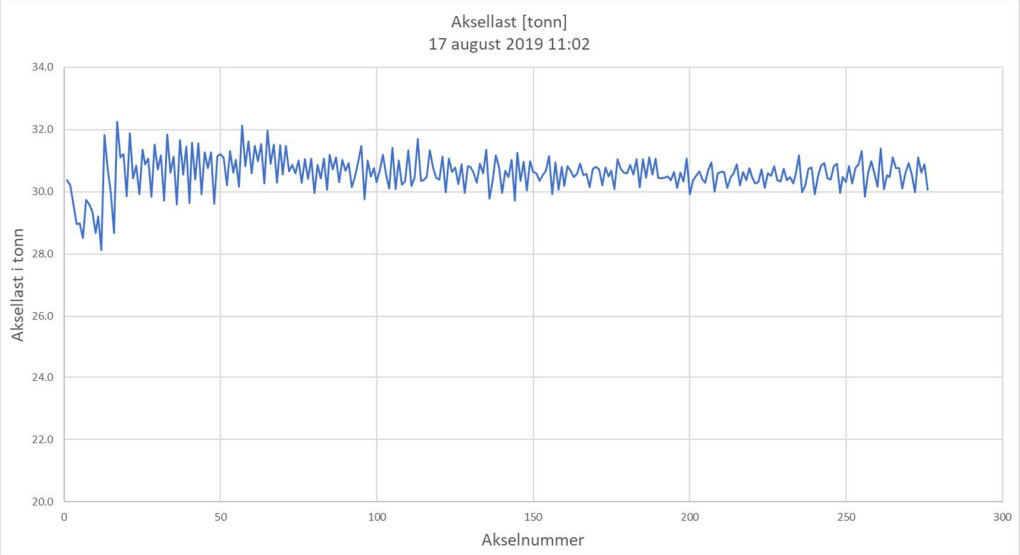
Testtog, 15. august 2019, 20:02
Først ser vi lokomotivet med en noe lavere aksellast og deretter resten av malmtoget.

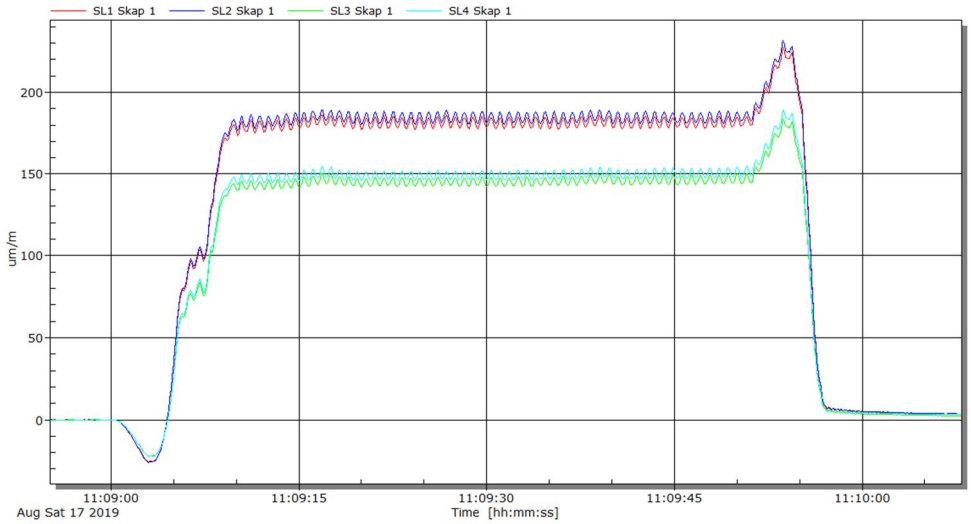


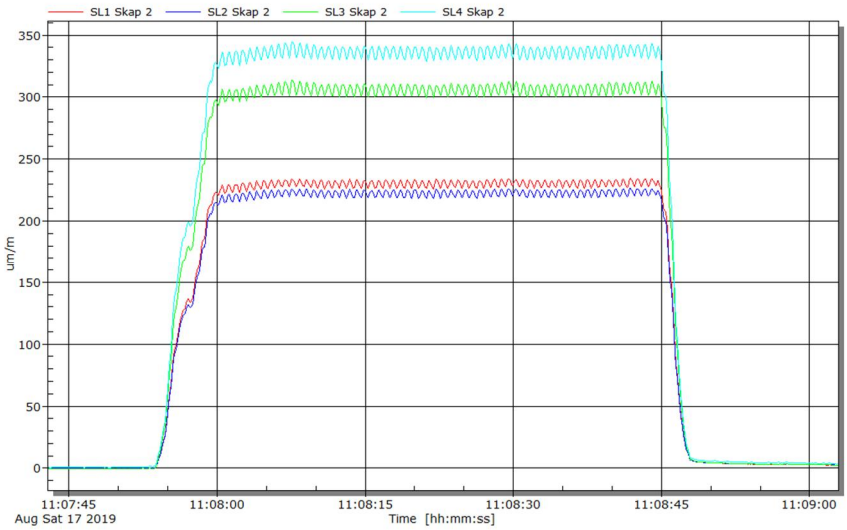




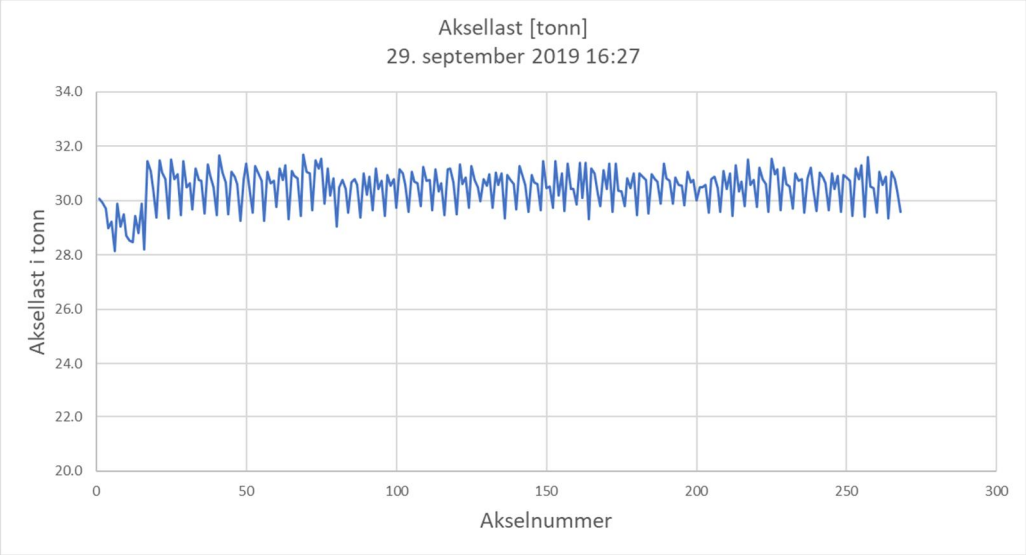
Testtog, 17. august 2019, 11:02
Først ser vi lokomotivet med en noe lavere aksellast og deretter resten av malmtoget.

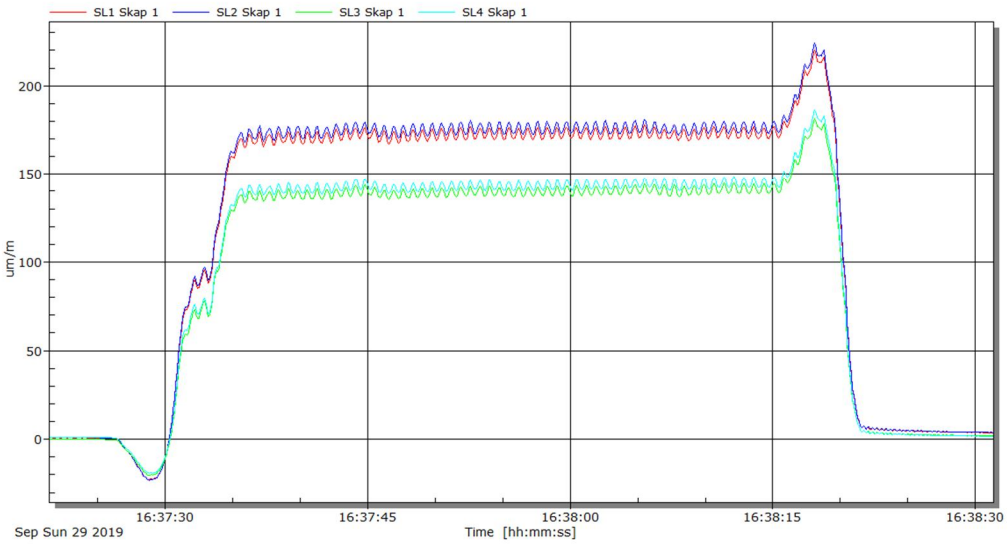


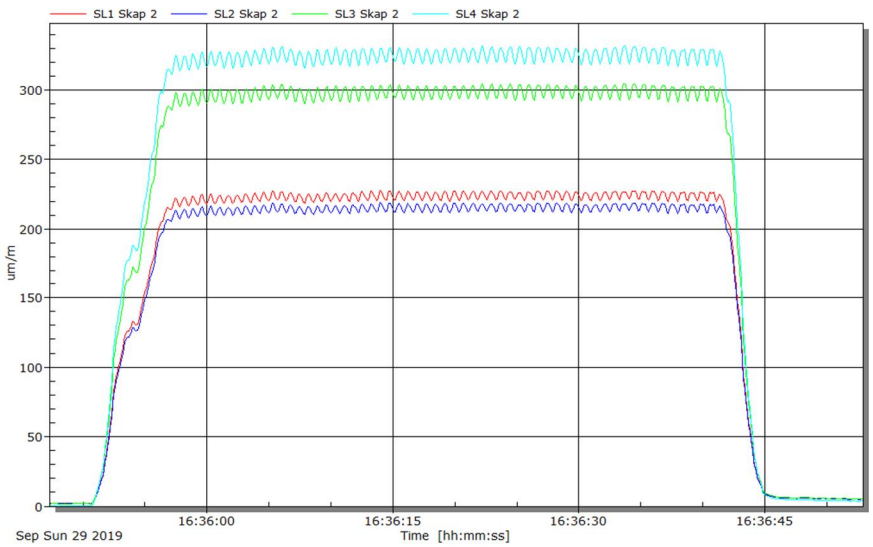




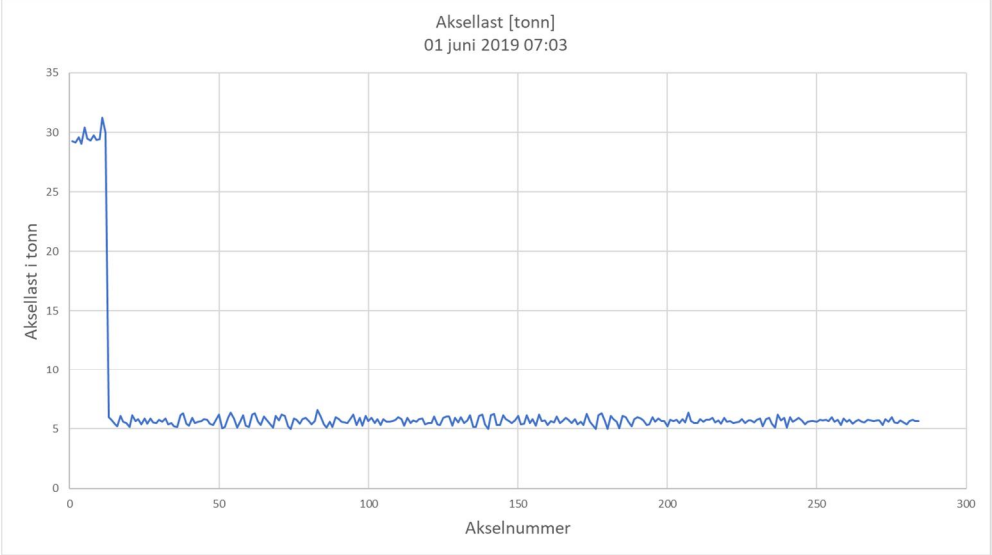
Testtog, 29. september 2019, 16:27
Først ser vi lokomotivet med en noe lavere aksellast og deretter resten av malmtoget.

