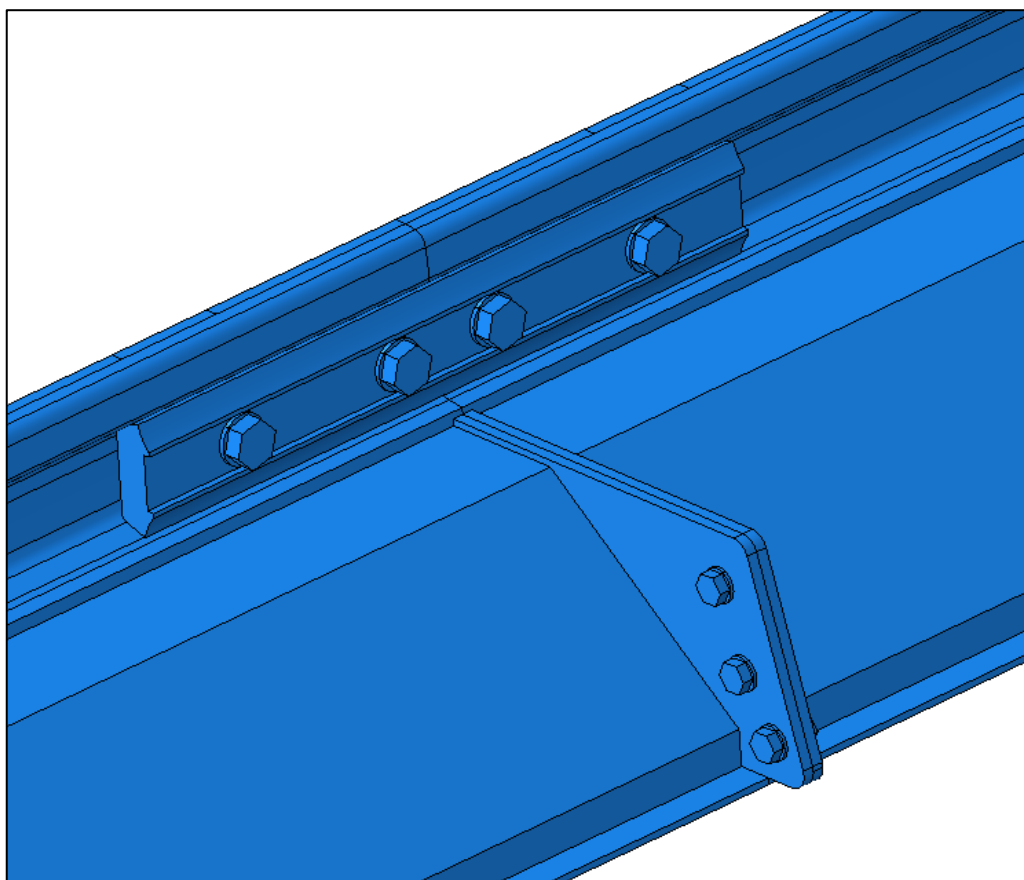


Railbeam

Railbeam TN406 – Verificering af samling

4. november 2014



Sags ID: 14-111

Dokument ID: 14111_5402, revision 01

Klient: Tradehouse Int. A/S

Forberedt af: Rasmus Brøndum, Jørgen Krabbenhøft

1 Resume

Nærværende rapport omhandler eftervisning af samlingsdetalje mellem to Railbeams.

Railbeamsystemet består overordnet af to dele: en skinne samt en opsvejst stålkassedrager, sidstnævnte i det følgende kaldt Railbeamen, begge med en total længde på 6.0 m. Railbeamen afsluttes med endeplader, hvor hver endeplade er forsynet med 2x3 Ø18 huller, forberedt til 8.8 M16 bolte. Railbeamen placeres enten direkte på en gruspude eller som i nærværende projekt på en 25 mm stålplade udlagt på grundpuden.

Oven på Railbeamen placeres skinnen, som ligeledes er modulær, og samles i sine respektive snit med to kraftige lasker kilet ind mellem skinnehoved og skinnefod og sikres ved hjælp af fire gennemgående M24 bolte.

Samling mellem Railbeamen og skinnen er placeret i samme lodrette snit. De udlagte 25 mm plader er 1.7 m brede og 6 m lange og placeres central omkring railbeam/skinne-samlingen, med én plade under selve samlingen. Det antages i det følgende at momentet i samlingssnittet optages i den 25 mm stålplade samt Railbeamboltesamlingen og, at forskydningskraften i samme snit alene overføres gennem skinnelaskerne. Trykkraften fra bogiens hjul overføres i samlingen med kontaktryk fra skinnen ned til Railbeamen og videre ned til stålpladerne

Først findes styrken af de indgående stålelementer på tværsnitsniveau: skinne, lasker, Railbeam og underliggende plade. Styrken af laskerne samt flangesamlingen mellem Railbeamsene er ydermere blevet fundet ved hjælp af FE beregninger. Bæreevne af de respektive elementer bruges i en efterfølgende global beregning af bjælker på elastisk underlag.

