InterCity-prosjektet

FORSLAG TIL TUNNELTVERRSNITT VEDLEGG 7 KUM I BALLASTPUKK

☐	Akseptert
☐	Akseptert m/kommentarer
☐	Ikke akseptert / kommentert Revider og send inn på nytt
☐	Kun for informasjon
Sign:	

00A	Høringsutkast	31.01.2017	MoK	GeH	SvS
Revisjon	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av

Tittel: **InterCity-prosjektet** **FORSLAG TIL TUNNELTVERRSNITT VEDLEGG 7 KUM I BALLASTPUKK**	Sider: **7**	+ 1 vedlegg	
	Produsert av:	Norconsult	
	Prod.dok.nr.:		Rev:
	Erstatter:		
	Erstattet av:		
Prosjekt: 965001 Parsell: 00	Dokumentnummer: **ICP-00-A-00118**	Revisjon: **00A**	
BANE NOR	Drift dokumentnummer:	Drift rev.:	

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING 3

2. GEOMETRI OG FORUTSETNINGER 3

3. LASTER 4

4. BEREGNINGER 4

FJÆRSTIVHET UNDER «NORMAL SVILL» 4
FJÆRSTIVHET SVILL OVER KUM 5
DYNAMISKE VURDERINGER 5

5. KONKLUSJON 5

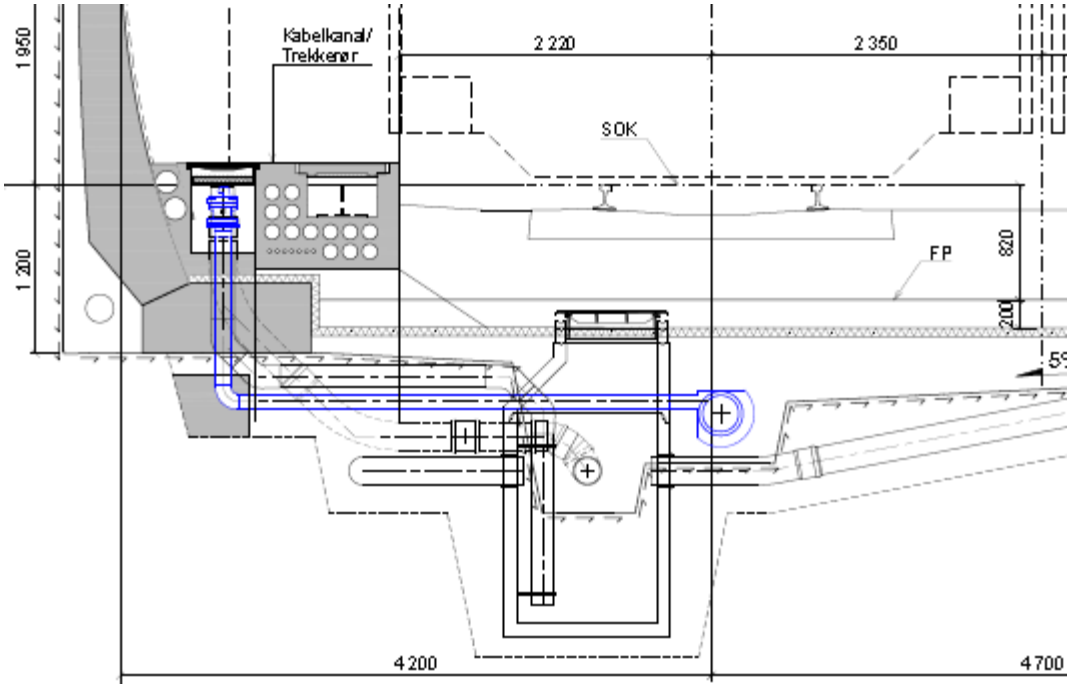
6. ALTERNATIV PLASSERING AV KUM 6

7. DOKUMENT INFORMASJON 7

ENDRINGSLOGG 7
REFERANSELISTE 7
VEDLEGG 7

1. INNLEDNING

I forbindelse med byggingen av nytt dobbeltspor på intercityprosjektet Drammen-Kobbervikdalen har det kommet et spørsmål om plassering av kum under skinne kan være et problem for skinnens levetid. Jernbaneverket har på Romeriksporten hatt unormalt mange brudd i klemmene som fester skinnen til svillene. Det er antatt at årsaken til dette skyldes ujevn fjellsåle som igjen skaper resonans i skinneinnfestingen og tretthetsbrudd i klemmene.
Det er derfor gjort en vurdering av effekten kummens plassering kan ha på skinnen. Kummens plassering er vist på Figur 1, som er et utklipp fra tegning F-010 i forslag til tunneltverrsnitt vedlegg 2 ICP-00-F-00001.



Figur 1 Plassering av kum i ballastpukk, omtrent sentrisk under skinne. Utklipp fra tegning F-010.