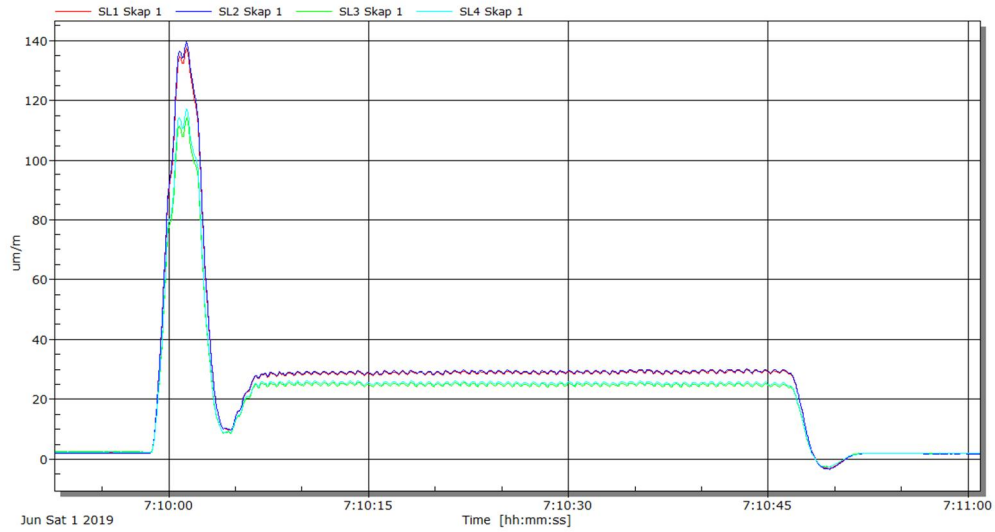


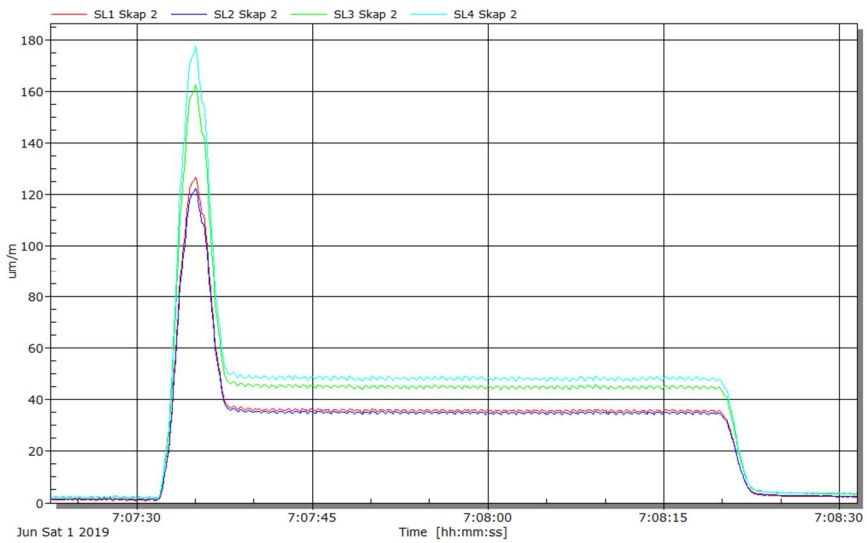




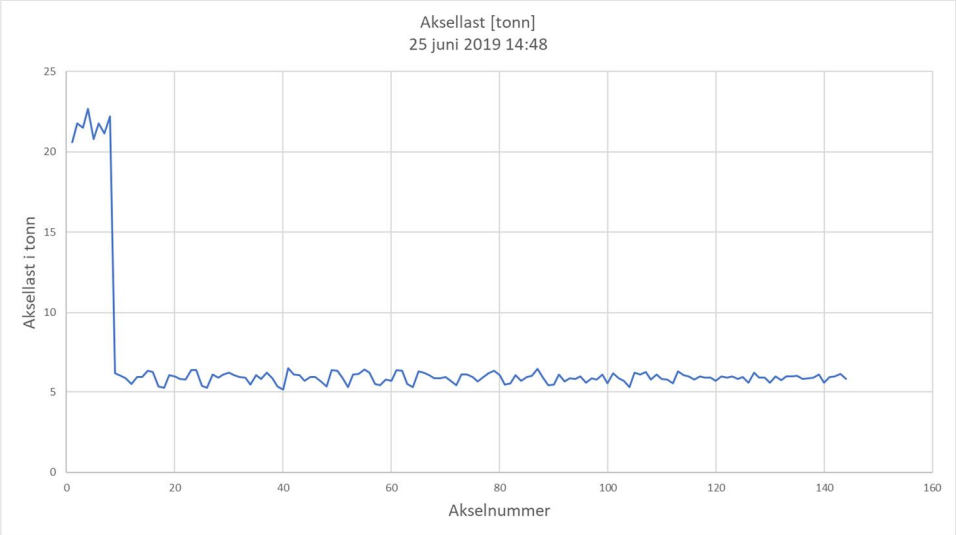
Tomt malmtog, 1. juni 2019, 07:03
Først ser vi lokomotivet med aksellast på ca. 30 tonn og deretter resten av det tomme malmtoget med aksellaster på omtrent 5 tonn. Det viser en tydelig sammenheng med lavere tøyningsverdier i strekklappene.

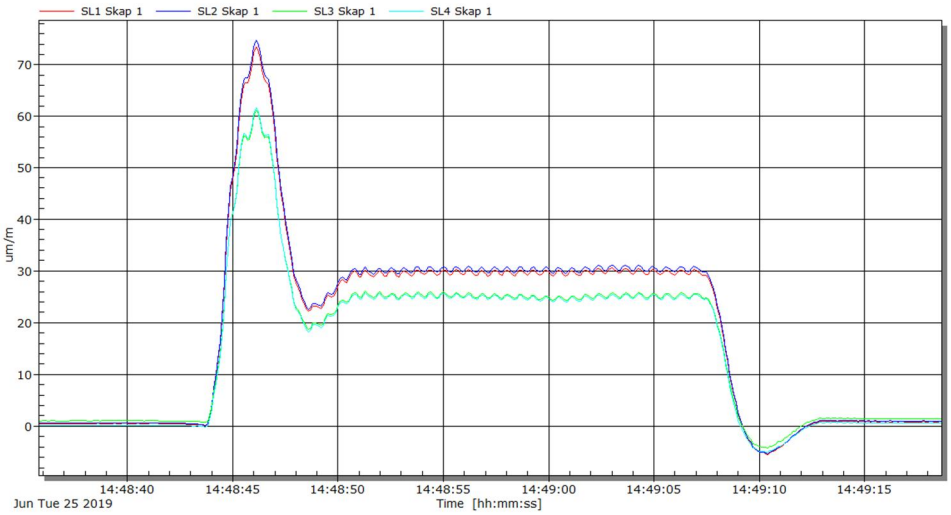


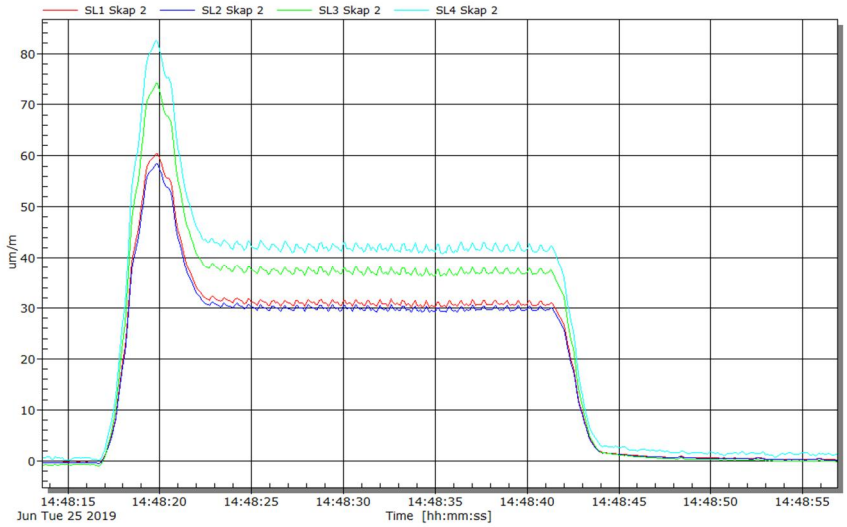




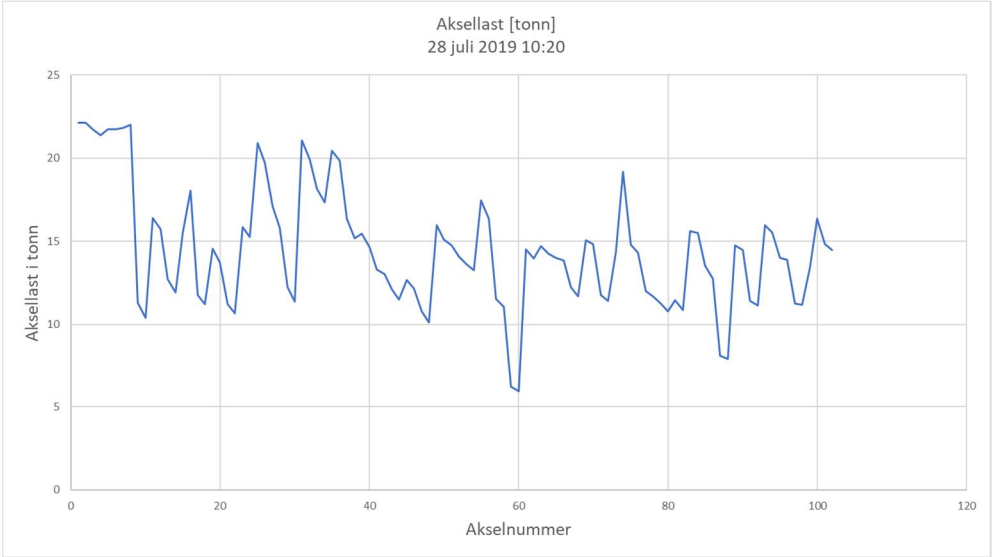
Tomt malmtog, 25. juni 2019, 14:48
Først ser vi lokomotivet med aksellast på litt over 20 tonn og deretter resten av det tomme malmtoget med aksellaster på omtrent 5 tonn. Det er tydelig at den lavere lasten gir lavere utslag på strekklappene. Det er færre aksler (144) og lavere last fra lokomotivet.

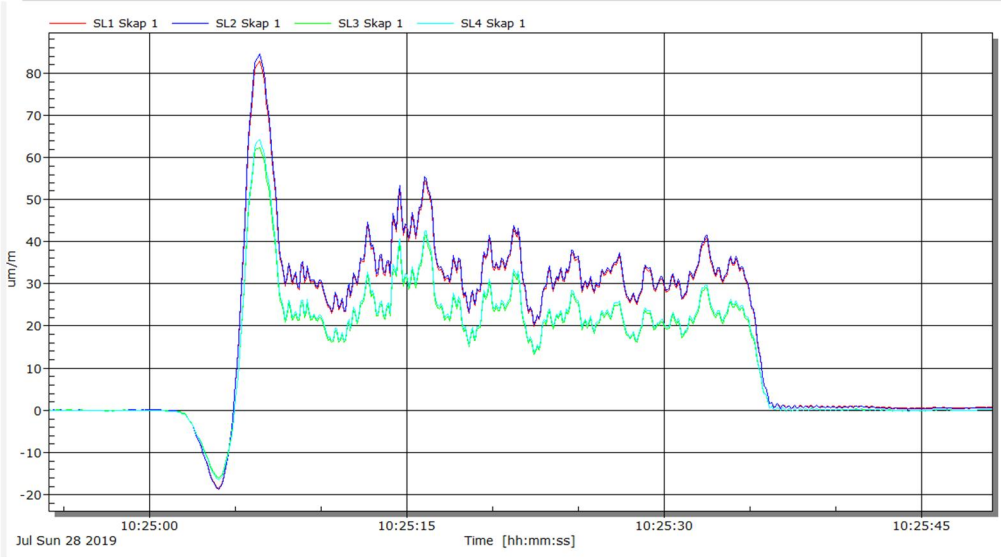


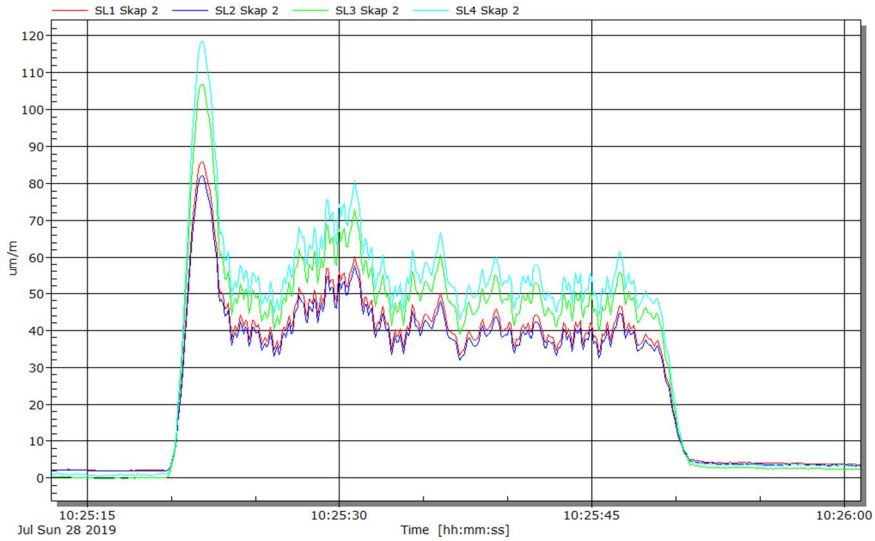




Tog, 28. juli 2019, 10:20
Først ser vi lokomotivet med aksellast på ca. 22 tonn og deretter resten av toget med aksellaster som varier mellom 5 og 20 tonn. Denne variasjonen er gjenspeilet i tøyningene.







4. VIBRASJONSMÅLING PÅ BRUBJELKER

4.1 Innledning

Rambøll har i måleperioden målt vibrasjoner på brubjelkene. Sensorene er plassert på samme sted som tøyningsmålerne til HBM, dvs i midtspenn på Bru 1 over Norddalen ved km 35,579 og i 1/3-punktet i spenn 1 (sett fra Katterat mot Søsterbekk) på Bru 2 over Norddalen ved km 35,989.

Instrumentene som er benyttet er av typen AVA Trace M80 med triaksiell sensor. Det er målt med 2 instrumenter/sensorer på hver bru for å ha en back-up i tilfelle et instrument sluttet å fungere. Instrumentene har vært koblet opp med el-drift fra nettet, med batterier som back-up.