I den globale beregning er det nødvendigt at kende til styrken samt stivheden af underlaget for at kunne bestemme fjederunderlagets opførsel. Til at etablere styrken og stivheden af jord-struktur systemet udføres beregninger ved hjælp af programmet OptumG2.

På baggrund af disse resultater opstilles en global 2D bjælke-fjeder model af 3 sammenhængende Railbeams på et elasto-plastisk underlag, hvor fjederopførslen kalibreres med resultaterne fra OptumG2 resultaterne og hvor styrken af samlingen mellem de enkelte Railbeams kalibreres med resultater fra de indledende beregninger af stålelementerne, I bjælkeberegning medtages kun stivheden af selve Railbeamen, og i samlingen mellem Railbeamsene indsættes en ikke-lineær rotationsfjeder med en maksimal kapacitet på 113.3 kNm svarende til den plastiske momentbæreevnen af den underliggende 25 mm plade samt Railbeamsamlingen.

Det kritiske lasttilfælde identificeres for Kran 4 til: "Hjørnetryk under drift – stilling I". For det kritiske lasttilfælde undersøges Railbeamen for 3 forskellige bogieplaceringer: hjulpar lige til venstre for samlingssnit, hjulpar placeret symmetrisk omkring snit og hjulpar lige til højre for snit. Analysen foretages for tre sammenhængende Rail Beams og repræsenterer hermed det mest kritiske tilfælde hvor bogien befinder sig på samlingen af den afsluttende Railbeam sektion.

Resultatet af analysen er som følger:

- For alle placeringer af bogien opnås ligevægt mellem de ydre kræfter fra bogien og reaktionen fra det elasto-plastiske underlag (jorden modtryk).
- For alle tre bogieplaceringer findes momentet i samlingen til 113.3 kNm, svarende til den totale regningsmæssige momentkapacitet i snittet. Laskerne har en regningsmæssig

forskydningskapacitet på 636 kN. Den største forskydningskraft findes i samlingsnittet på 568 kN og er således acceptabelt.

- Det største moment i Railbeamen findes til 309 kNm og er mindre end den regningsmæssige bæreevne på 334 kNm fra Railbeam og skinne.

For den valgte beregningsmetodik er de 25 mm bundplader afgørende for styrken af systemet. Da moment i snittet primært optages af den 25 mm plade er det vigtigt at denne placeres symmetrisk omkring samlingsnittet.