Det er gjort enkle vurderinger av fjærstivheter for å kunne se hvilken effekt kummens plassering kan ha på skinnens levetid.

2. GEOMETRI OG FORUTSETNINGER

Kummens geometri er vist på Figur 1. Avstand fra kumlokk til underkant svill er antatt til 600 mm.
Antatt svilletype er JBV 60, med omtrentlige ytre mål på 200 mm x 2600 mm.
Dybde fra underkant sville til antatt fjell i «normaltilstanden» uten kum er 1,5 m. Ved kummens plassering er antatt dybde 2,7 m, der kummen utgjør 2,1 m.
Kummen er antatt til 800 mm i diameter, 90 mm veggtykkelse. Antatt betongkvalitet i kum er B35, med materialegenskaper i henhold til Eurokode 2 (Standard Norge, 2008).
Elastisitetsmodulen til ballastpukken (hele massivet, ikke enkeltsteiner) er basert på erfaring fra lignende tilfeller og avhenger av komprimering og materiale. Det ligger derfor nokså stor usikkerhet i denne og det opereres med en nedre verdi på 0,1 GPa og en øvre verdi på 0,3 GPa.

Tabell 1 Materialegenskaper (stivheter) benyttet i beregningene.

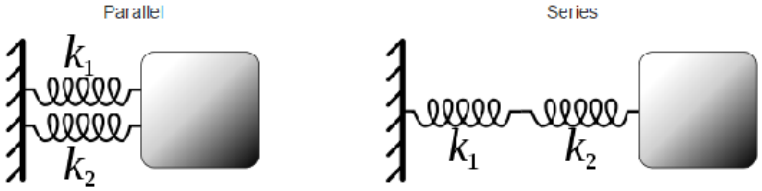
Beskrivelse	Symbol	Verdi
Elastisitetsmodul for betong	E_{cm}	34 GPa
Nedre grense elastisitetsmodul ballastpukk (massiv)	$E_{pukk,nedre}$	0,1 GPa
Øvre grense elastisitetsmodul ballastpukk (massiv)	$E_{pukk,øvre}$	0,3 GPa

3. LASTER

Lastene bestemmes av Jernbaneverkets tekniske regelverk 530 kapittel 4.2, tabell 1 (Jernbaneverket, 2015). Overbygningsklasse er klasse d og maksimal hastighet for motorvognsett er 250 km/t. Dette gir nominell aksellast 18 tonn. Benytter ikke lastfaktor i disse vurderingene da det dreier seg om utmattingslaster.

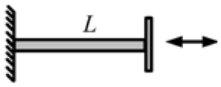
4. BEREGNINGER

Fjærstivheten til «opplegget» under svillene er beregnet ved å bruke ballastpukkens antatte E-modul og en lastspredning på 1:2. E-modulen til betong og kummens geometri er kjent, slik at fjærstivheten her er beregnet ved kjent teori, se Figur 2.