Instrumentene logger vibrasjoner som tas opp av sensorene, og de sender resultatene til vår database, VipNordic, via GSM/GPRS sendere som sitter i instrumentet. Slik har brukere kunnet verifisere kontinuerlige måleresultater gjennom hele måleperioden, likedan kunnet lese tilstanden til hvert enkelt instrument.

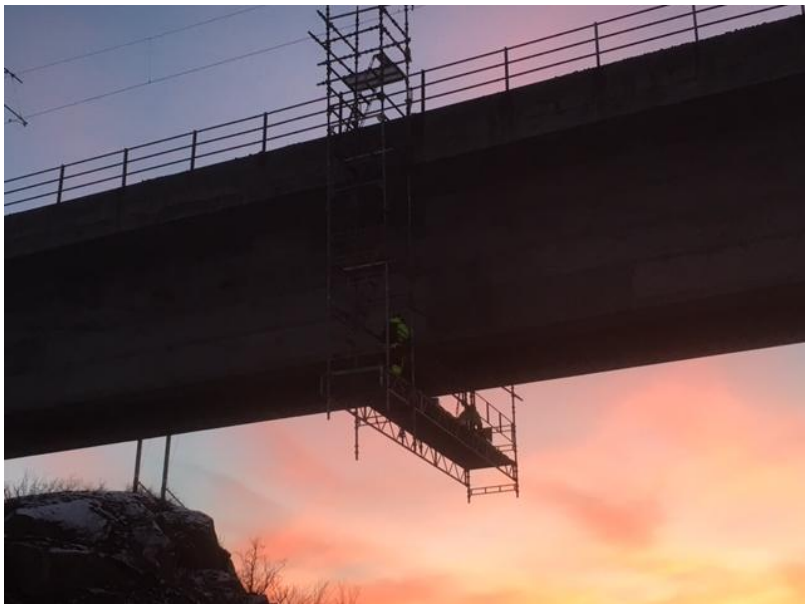
MÅLEPUNKTER

LAG RAPPORT | KART

NAVN	ADRESSE	DEL-PROSJEKT	PLASSERING	BESKRIVELSE	GRUNNFORHOLD	GRENSE	KJEDE	OPPMONTERING	SISTE LEVERTE DATA	DD	BATTERI	STANDARD
V1	Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen		Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen		Ikke valgt		A-4567:G-6272	2016-11-08 16:15:46	2020-02-28 13:14:50	✖	5,528	blasting.no
V2	Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen		Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen		Ikke valgt		A-4552:G-6282	2016-11-08 16:01:49	2020-02-28 13:14:50	✖	5,589	blasting.no
V3	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen		Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen		Ikke valgt		A-3799:G-6292	2016-11-08 16:03:31	2020-02-28 13:15:15	✖	3,105	blasting.no
V4	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen		Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen		Ikke valgt		A-4026:G-6302	2016-11-08 16:05:08	2020-02-28 13:15:14	✖	5,65	blasting.no

Tabell 4: Instrumentoversikt med instrumentnummer, data for montering, siste kommunikasjon, batteristatus m.m.

Montasjen og senere vedlikehold skjedde via hengestillaser som ble montert av Pilot Stillasmontasje, et under hver bru (se Figur 53).



Figur 53: Stillaset montert på Bru 2 (nærmest Søsterbekk holdeplass)

4.2 Registrering av svingehastighet

Det ble montert geofoner som registrerte toppverdier for svingehastighet i 2 plan, vertikalplanet og 2 retninger i horisontalplanet. Såkalte triaksiale sensorer. Disse registrerer i vertikalplanet (V), i horisontalplanet i bruens lengderetning (L) og i bruens tverretning (T).

Det er viktig å være oppmerksom på forskjellen på de ulike komponentene (V, L, T). Registreringer i vertikalplanet vil måle direkte toppverdi for svingehastighet i målepunktet og frekvens, mens akselerasjon og amplitude er kalkulerte verdier som utføres gjennom programvaren i instrumentet. Det samme gjelder for begge retningene i horisontalplanet, men med individuelle verdier for svingehastighet og frekvens og kalkulasjon av akselerasjon og amplitude med hjelp av individuelle måleresultater for svingehastighet og frekvens i de respektive horisontale retningene L og T.

Forenklet kan vi si at togets tyngde og fart vil påvirke konstruksjonen i vertikalplanet (V), kreftene ved akselerasjon og retardasjon (bremsing) vil påvirke konstruksjonen i lengderetningen med sporet (L) og krefter som påføres i kurver eller ved hjulenes pasning mot skinnegangen vil tas opp i konstruksjonenes tverretning (T). Slik kan vi benytte måleresultatene på en praktisk måte.

Det er en sammenheng mellom svingehastighet, akselerasjon, amplitude og frekvens. Amplituden eller utsvinget som det gjerne kalles, er den dynamiske bevegelsen i et punkt som et resultat av vi påfører konstruksjonen en gitt svingehastighet og frekvens. Denne må ikke forveksles med nedbøyning av en konstruksjon (pilhøyde), men er det dynamiske bidraget som pulserer (positivt og negativt og i 2 plan og 3 retninger, dempes over tid i forhold til materialets stivhet (E-modul).

Så lenge et materiale opptrer elastisk, dvs. ikke påføres varige deformasjoner eller brudd, kan vi ved hjelp av fysikkens lover beregne spenninger i et målepunkt ved hjelp av måleresultatene vi får:

Hooks lov: $\sigma = E \times \xi$

σ = materialspenning (MPa)
E = materialets E-modul (MPa)
ξ = tøningen, benevningsløs ($\xi = \Delta L / L$)

ΔL = amplituden (utsvinget) (m)
L = lengden av materialet i den retning som det gis en tøyning

Det kreves grundig kjennskap til konstruksjonen for at resultatet av slike beregninger skal bli nøyaktige nok. I betongkonstruksjoner må en se E-modulen som et samvirke mellom armering og betong, beregninger må utføres for trykk (kompresjon) og strekk (tøyning).

4.2.1 Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen

Geofonene ble montert på innside av vestre bjelke på hver side av tverrbjelken i midtspenn, ca. 50 cm over underkant bjelke. Geofonene ble koblet til hver sin logger/GSM-sender som ble festet til rekkverket på stillaset (se Figur 54).



Figur 54: Montasje av rystelsessensorer/geofoner under Bru 1.

4.2.2 Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen

Geofonene ble montert innvendig på vestre bjelke, ca. 50 cm fra underkant bjelke 16,7 m fra frontvegg på landkar i akse 1. Geofonene ble koblet til hver sin logger/GSM-sender som ble festet til rekkverket på stillaset (se Figur 55).

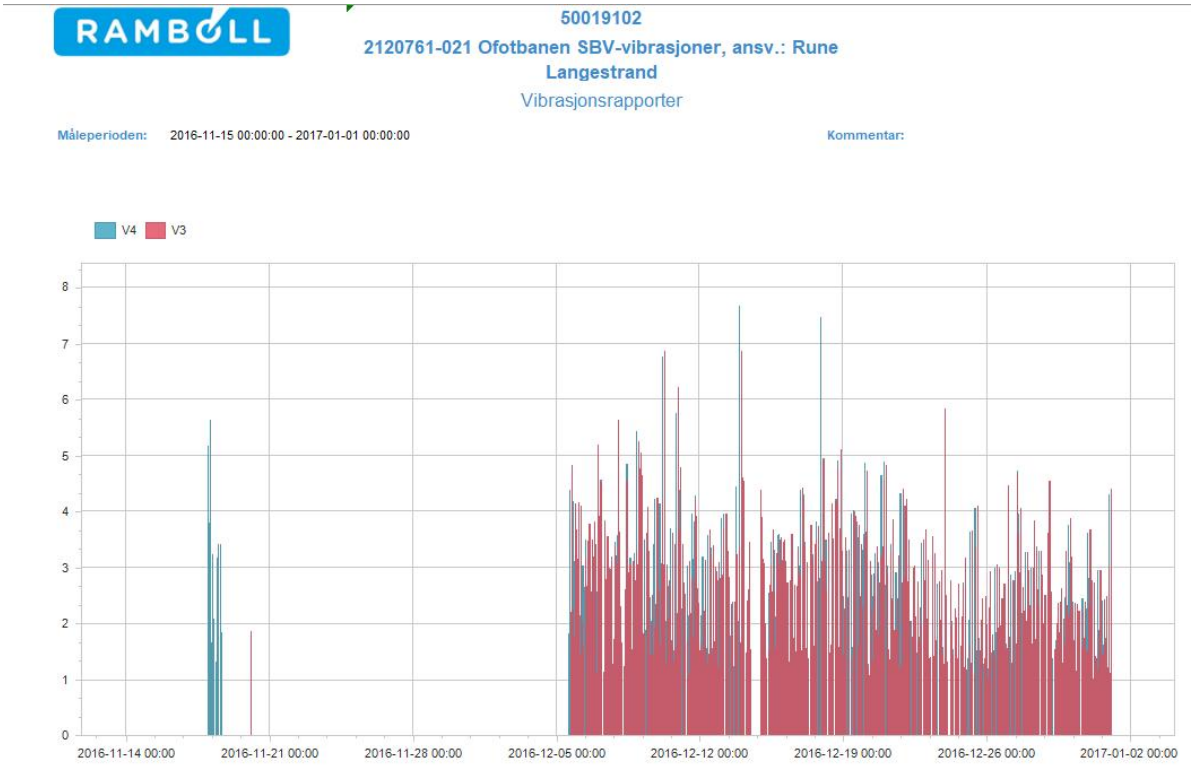


Figur 55: Montasje av rystelsessensorer/geofoner under Bru 2.

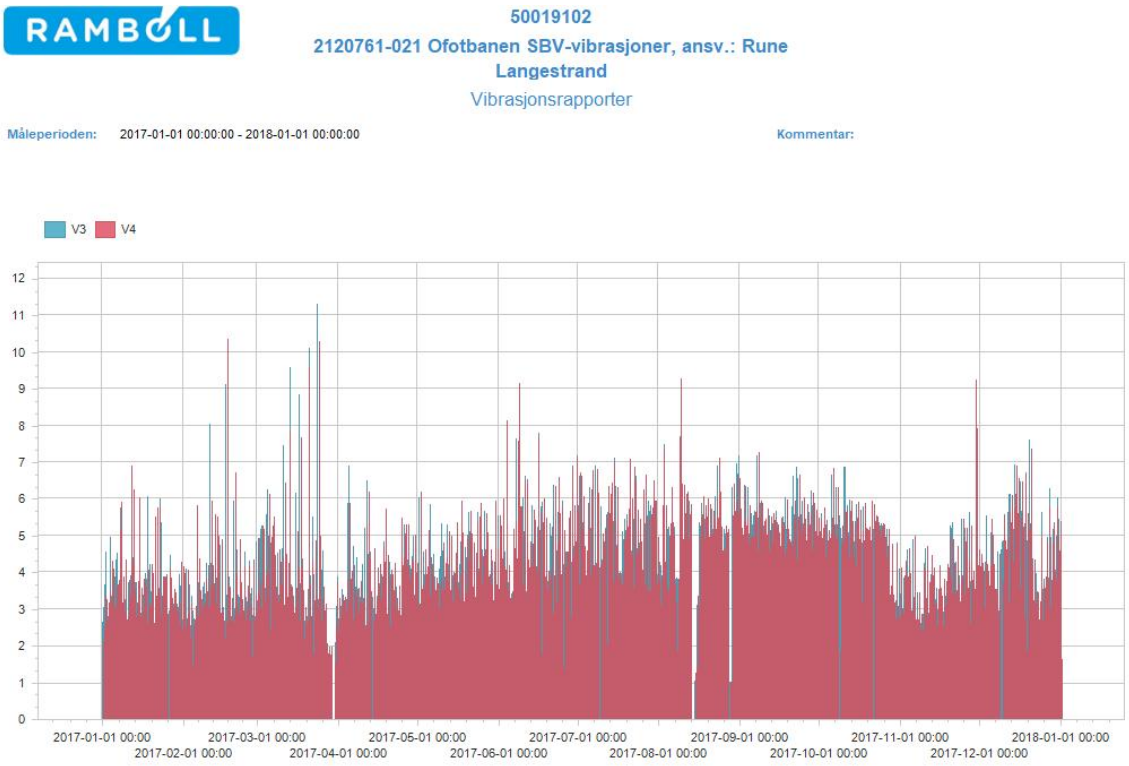
4.3 Toppverdier for svingehastigheter på bruene

Under følger en grafisk presentasjon av toppverdier for svingehastigheter ved togpasseringer på Bru 1 og Bru 2 over Norddalen i perioden 2016 - 2020.

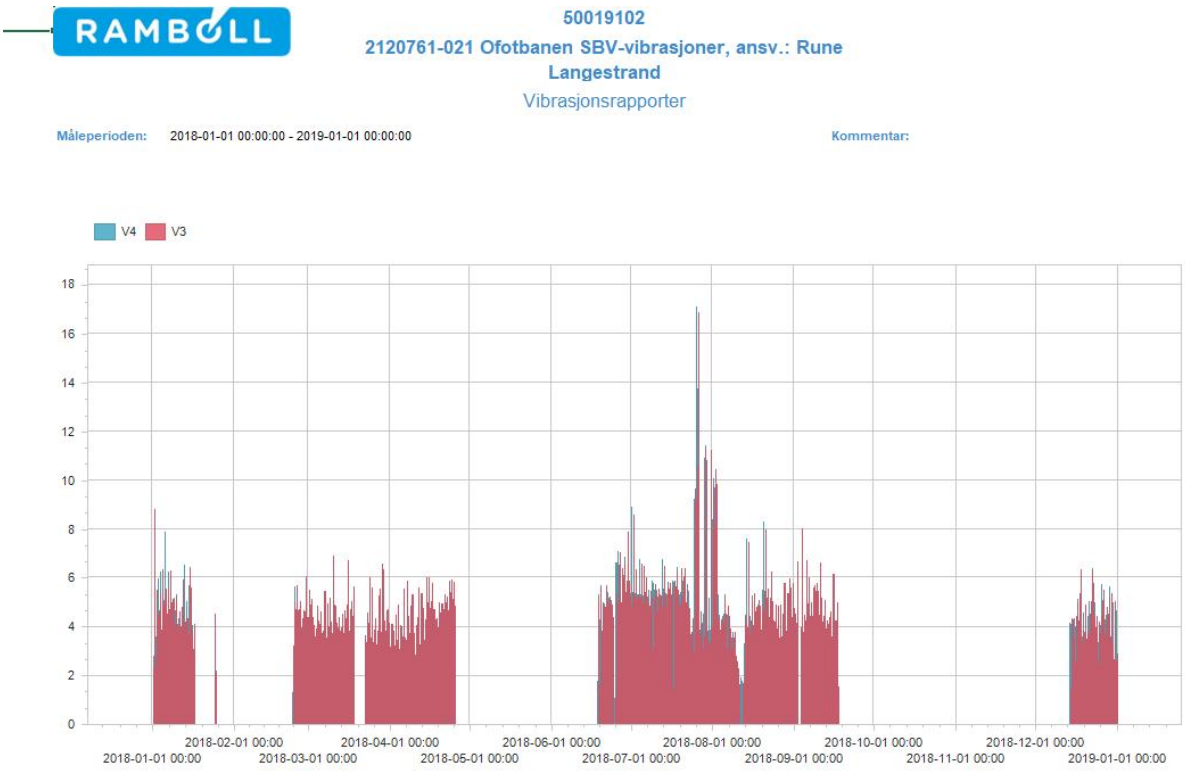
4.3.1 Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen



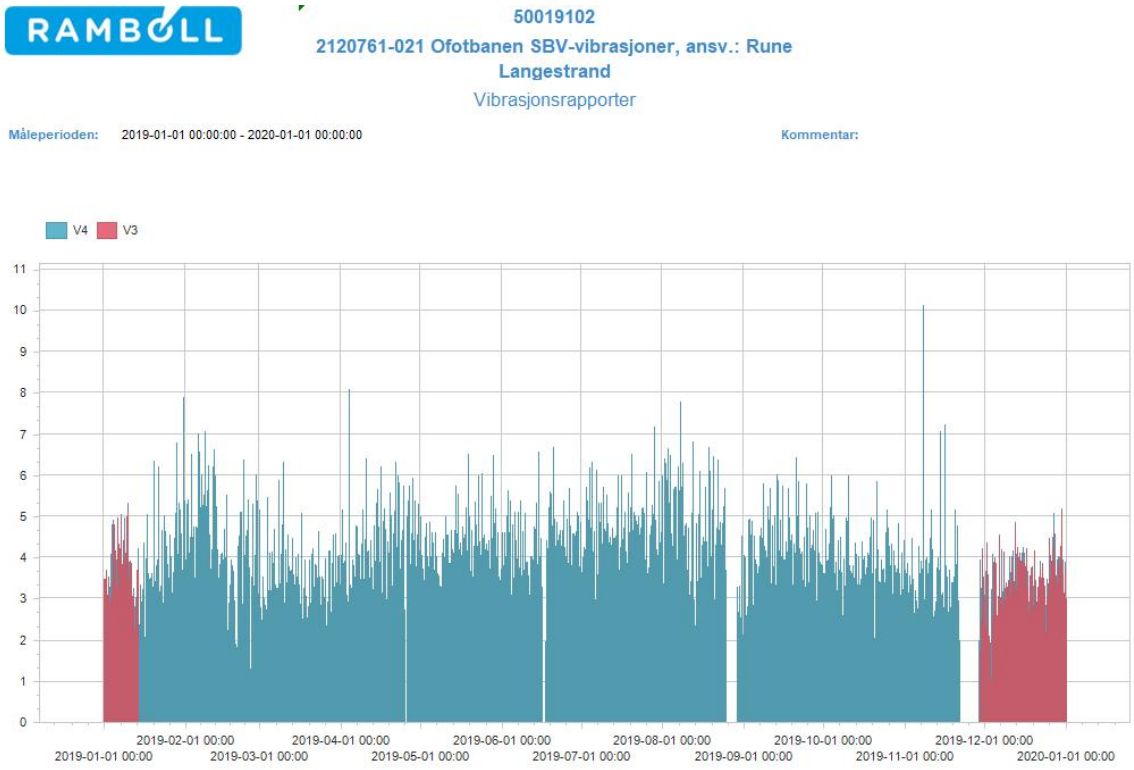
Figur 56: Vibrasjonsmåling på Bru 1 over Norddalen, 2016-11-15 – 2017-01-01



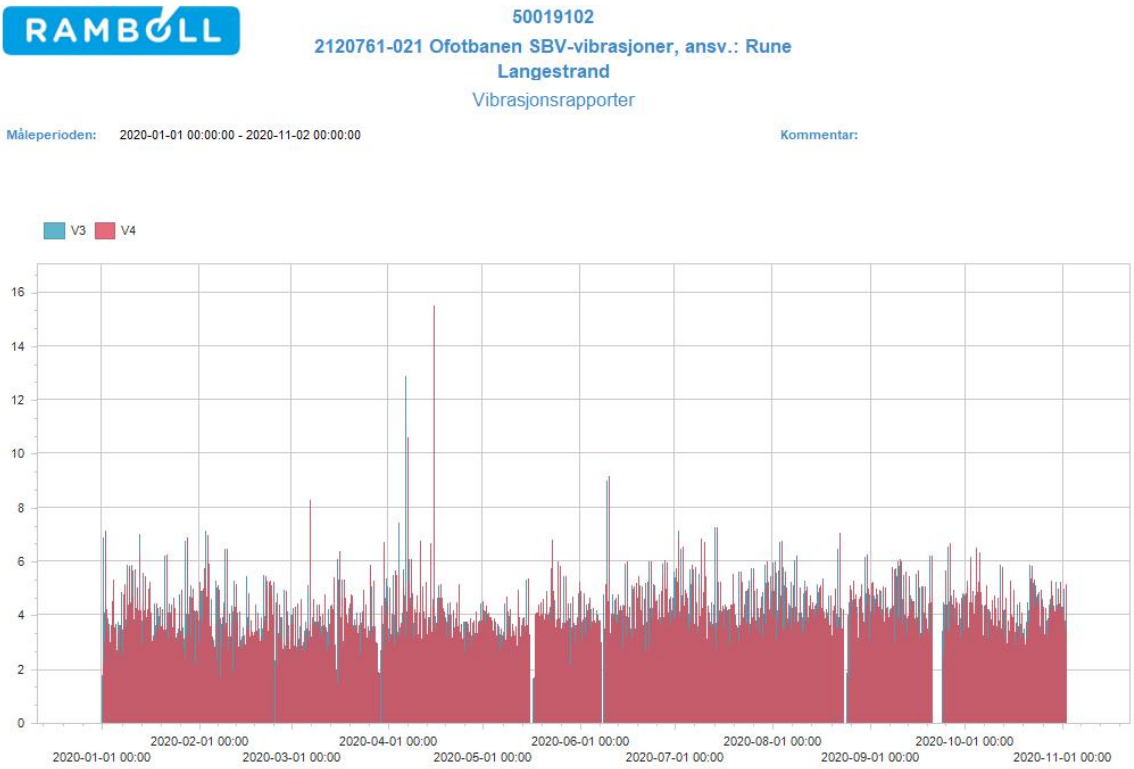
Figur 57: Vibrasjonsmåling på Bru 1 over Norddalen, 2017-01-01 – 2018-01-01