Quantity	In Parallel	In Series
Equivalent spring constant	$k_{eq} = k_1 + k_2$	$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$

Aksialstivhet: $k = \frac{AE}{L}$



Aksialstivhet for søyle/skive med varierende tverrsnittsareal og lengde L:

$$u(L) = \int_0^L \varepsilon(l)\,dl = \int_0^L \frac{\sigma(l)}{E}\,dl = \int_0^L \frac{N}{A(l)E}\,dl = \frac{N}{E}\cdot\int_0^L \frac{1}{A(l)}\,dl$$

Formel 1 $$k = \frac{N}{u(L)} = \frac{E}{\int_0^L \frac{1}{A(l)}\,dl}$$

Figur 2 Teorigrunnlag for beregning av fjærstivheter.

Fjærstivhet under «normal svill»

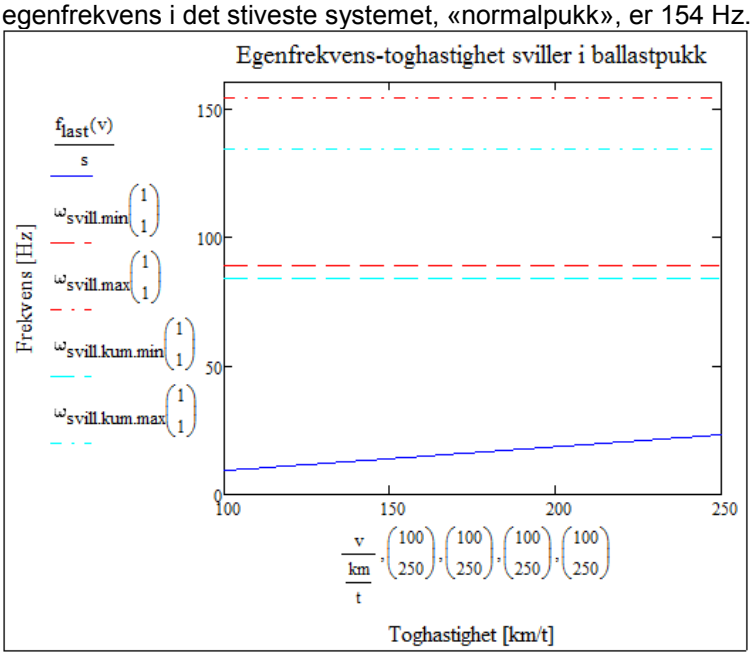
For «normaltilstanden» er det antatt en lastspredning 1:2, begge veier i tunnelens lengderetning og en vei i tverretning. Dette fordi det er vurdert stivhet under kun én skinne, altså en halv svill, da det er under denne kummen er plassert.
Fjærstivheten til opplegget under en halv svill er beregnet i vedlegget til å ligge mellom 70 kN/mm og 210 kN/mm.

Fjærstivhet svill over kum

For sviller som er plassert over kum er det antatt en omtrentlig lastfordeling mellom svill og kumlokk. Det er antatt at arealet på «lastsøylen» er konstant lik kumlokkarealet hele veien. Høyden på «lastsøylen» er lik pukklagets; 600 mm.
For selve kummen er det antatt en «lastsøyle» med diameteren til kumlokket og tykkelsen til selve kummen.
For pukken rundt kummen er det fortsatt en lastspredning på 1:2 fra overkant kumlokk og ned til fjell, men trukket fra 2xkumlokkets areal da denne er antatt stivere enn pukken rundt.
Fjærsystemet her består altså av to parallellkoblede fjærer i form av kum og pukk rundt kum, seriekoblet med pukk over kum.
Totalt oppnås en fjærstivhet av systemet på mellom 60 kN/mm og 160 kN/mm. Det vil si at området med kummen er noe mykere enn «normaltilfellet».