Figur 58: Vibrasjonsmåling på Bru 1 over Norddalen, 2018-01-01 – 2019-01-01

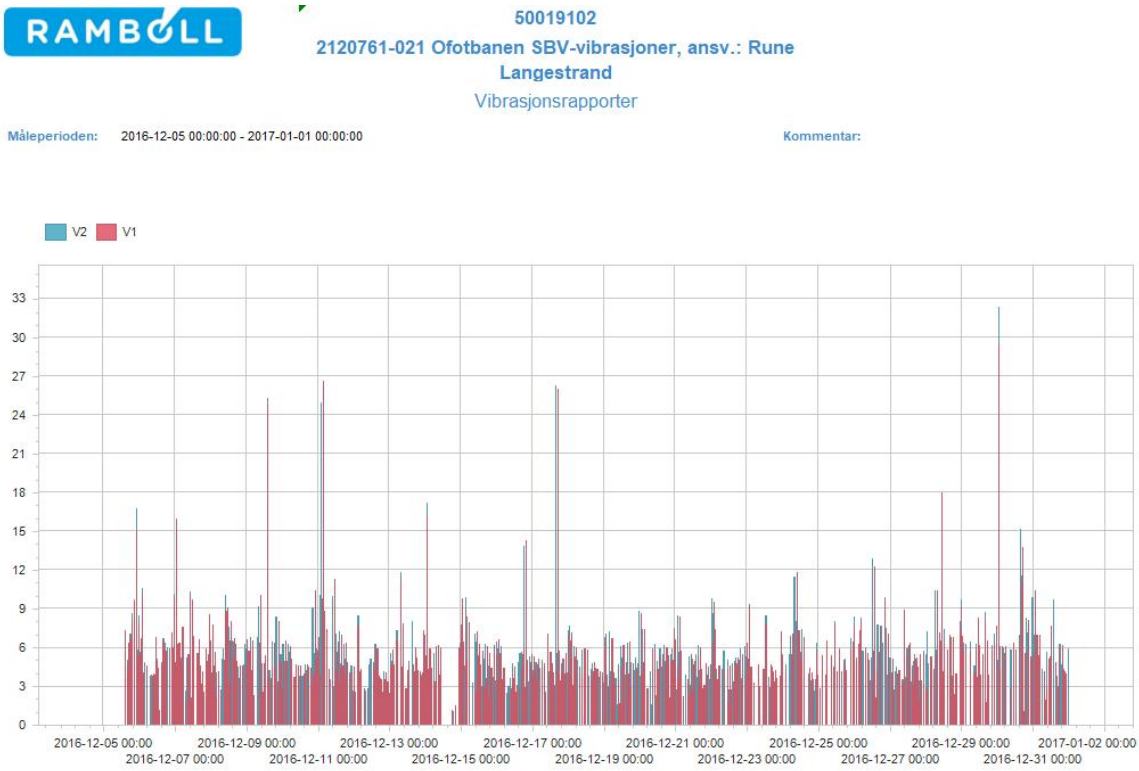


Figur 59: Vibrasjonsmåling på Bru 1 over Norddalen, 2019-01-01 – 2020-01-01

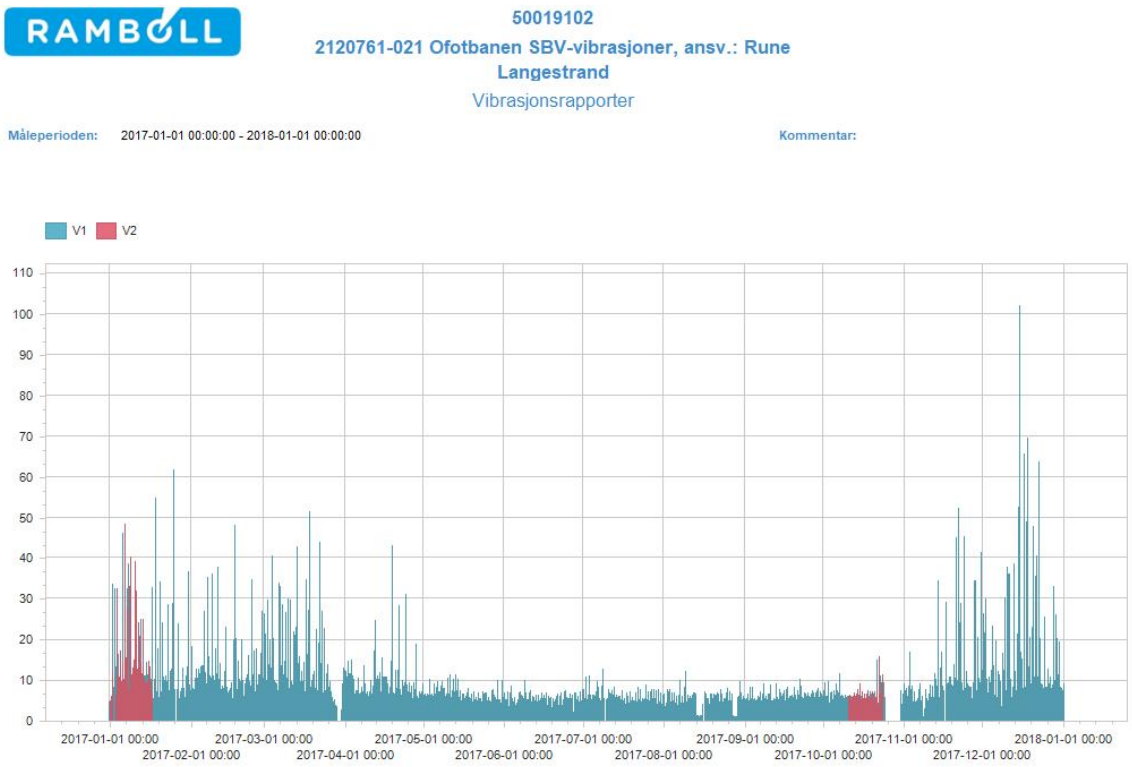


Figur 60: Vibrasjonsmåling på Bru 1 over Norddalen, 2020-01-01 – 2020-11-02

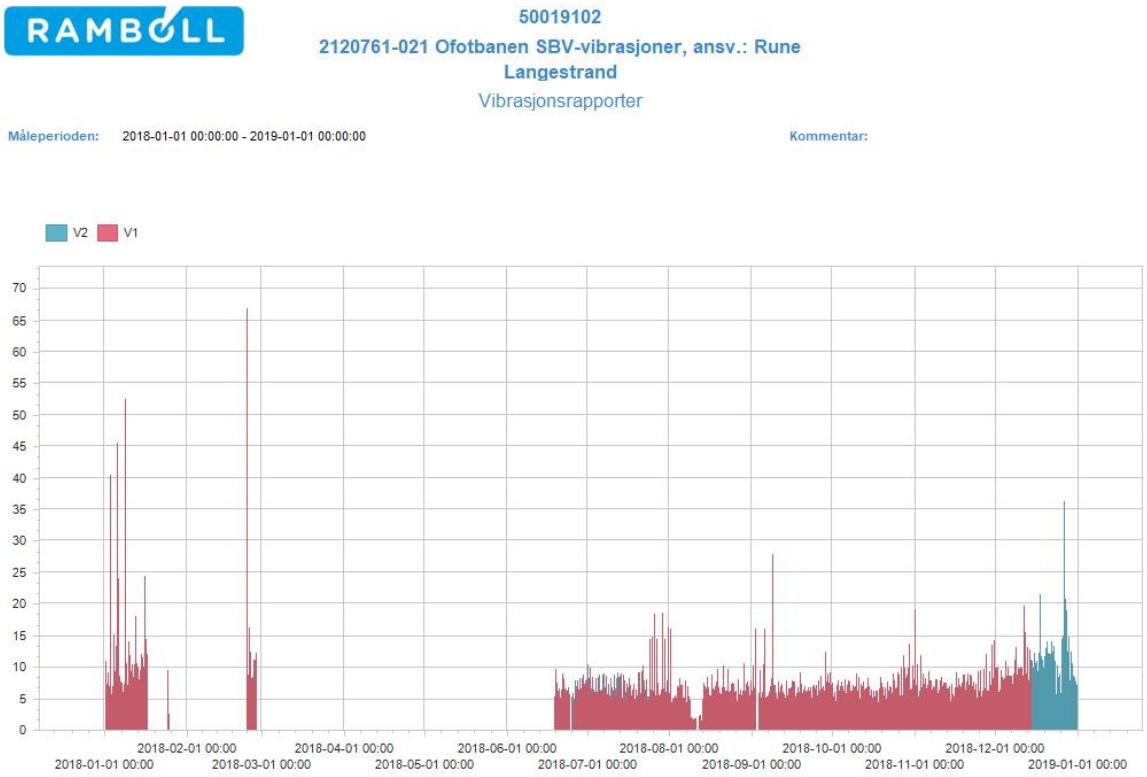
4.3.2 Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen



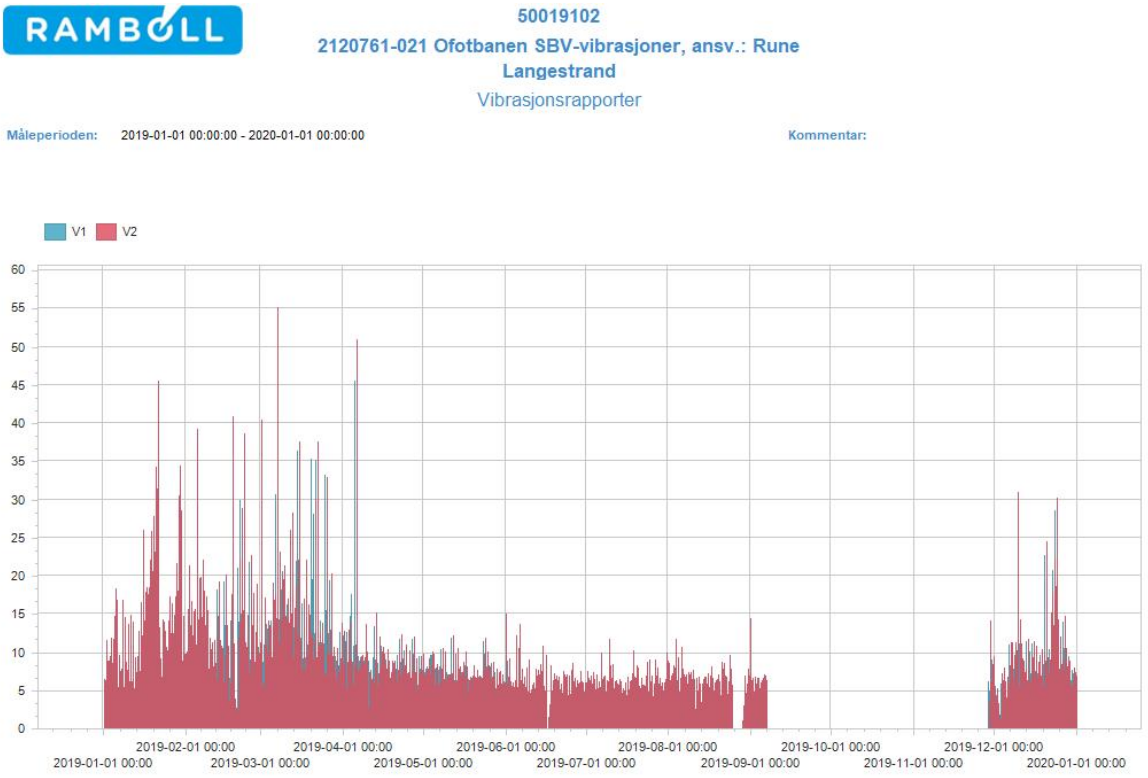
Figur 61: Vibrasjonsmåling på Bru 2 over Norddalen, 2016-12-05 – 2017-01-01



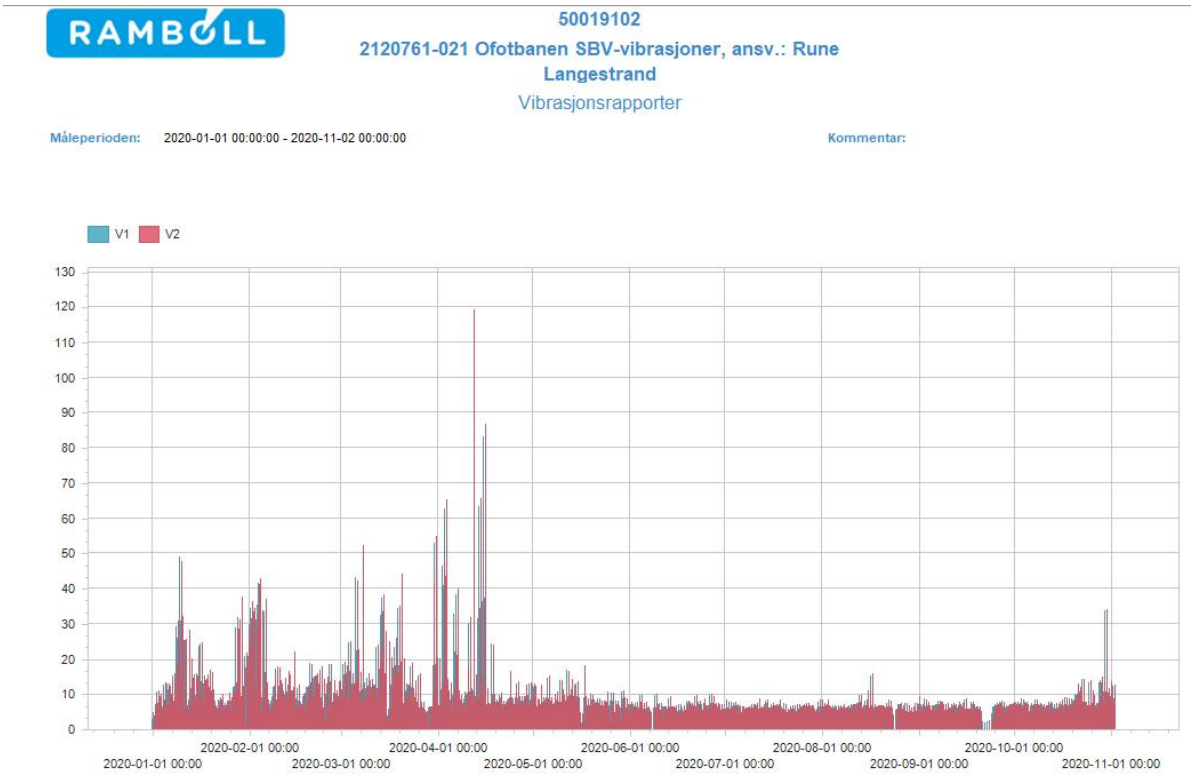
Figur 62: Vibrasjonsmåling på Bru 2 over Norddalen, 2017-01-01 – 2018-01-01



Figur 63: Vibrasjonsmåling på Bru 2 over Norddalen, 2018-01-01 – 2019-01-01



Figur 64: Vibrasjonsmåling på Bru 2 over Norddalen, 2019-01-01 – 2020-01-01



Figur 65: Vibrasjonsmåling på Bru 2 over Norddalen, 2020-01-01 – 2020-11-02

4.4 Kurvediagram av høyeste registrerte verdier

Under er de 5 høyeste registrerte verdiene fra togpasseringer over Norddalsbruene vist.

4.4.1 Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen

KURVEINFORMASJON

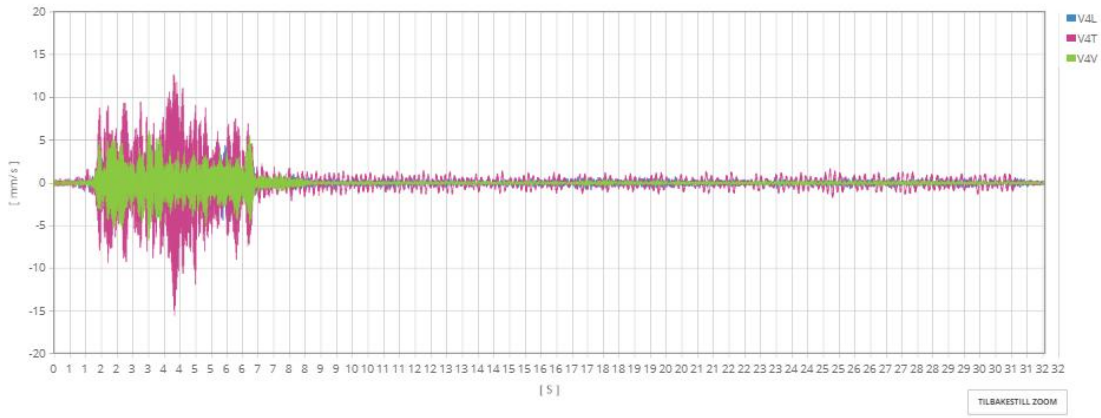
EKSPORTER SOM

Dato	2020-04-15 07:42:56	Instrument	A-4026:1
Prosjekt	50019102	Standard	NS 8141:2001
Målepunkt	V4L ( )		

NAVN	ADRESSE	VERDI	ACC.	FREK.	AMPLITUDE	GRENSE.	AVST.	PROSENT	HENDELSE
V4T	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	15,5 mm/s	6,5 m/s²	54 hz	4,0 um				
V4V	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	6,7 mm/s	3,1 m/s²	46 hz	2,0 um				
V4L	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	5,4 mm/s	3,2 m/s²	77 hz	41,0 um				

FILTER

HVORDAN ZOOMER JEG?



Figur 66: Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen 2020-04-15 07:42:56

KURVEINFORMASJON

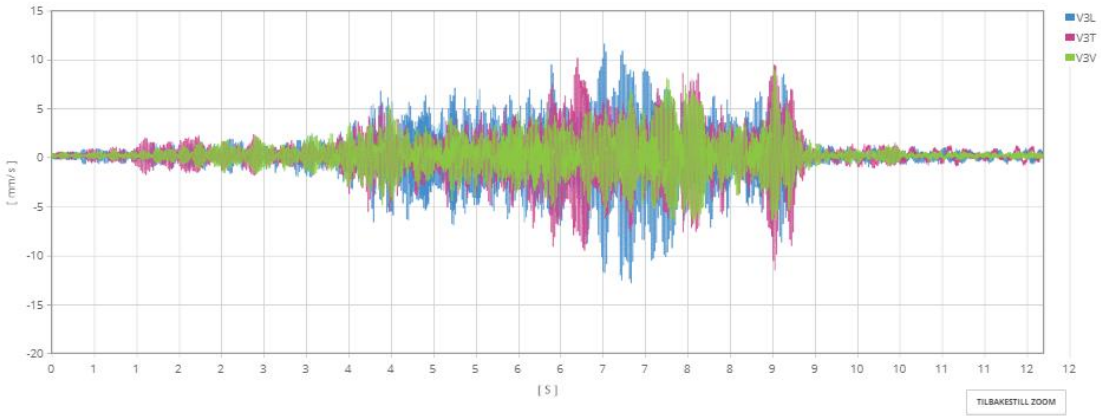
EKSPORTER SOM

Dato	2020-04-06 16:15:30	Instrument	A-3799:1
Prosjekt	50019102	Standard	NS 8141:2001
Målepunkt	V3L ( )		

NAVN	ADRESSE	VERDI	ACC.	FREK.	AMPLITUDE	GRENSE.	AVST.	PROSENT	HENDELSE
V3T	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	11,5 mm/s	9,0 m/s²	57 hz	3,0 um				
V3V	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	8,7 mm/s	4,8 m/s²	64 hz	2,0 um				
V3L	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	12,9 mm/s	7,2 m/s²	62 hz	56,0 um				

FILTER

HVORDAN ZOOMER JEG?