Dynamiske vurderinger

Ettersom det er antatt at bruddene fra skinneinnfestingen har med resonans å gjøre er det sett på egenfrekvensen til de to systemene og sammenlignet med frekvensen til påført last.
Lasten som her er vurdert er korteste avstand mellom to akslinger på en boggi. Dette er her satt til 3 m. Togets maksimale hastighet er 250 km/t. Dette gir en maksimal belastningsfrekvens på 23 Hz.
Egenfrekvensen til det mykeste systemet, myk pukk i område med kum, er 84 Hz. Høyeste egenfrekvens i det stiveste systemet, «normalpukk», er 154 Hz. ‘



Figur 3 Egenfrekvenser fjærsystemer (stiplede linjer) og frekvens for vertikal belastning på sville (heltrukken linje) [Hz].
Ettersom belastningsfrekvensen er såpass mye lavere enn egenfrekvensene er lite trolig at eventuelle skinneskader skyldes resonans fra den vertikale belastningen av aksellastene. Det kan derimot være en horisontal bevegelse på skinnene som fører til vertikale kraftpar på skinner grunnet et høyt tyngdepunkt i togsettet. Dersom denne horisontalbelastningen kan ha en frekvens på 80 Hz eller mer kan dette føre til økt belastning på skinnene og utmattingsbrudd. Men dette er kun en tenkt teori og ikke videre vurdert da denne typen belastning fra toget er ukjent for beregner.

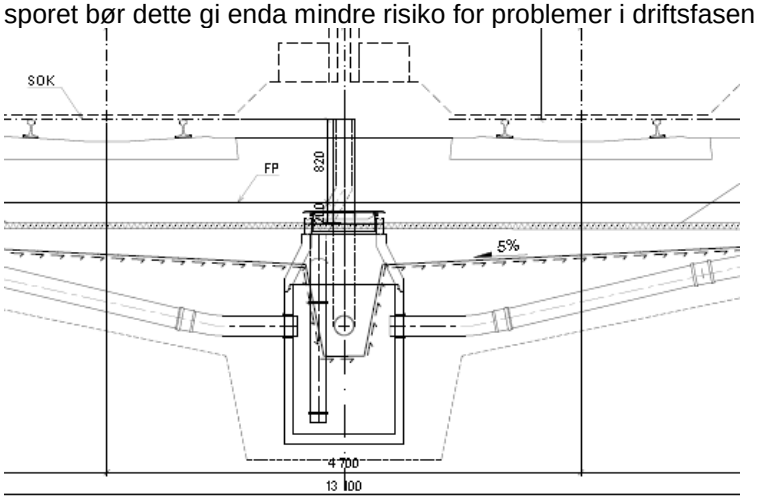
5. KONKLUSJON

Det er ikke funnet risikomomenter ved å plassere kummen slik den er tegnet på tegning F-010 i forslag til tunneltverrsnitt vedlegg 2, ICP-00-F-00001. Fjærstivhetene ved «normal» svill og i område ved kum avviker med 10-30 %, som bør kunne tolereres i en tunnel med sprengt (og ujevn) såle. Det er likevel usikkert hvor følsomme skinnene er for ujevnt opplegg med tanke på utmatting.

Det er heller ikke funnet grunn til å tro at det kan bli resonans fra «alminnelig» vertikal belastning på svillene over kum. Dette kan muligens skylde horisontalkrefter på skinnen, men dette er ikke vurdert da denne typen belastning er ukjent for beregner.

6. ALTERNATIV PLASSERING AV KUM

Det er også ønsket en vurdering av alternativ plassering av kum, midt i mellom sporene. Dette er vist på Figur 4. Mulige laster på kummen her kan være sidetrykk på kummen grunnet lastspredning fra spor. Ettersom kummen er plasser på et dypere nivå vil det være lengre til fjell her, og det er ikke trolig at lastene vil spre seg hit i stor grad grunnet lavere stivhet av lastveien. Kummen er dessuten sirkulær og meget godt egnet til å stå imot jevn fordelte belastninger. Dersom fjellfoten utformes med en jevn overgang i lengderetning ned til «rørgaten» i henhold til regelverket er dette ikke vurdert ti lå være en problematisk plassering av kummen. Sammenlignet med alternativet der kummen plasseres under sporet bør dette gi enda mindre risiko for problemer i driftsfasen.