Figur 67: Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen 2020-04-06 16:15:30

KURVEINFORMASJON

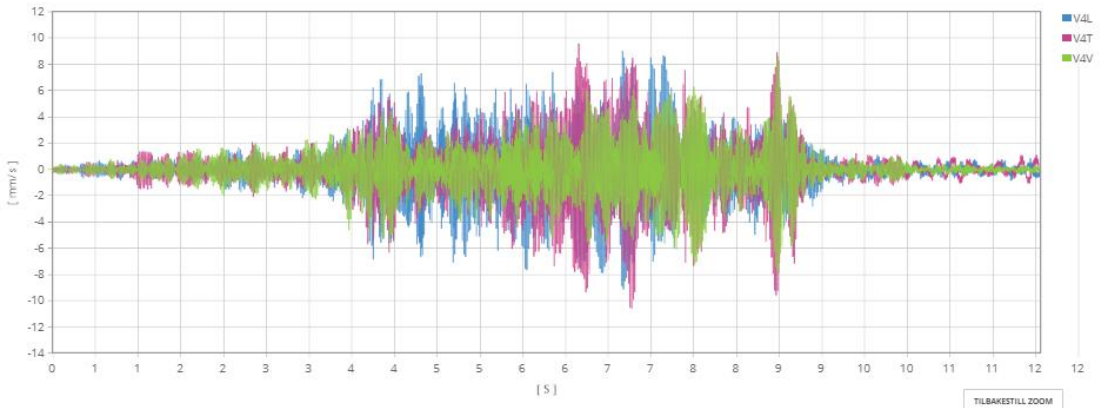
EKSPORTER SOM

Dato	2020-04-06 16:15:30	Instrument	A-4026:1
Prosjekt	50019102	Standard	NS 8141:2001
Målepunkt	V4L ( )		

NAVN	ADRESSE	VERDI	ACC.	FREK.	AMPLITUDE	GRENSE.	AVST.	PROSENT	HENDELSE
V4T	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	10,6 mm/s	6,9 m/s²	60 hz	3,0 um				
V4V	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	8,6 mm/s	4,4 m/s²	62 hz	2,0 um				
V4L	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	9,1 mm/s	5,8 m/s²	55 hz	39,0 um				

FILTER

HVORDAN ZOOMER JEG?



TILBAKESTILL ZOOM

Figur 68: Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen 2020-04-06 16:15:30

KURVEINFORMASJON

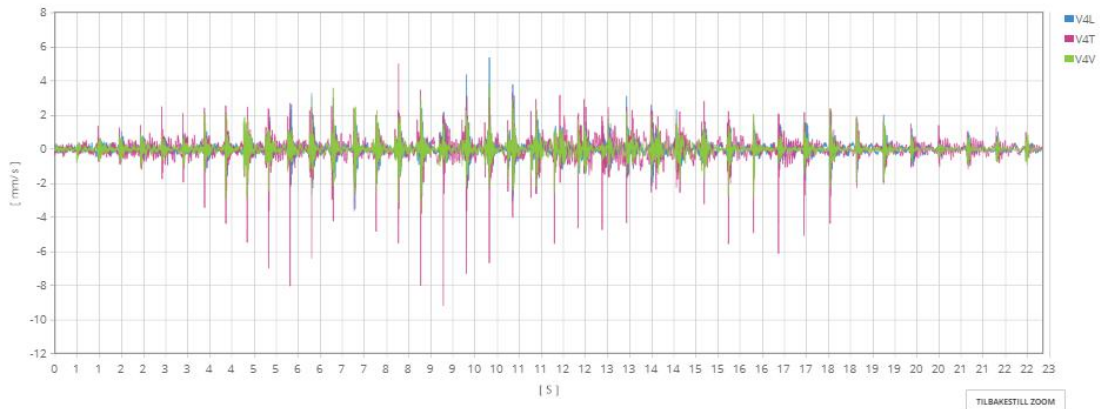
EKSPORTER SOM

Dato	2020-06-09 15:39:30	Instrument	A-4026:1
Prosjekt	50019102	Standard	NS 8141:2001
Målepunkt	V4L ( )		

NAVN	ADRESSE	VERDI	ACC.	FREK.	AMPLITUDE	GRENSE.	AVST.	PROSENT	HENDELSE
V4T	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	9,2 mm/s	7,9 m/s²	107 hz	2,0 um				
V4V	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	3,8 mm/s	3,6 m/s²	111 hz	1,0 um				
V4L	Bru 1, km: 35,590 Ofotbanen	5,4 mm/s	4,7 m/s²	120 hz	14,0 um				

FILTER

HVORDAN ZOOMER JEG?



TILBAKESTILL ZOOM

Figur 69: Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen 2020-06-09 15:39:30



Figur 70: Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen 2020-03-07 02:48:32

4.4.2 Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen

KURVEINFORMASJON

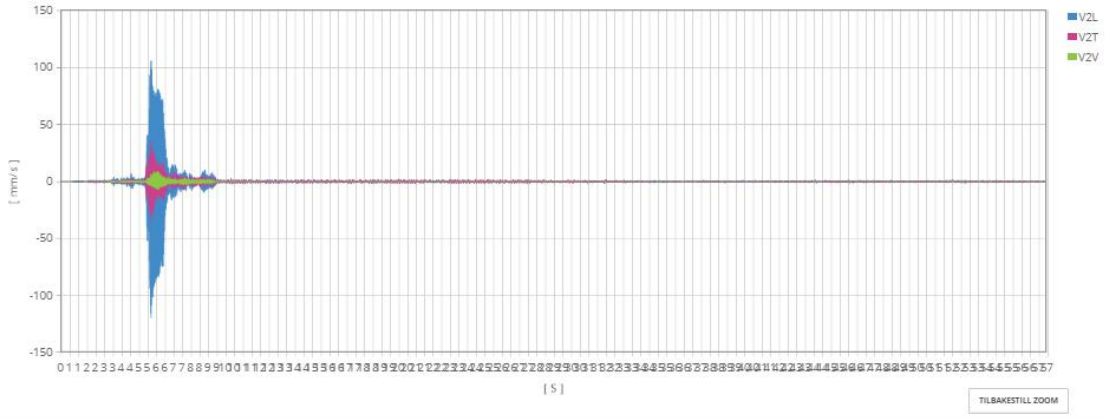
EKSPORTER SOM

Dato	2020-04-12 02:24:58	Instrument	A-4552:1
Prosjekt	50019102	Standard	NS 8141:2001
Målepunkt	V2L ( )		

NAVN	ADRESSE	VERDI	ACC.	FREK.	AMPLITUDE	GRENSE.	AVST.	PROSENT	HENDELSE
V2T	Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen	36,4 mm/s	11,8 m/s²	50 hz	123,0 um				
V2V	Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen	9,1 mm/s	4,5 m/s²	56 hz	35,0 um				
V2L	Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen	119,5 mm/s	37,7 m/s²	52 hz	378,0 um				

FILTER

HVORDAN ZOOMER JEG?



Figur 71: Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen 2020-04-12 02:24:58

KURVEINFORMASJON

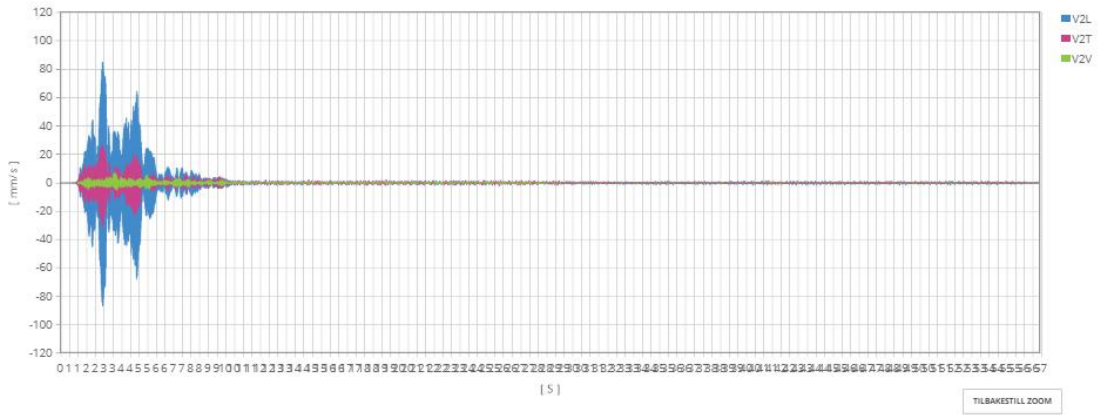
EKSPORTER SOM

Dato	2020-04-15 07:43:16	Instrument	A-4552:1
Prosjekt	50019102	Standard	NS 8141:2001
Målepunkt	V2L ( )		

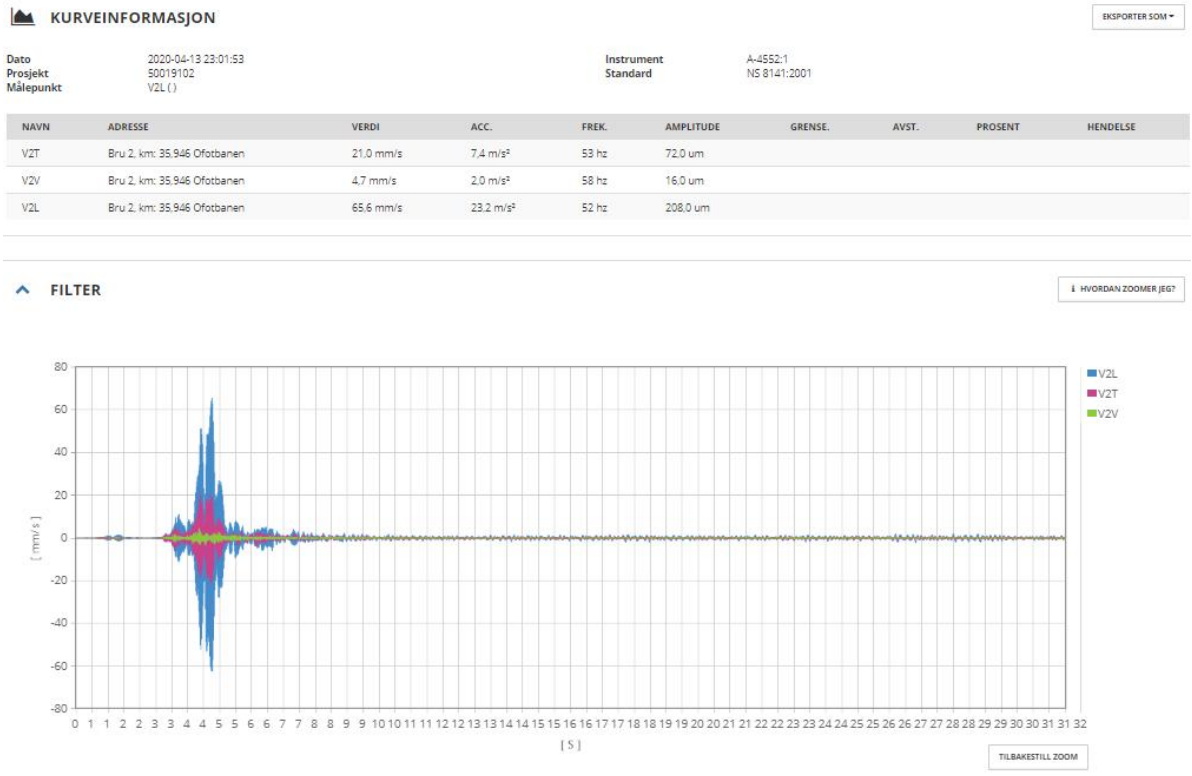
NAVN	ADRESSE	VERDI	ACC.	FREK.	AMPLITUDE	GRENSE.	AVST.	PROSENT	HENDELSE
V2T	Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen	31,0 mm/s	12,2 m/s²	54 hz	94,0 um				
V2V	Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen	7,7 mm/s	3,1 m/s²	66 hz	21,0 um				
V2L	Bru 2, km: 35,946 Ofotbanen	86,8 mm/s	28,8 m/s²	51 hz	276,0 um				

FILTER

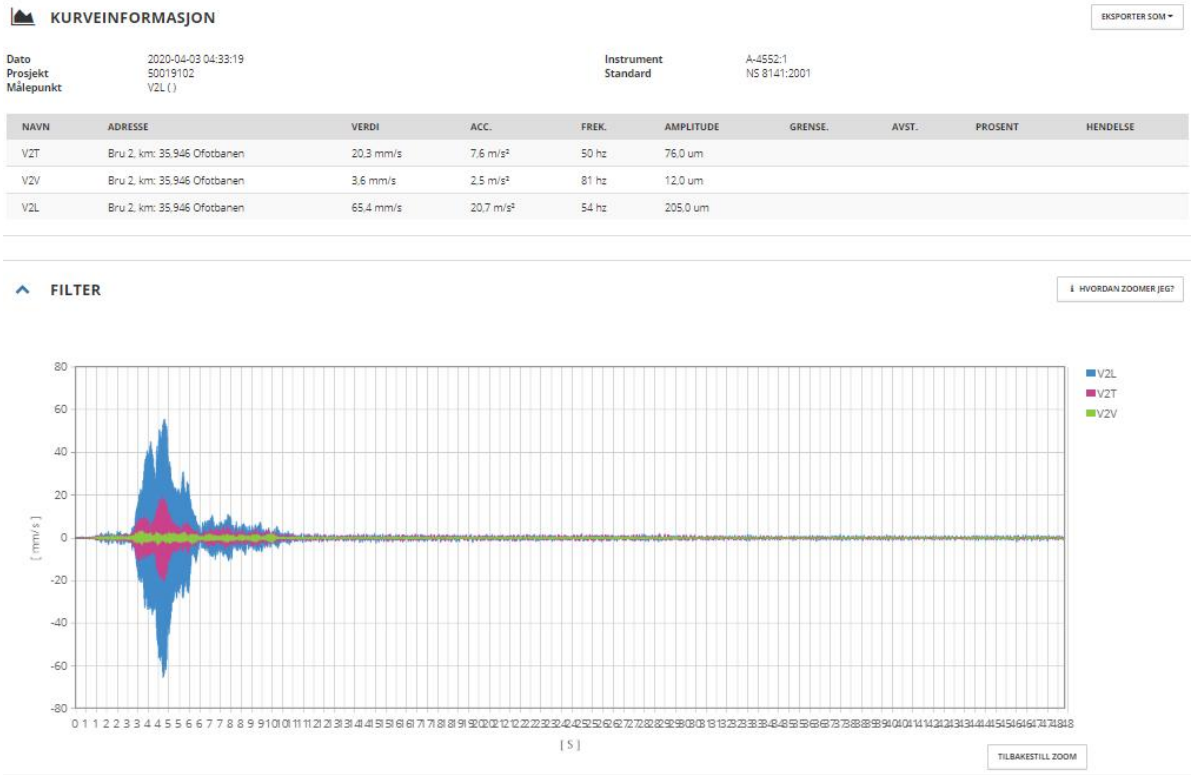
HVORDAN ZOOMER JEG?



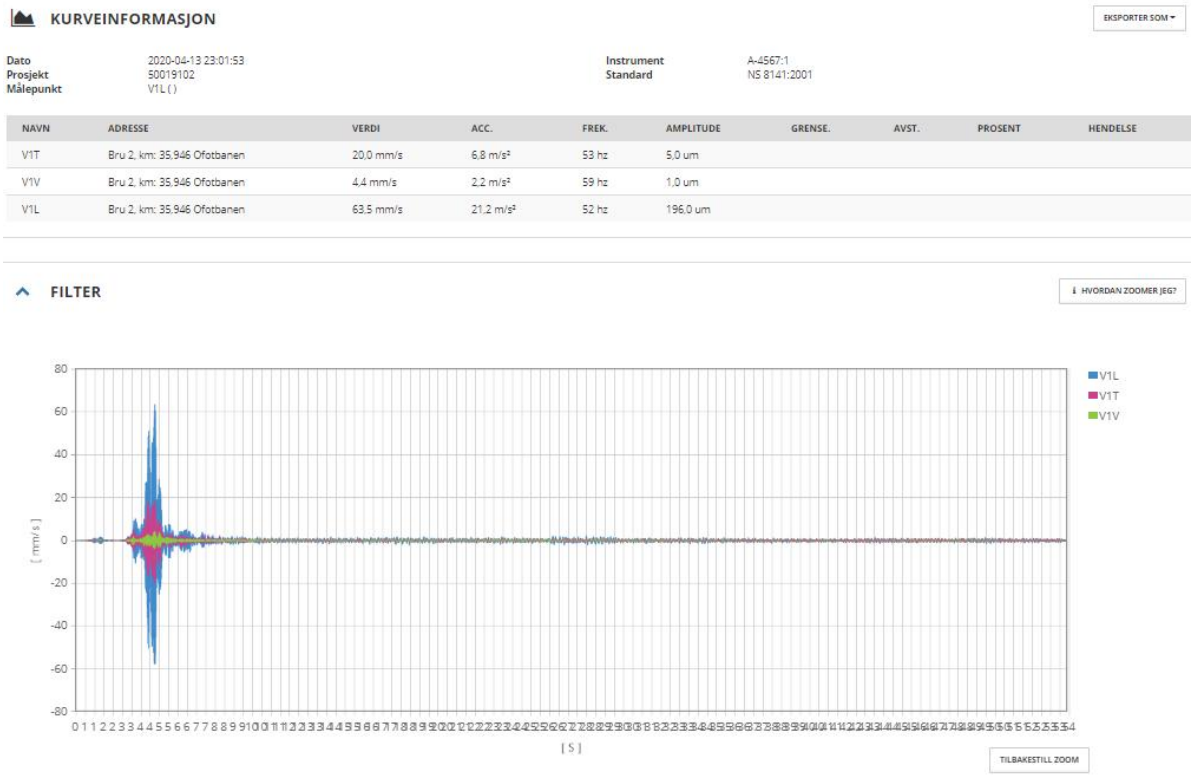
Figur 72: Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen 2020-04-15 07:43:16



Figur 73: Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen 2020-04-13 23:01:53



Figur 74: Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen 2020-04-03 04:33:19



Figur 75: Km 35,989 – Bru 2 over Norddalen 2020-04-13 23:01:53

4.5 Oppsummering vibrasjonsmåling

Vi ser av kurvediagrammene for Bru 2 over Norddalen at det er den gjennomgående Longitudinale komponenten som øker mest ved oppbremsingen, mens den Transversale komponenten øker en del. Dette kan tilskrives oppbremsing i kurve (Bru 2 har en horisontalkurve R_H=350m, har to spenn, fritt opplegg i hver ende). I kurvediagrammene for Bru 1 ser vi at samtlige komponenter øker omtrentlig like mye ved oppbremsing på en rett strekning (Bru 1 er uten horisontal kurve, ett spenn med fritt opplegg i hver ende).

Vi ser også at kurvediagrammene for de 5 høyeste registrerte verdiene på hver av bruene ikke er sammenfallende med hendelsene med de største toglastene (se tabell under 4.4).

Kurvediagrammet vist i Figur 69: Km 35,579 – Bru 1 over Norddalen 2020-06-09 15:39:30, skiller seg ut fra de øvrige med mange korte støt eller oppbremsinger, og vi ser at det er mange større transversale bevegelser (slår mot skinnegang). Kurveforløpet er kortere enn for gjennomsnittet av malmtog, så det er mulig at det er et annet type gods- eller persontog som har forårsaket denne hendelsen.

For de 5 tyngste malm-togene har vi beregnet midlere hastighet mellom målepunktene (det ene på Bru 1 og det andre på Bru 2). De lange malm-togene skal være i underkant av 750 m og da stemmer det bra med beregnet midlere hastighet mot varigheten av hver registrering.

5. GEOMETRISK KONTROLL, INNMÅLINGER OG LASER-SCANNING

5.1 Beskrivelse av målinger

Ing. Granberg AS har vært engasjert til geometrisk kontroll, innmålinger og laser-scanninger for 32,5 tonns prosjektet på Ofotbanen. Ing. Granberg AS har i tillegg forestått sikkerhetstjeneste for egne arbeider og andre arbeider knyttet til montering og vedlikehold av utstyr på Bru 1 og Bru 2 over Norddalen samt befaringer.

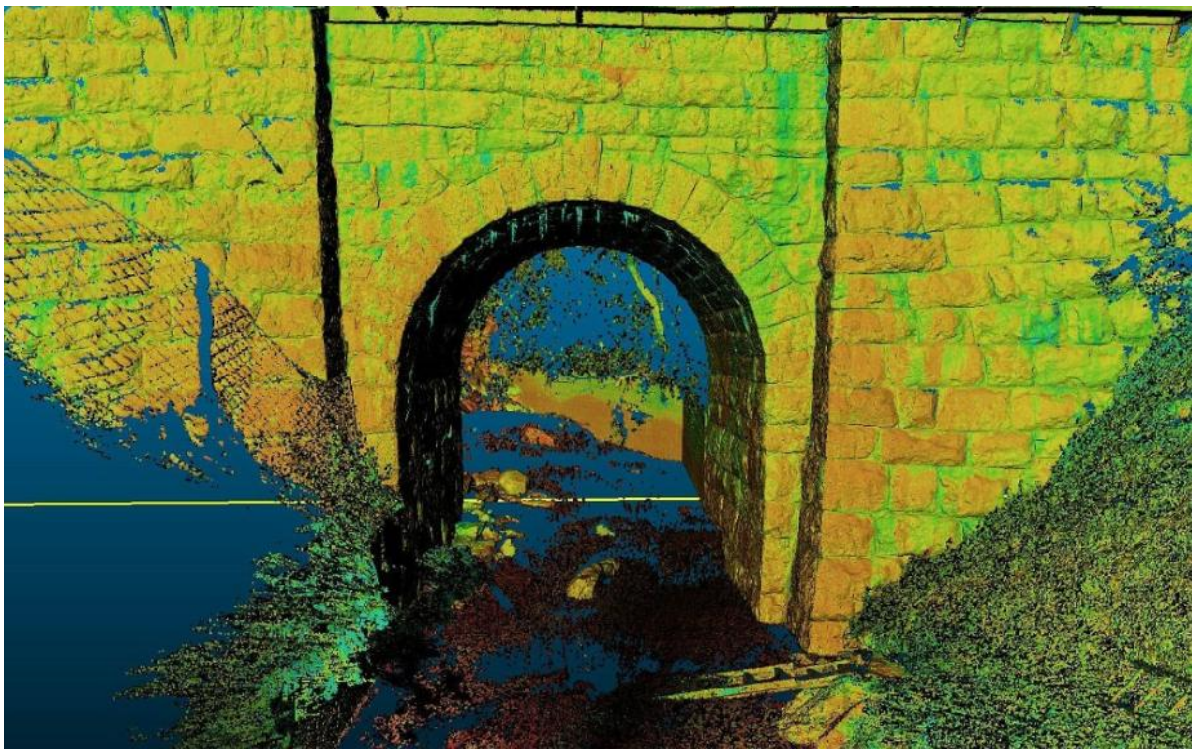
Alle innmålinger er foretatt med totalstasjon og satsmålinger. Det har i de fleste tilfeller vært etablert nye brukspunkter med basis i banenes eget fastmerkenett. Valgt koordinatsystem er derfor EUREF89-UTM, sone 33 og med høyde NN1954. I de tilfeller hvor det har vært etablert et fastmerkenett, er også laser-scanninger georeferert.

Alle vedlegg leveres separat.

5.2 Km 4,288 - Mølle elv

Registreringen er utført som laser-scanning med 3 gjennomføringer. Tilstand på bru er dokumenter med foto og flere inspeksjoner. Ved mistanke om nye riss i konstruksjon kan i første omgang bildedokumentasjon benyttes for å tidfeste dannelsen og størrelse på riss. Ytterligere tiltak kan iverksettes med prosessering av laser-scan for å beregne endringer i riss mellom målinger. Prosessering av laser-scan er en tidkrevende jobb, og man har da valgt å ikke utføre dette før en eventuell mistanke om riss-dannelse eller deformasjoner er til stede.

Ut fra inspeksjoner og sammenlikning av fotodokumentasjon, viser brua ingen tegn til deformasjon.



Figur 76: Scannet versjon av Mølle elv

5.3 Km 4,682 – Grunstadbrua

Geometrisk kontroll er utført 4 ganger. Måleprogrammet omfatter 2 fastmerker etablert i tillegg til 4 setningsbolter av typen QL i messing. Ved ny innmåling må disse benyttes med prismer av typen GPH1 med QL-feste for korrekt sikthøyde som da kan settes til 0.

I forhold til setningsdiagrammer angitt Nord-Sør, Øst-Vest og høyde vil standardfeil på et enkelt punkt være på ±3mm og utførte målinger viser ingen deformasjon utover oppgitt standardfeil og heller ingen tendens for deformasjon.

Grunstadbrua er i tillegg 3D-scannet en gang for kontroll ved framtidig mistanke om riss eller deformasjoner.

Vedlegg: 201628-Bevegelsesmåling-Grunstadbrua.xls



Figur 77: Pågående scanning på Grundstadbrua

5.4 Km 7,608 - Hvelvbru

Registreringen er utført som laser-scanning med 3 gjennomføringer. Tilstand på bru er dokumenter med foto og flere inspeksjoner. Ved mistanke om nye riss i konstruksjon kan i første omgang bildedokumentasjon benyttes for å tidfeste dannelsen og størrelse på riss. Ytterligere tiltak kan iverksette med prosessering av laser-scan for å beregne endringer i riss fra gang til gang. Prosessering av laser-scan er en tidkrevende jobb og man har da valgt å ikke utføre dette, før en eventuell mistanke om riss-dannelse eller deformasjon er til stede.

Ut fra inspeksjoner og sammenlikning av fotodokumentasjon, viser broen ingen tegn til deformasjon.