Figur 4 Plassering av kum mellom spor. Utsnitt fra tegning «DS Kont VB».

7. DOKUMENT INFORMASJON

Endringslogg

Rev.	Endring
00A	Høringsdokument

Referanseliste

[1] Standard Norge, NS-EN 1992-1-1:2004+NA2008 Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner, Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger, 2008. Tittel på det andre refererte dokumentet, Dok.nr

[2] Jernbaneverket, «Jernbaneverkets tekniske regelverk,» 2015. [Internett]. Available: https://trv.jbv.no/wiki/Forside

Vedlegg

Vedlegg 1 – Beregninger i Mathcad

Vedlegg 1 – Beregninger i Mathcad

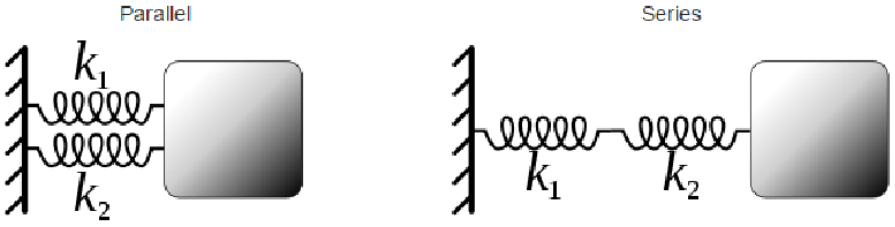
Sign:	Dato/date:	Prosjekt/Project:	Norconsult
EivBj	2015-11-30	Intercity Drammen-Kobbevikdalen	
Ktr./Check:	Dato/date:		Side 1 av 7
HeFri	2015-11-30	Prosjektnr: 5147023	

Stivhetsvurdering kum i pukk

1. Teori og forutsetninger

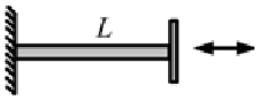
Beregner horisontalstivhet av maskinsaldekke forenklet som en sammensetning av stivheter fra ulike konstruksjonsdeler, som dekke i kraftretning ("søyler"), dekke på tvers av kraftretning ("bjelker") og veggskiver. Stivhetene kombineres som vist under, avhengig av om de bidrar frittstående (parallellkoblet) eller om de henger sammen (seriekoblet).

Antar at krefter må føres helt til berg langs kanten på maskinsaldekket. Berget ses på som uendelig stivt.



Quantity	In Parallel	In Series
Equivalent spring constant	$k_{eq} = k_1 + k_2$	$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$

Aksialstivhet: $k = \frac{AE}{L}$



Aksialstivhet for søyle/skive med varierende tverrsnittsareal og lengde L:

$$u(L) = \int_0^L \varepsilon(l)\, dl = \int_0^L \frac{\sigma(l)}{E}\, dl = \int_0^L \frac{N}{A(l)\,E}\, dl = \frac{N}{E} \cdot \int_0^L \frac{1}{A(l)}\, dl$$