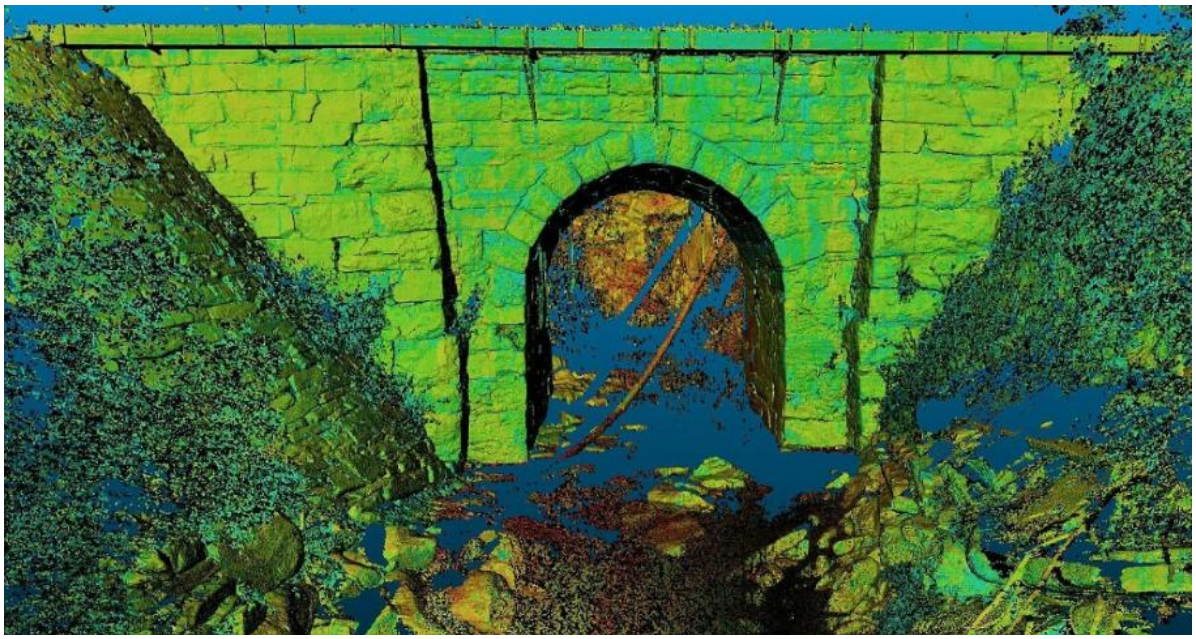


Figur 78: Scannet versjon av Hvelvbru

5.5 Km 8,266 - Hvelvbru

Registreringen er utført som laser-scanning med 3 gjennomføringer. Tilstand på bro er dokumenter med foto og flere inspeksjoner. Ved mistanke om nye riss i konstruksjon kan i første omgang bildedokumentasjon benyttes for å tidfeste dannelsen og størrelse på riss. Ytterligere tiltak kan iverksette med prosessering av laser-scan for å beregne endringer i riss fra gang til gang. Prosessering av laser-scan er en tidkrevende jobb og man har da valgt å ikke utføre dette, før en eventuell mistanke om riss-dannelse eller deformasjon er til stede.

Ut fra inspeksjoner og sammenlikning av fotodokumentasjon, viser broen ingen tegn til deformasjon.



Figur 79: Scannet versjon av Hvelvbru

5.6 KM 21,182 - Undergang Rombak (ROM)

Geometrisk kontroll er utført på plassen 4 ganger. Måleprogrammet omfatter 4 fastmerker etablert i tillegg til 5 setningsbolter av typen QL i messing, montert i taket på kulverten. Ved ny innmåling må disse benyttes med prismer av typen GPH1 med QL feste for korrekt sikthøyde som da kan settes til 0.

I forhold til setningsdiagrammer angitt Nord-Sør, Øst-Vest og høyde vil standardfeil på et enkelt punkt være på ±3mm og utførte målinger viser ingen deformasjon utover oppgitt standardfeil og heller ingen tendens til deformasjon.

Kulverten på Rombak stasjon er i tillegg 3D-scannet en gang for kontroll ved framtidig mistanke om riss eller deformasjoner.

Vedlegg: 201628-Bevegelsesmåling-Rombak.xls



Figur 80: Pågående på Rombak

5.7 Km 33,821 - Hvelvbru

Registreringen er utført som laser-scanning med 3 gjennomføringer. Tilstand på bro er dokumenter med foto og flere inspeksjoner. Ved mistanke om nye riss i konstruksjonen kan i første omgang bildedokumentasjon benyttes for å tidfeste dannelsen og størrelse på riss. Ytterligere tiltak kan iverksettes med prosessering av laser-scan for å beregne endringer i riss fra gang til gang. Prosessering av laser-scan er en tidkrevende jobb og man har da valgt å ikke utføre dette, før en eventuell mistanke om riss-dannelse eller deformasjon er til stede.

Ut fra inspeksjoner og sammenlikning av fotodokumentasjon, viser broen ingen tegn til deformasjon.



Figur 81: Scannet versjon av Hvelvbru

5.8 Km 35,579 - Bru 1 over Norddalen



Figur 82: Oversiktsbilde av Bru 1 over Norddalen

Geometrisk kontroll er utført 6 ganger. Måleprogrammet omfatter 3 fastmerker etablert som støypesøyle med brakett og 5/8-dels gjengetapp i tillegg til 6 setningsbolter av typen QL i messing, 3 på hver side. Setningsboltene er montert i betongvangens overkant. Ved ny innmåling må disse benyttes med prismer av typen GPH1 med QL feste for korrekt sikthøyde som da kan settes til 0.

I forhold til setningsdiagrammer angitt Nord-Sør, Øst-Vest og høyde, vil standardfeil på et enkelt punkt være på ±3mm og utførte målinger viser ingen deformasjon utover oppgitt standardfeil og heller ingen tendens til deformasjon.

Setningspunkt S14 er i tillegg benyttet som setningspunkt i forbindelse med nedbøyningsmålinger ved togpassering. Det er registrert nedbøyning ved noen anledninger for forskjellige typer tog.

Togtype og retning	Nedbøyning Lok	Nedbøyning Vogner
Tomt malmtog mot Sverige	8mm	11mm
Lastet malmtog mot Narvik	8mm	20mm
Persontog mot Narvik	5mm	3mm

Tabell 5: Målt nedbøyning på Bru 1 ved togpasseringer

5.9 Km 35,989 - Bru 2 over Norddalen



Figur 83: Oversiktsbilde av Bru 2 over Norddalen

Geometrisk kontroll er utført på plassen 6 ganger. Måleprogrammet omfatter 3 fastmerker etablert som støypesøyle med brakett og 5/8-dels gjengetapp i tillegg til 10 setningsbolter av typen QL i messing, 5 på hver side. Setningsboltene er montert i betongvangens overkant. Ved ny innmåling må disse benyttes med prismer av typen GPH1 med QL feste for korrekt sikthøyde som da kan settes til 0.

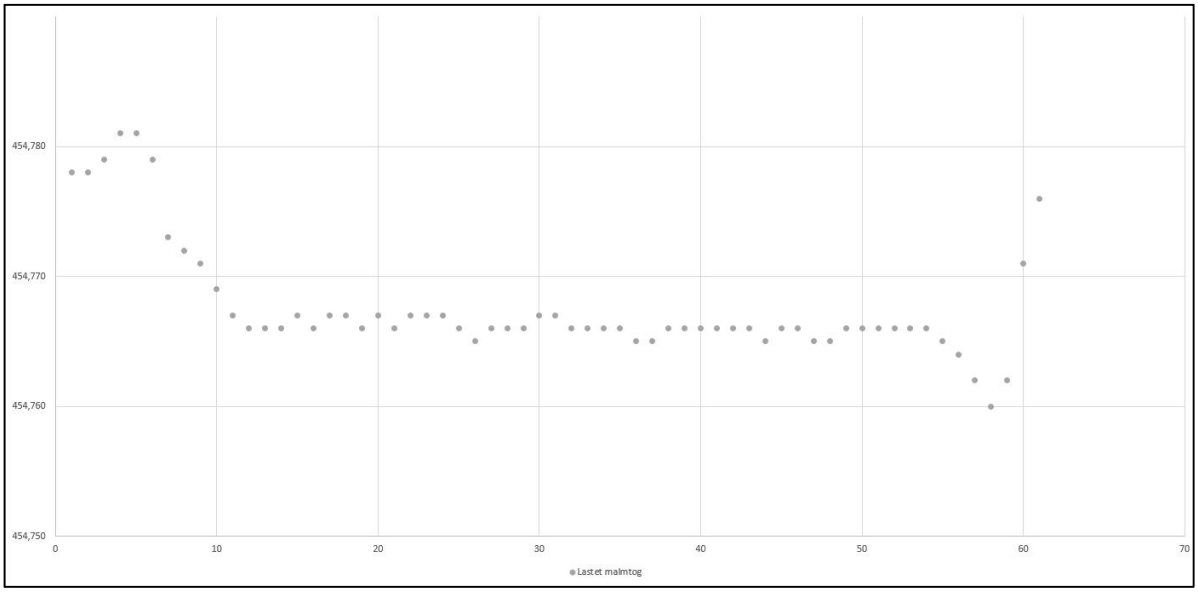
I forhold til setningsdiagrammer angitt Nord-Sør, Øst-Vest og høyde, vil standardfeil på et enkelt punkt være på ±3mm og utførte målinger viser ingen deformasjon utover oppgitt standardfeil og heller ingen tendens til deformasjon.

Setningspunkt S7 er i tillegg benyttet som setningspunkt i forbindelse med nedbøyningsmålinger ved togpassering. Det er registrert nedbøyning ved 5 anledninger for forskjellige typer tog.

Togtype og retning	Nedbøyning Lok	Nedbøyning Vogner
Tomt malmtog mot Sverige	5mm	1mm
Lastet malmtog mot Narvik	5mm	11mm
Persontog mot Narvik	5mm	3mm
Persontog mot Sverige	3mm	2mm

Tabell 6: Målt nedbøyning på Bru 1 ved togpasseringer

I forbindelse med måling av nedbøyning på Bru 2 er det også gjennomført en fortløpende måling ved passering av et lastet malmtog. I følgende diagram vises nedbøyningen i vertikalaksen og tiden i horisontalaksen. Det er 1 sekund mellom hver måling. Bru 2 har to felt hvorav punkt S7 er i feltet nærmest Narvik, derfor kommer setningspunktet opp i start.



Figur 84: Vedlegg for Bru 1 og Bru 2: 201628-Bevegelsesmåling-Søsterbekk.xls

5.10 Km 38,669 - Undergang Solheim



Figur 85: Oversiktsbilde Undergang Solheim.

Geometrisk kontroll er utført 4 ganger. Måleprogrammet omfatter 4 fastmerker etablert i tillegg til 10 setningsbolter av typen QL i messing, med 5 plassert på hver side i tørrsteinsmuren og betongvangen. Ved ny innmåling må disse benyttes med prismer av typen GPH1 med QL feste for korrekt sikthøyde som da kan settes til 0.

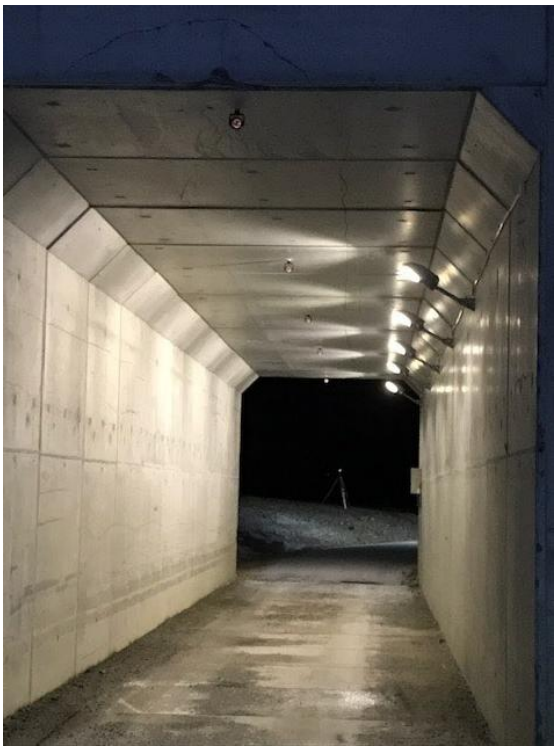
I forhold til setningsdiagrammer angitt Nord-Sør, Øst-Vest og høyde vil standardfeil på et enkelt punkt være på ±3 mm og utførte målinger viser ingen deformasjon utover oppgitt standardfeil og heller ingen tendens til deformasjon med unntak av punkt S10. Området rundt S10 bør derfor gis oppmerksomhet i framtiden.

Svalbardrøret i Solheimsfyllinga er i tillegg 3D-scannet en gang for kontroll ved framtidig mistanke om bevegelser eller deformasjon.

Vedlegg: 201628-Bevegelsesmåling-Solheim.xls

5.11 Km 40,420 - Undergang Bjørnfjell





Figur 86: Pågående scanning av Undergang

Geometrisk kontroll er utført på plassen 4 ganger. Måleprogrammet omfatter 3 fastmerker etablert i tillegg til 5 setningsbolter av typen QL i messing, montert i taket på kulvert. Ved ny innmåling må disse benyttes med prismer av typen GPH1 med QL feste for korrekt sikthøyde som da kan settes til 0.

I forhold til setningsdiagrammer angitt Nord-Sør, Øst-Vest og høyde vil standardfeil på et enkelt punkt være på ±3 mm og utførte målinger viser ingen deformasjon utover oppgitt standardfeil og heller ingen tendens til deformasjon.

Kulverten på Bjørnfjell stasjon er i tillegg 3D-scannet en gang for kontroll ved framtidig mistanke om riss eller deformasjon.

Vedlegg: 201628-Bevegelsesmåling-Bjørnfjell.xls