Formel 1

$$k = \frac{N}{u(L)} = \frac{E}{\int_0^L \frac{1}{A(l)}\, dl}$$

2 Generelle materialparmetre

Betongkvalitet B35

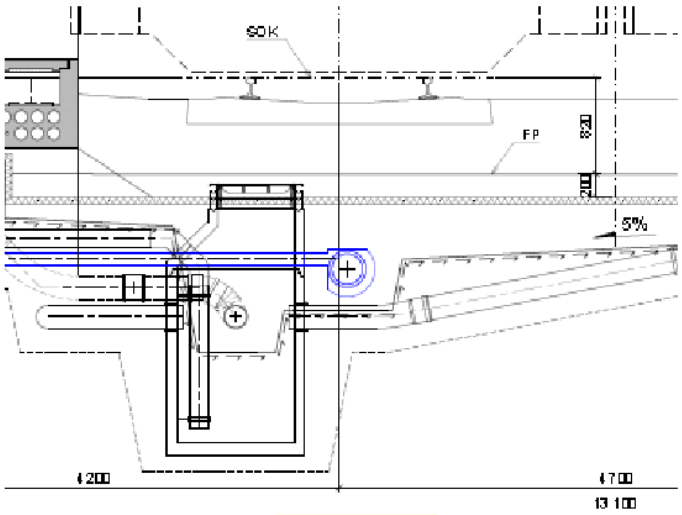
Stivhet uopprisset betong, korttidslast: $E_c := 34GPa$

Armeringsstål B500NC

Stivhet kamstål: $E_s := 200GPa$

3 Geometri

Maskinsaldekke med generatorgrop er vist på tegning 057, se utsnitt av tegningen under. Her er fundamentene til stator nummerert for senere henvisninger i denne beregningen.



Høyde "normal" pukk: $h_{p.min} := 1.5m$

Høyde kum: $h_{kum} := 2.1m$

Høyde pukk over kum: $h_{p.kum} := 0.6m$

Minste stivhet ballastpukk: $E_{pukk.min} := 100000kPa = 0.1 \cdot GPa$

Største stivhet ballastpukk: $E_{pukk.max} := 300000kPa = 0.3 \cdot GPa$

Diameter kumring: $d_{kum} := 800mm$

Tykkelse kum: $t_{kum} := 90mm$

Bredde svill: $b_{svill} := 200mm$

Lengde 1/2 svill: $l_{svill} := 1300mm$

4 Laster

Jernbaneverkets tekniske regelverk 530 kap 4.2, tabell 1:

Aksellast togsett: $m_{aksellast} := 18000kg$

Akselavstand togsett $s_{hjulpar} := 3m$

Største svilleavstand: $s_{svill} := 600mm$

$t := 3600s$

Hastighet tog: $v_{tog} := 250\frac{km}{t} = 69.4\cdot\frac{m}{s}$

5 Stivhetsvurderinger

Areal kumring: $A_{kumring} := d_{kum} \cdot \pi \cdot t_{kum} = 0.2 \cdot m^2$

Areal kum(lokk): $A_{kum} := \pi \cdot \frac{d_{kum}^2}{4} = 0.5 \cdot m^2$

Aksialstivhet kum: $k_{kumring} := \frac{A_{kumring} \cdot E_c}{h_{kum}} = 3662.2 \cdot \frac{kN}{mm}$

Stivhet under "normal" 1/2 svill:

Tykkelse normalt pukklag: $h_{p.min} = 1.5 \cdot m$

Areal svilleavtrykk: $A_{svill}(h) := (b_{svill} + h) \cdot \left(l_{svill} + \frac{h}{2}\right)$

; "tosidig" lastspredninglengderetnign, "ensidig" i tverretning. 1:2

Stivhet svilleopplegg jamfør formel avsnitt 1:

$$k_{svilleopplegg.min} := \frac{E_{pukk.min}}{\int_0^{h_{p.min}} \frac{1}{A_{svill}(h)}\, dh} = 71.23 \cdot \frac{kN}{mm}$$

$$k_{svilleopplegg.max} := \frac{E_{pukk.max}}{\int_0^{h_{p.min}} \frac{1}{A_{svill}(h)}\, dh} = 213.7 \cdot \frac{kN}{mm}$$

Stivhet svill-kum:

Stivhet kumring: $k_{kumring} = 3.7 \cdot \frac{MN}{mm}$

Stivhet pukk over kum: $k_{p.kum} := \frac{E_{pukk.min} \cdot A_{kum}}{h_{p.kum}} = 83.8 \cdot \frac{kN}{mm}$

Sammensatt stivhet kum: $k_{kum} := \left(\frac{1}{k_{kumring}} + \frac{1}{k_{p.kum}}\right)^{-1} = 81.9 \cdot \frac{kN}{mm}$

Stivhet pukk rundt kum:

Tykkelse pukklag rundt kum: $h_{p.r.kum} := 1.5m$

Areal pukk rundt kum: $A_{p.kumhoyde} := A_{svill}(h_{p.min}) - A_{kum} = 3 \cdot m^2$

$$A_{p.r.kum}(h) := A_{svill}(h) - 2 \cdot A_{kum}$$

Stivhet svilleopplegg jamfør formel avsnitt 1:

$$k_{svilleopplegg.kum.min} := \frac{E_{pukk.min}}{\int_0^{h_{p.kum}} \frac{1}{(A_{svill}(h))}\, dh} = 101.81 \cdot \frac{kN}{mm}$$

$$k_{svilleopplegg.kum.max} := \frac{E_{pukk.max}}{\int_0^{h_{p.kum}} \frac{1}{(A_{svill}(h))}\, dh} = 305.43 \cdot \frac{kN}{mm}$$

Stivhetsbidrag svilleopplegg rundt kum jamfør formel avsnitt 1:

$$k_{svill.r.kum.min} := \frac{E_{pukk.min}}{\int_{h_{p.kum}}^{h_{p.kum}+h_{p.r.kum}} \frac{1}{A_{p.r.kum}(h)}\, dh} = 87.76 \cdot \frac{kN}{mm}$$

$$k_{svill.r.kum.max} := \frac{E_{pukk.max}}{\int_{h_{p.kum}}^{h_{p.kum}+h_{p.r.kum}} \frac{1}{A_{p.r.kum}(h)}\, dh} = 263.28 \cdot \frac{kN}{mm}$$

Sammensatt ekvivalent stivhte i område rundt kum:

$$k_{svill.kum.min} := \left(\frac{1}{k_{svilleopplegg.kum.min}} + \frac{1}{k_{svill.r.kum.min} + k_{kum}} \right)^{-1} = 63.63 \cdot \frac{kN}{mm}$$

$$k_{svill.kum.max} := \left(\frac{1}{k_{svilleopplegg.kum.max}} + \frac{1}{k_{svill.r.kum.max} + k_{kum}} \right)^{-1} = 162.05 \cdot \frac{kN}{mm}$$

6 Dynamiske vurderinger

Lengdeavstand mellom akslinger tog: $s_{hjulpar} = 3 \cdot m$

Tid mellom akselbelastning: $t_{belastning} := \frac{s_{hjulpar}}{v_{tog}} = 43.2 \times 10^{-3}\,s$

Frekvens belastning: $f_{belastning} := t_{belastning}^{-1} = 23.1\,\frac{1}{s}$

Masse belastning 1/2 sville: $m_{belastning} := \frac{m_{aksellast}}{2} = 9000kg$

Egenfrekvens belastet svill: $\omega_{svill.min} := \sqrt{\frac{k_{svilleopplegg.min}}{m_{belastning}}} = 89\,\frac{1}{s}$

$\omega_{svill.max} := \sqrt{\frac{k_{svilleopplegg.max}}{m_{belastning}}} = 154.1\,\frac{1}{s}$

Egenfrekvens svill ved kum: $\omega_{svill.kum.min} := \sqrt{\frac{k_{svill.kum.min}}{m_{belastning}}} = 84.1\,\frac{1}{s}$

$\omega_{svill.kum.max} := \sqrt{\frac{k_{svill.kum.max}}{m_{belastning}}} = 134.2\,\frac{1}{s}$