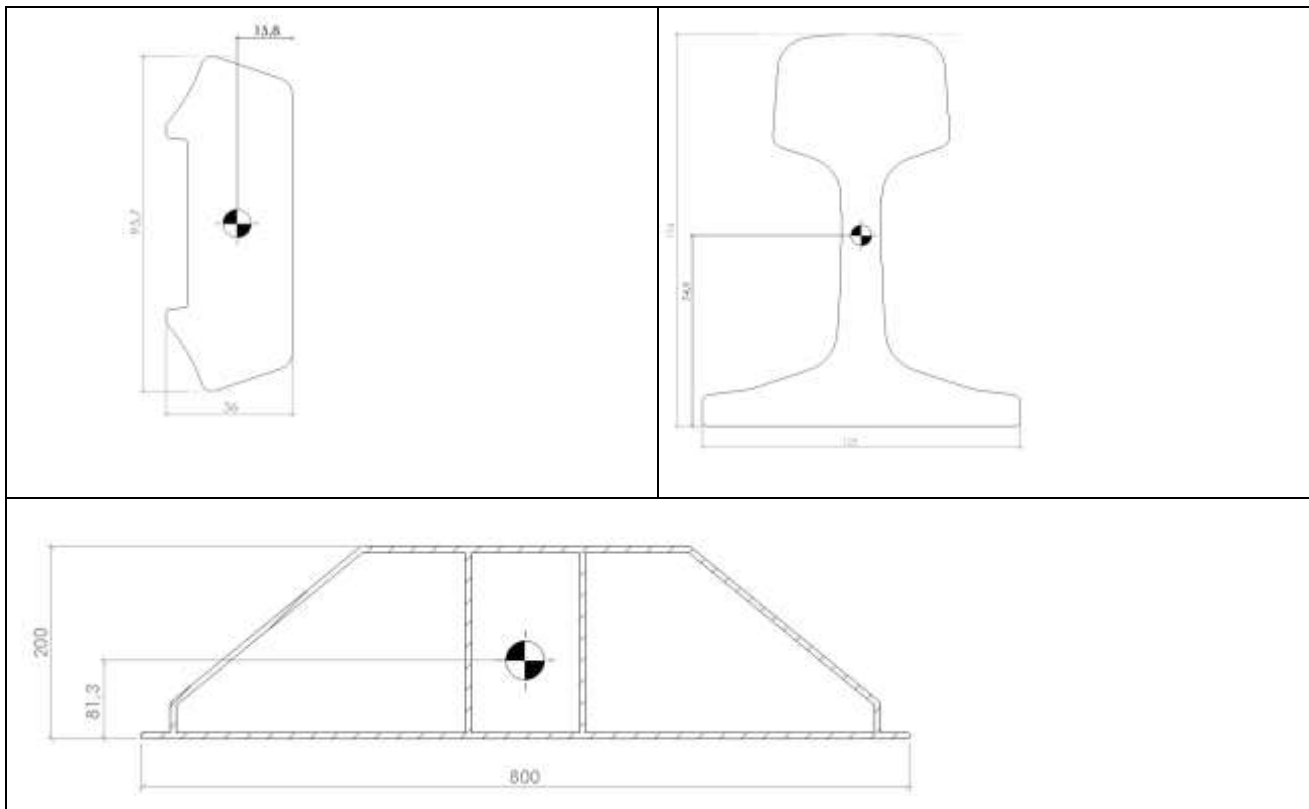
2 Indledning og formål

Formålet med nærværende rapport er at eftervise styrken af samlingen mellem to Railbeams med tilhørende skinne udlagt på en 25x1700 mm stålplade.

Alle beregninger er udført iht. Eurocodes.

3 Geometri, laster, materialer og styrker

3.1 Railbeam- og skinnegeometri



Figur 1: Geometri af lasker, skinne og Railbeam

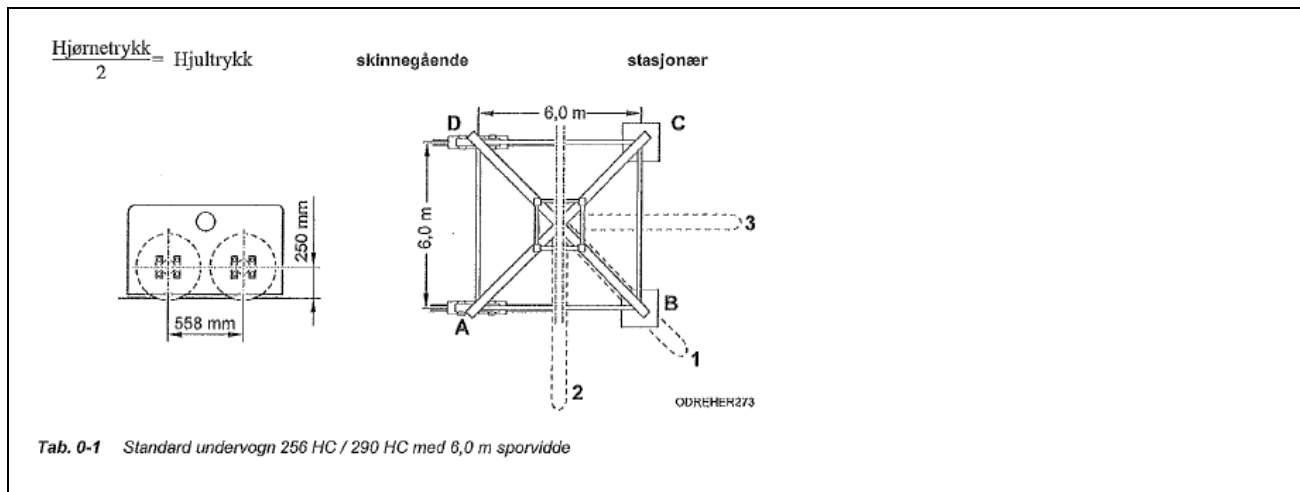
Tabel 1: Tværskningskonstanter og styrker

	Schiene S 54 (Skinne)	Laschen FL14a (Laskeplade)	TN406 (Rail-Beam)	Plade 25x1700
Area [mm ²]	6915	2733	12508	42500
I _x [mm ⁴]	3.50E+06	217365	5.62E+08	
I _y [mm ⁴]	2.07E+07	1.80E+06	7.60E+07	2.21E+06
MCG [mm]	74.92	47.85	81.3	
W _y [mm ³]	2.76E+05	3.76E+04	640270	265625
f _{yk} [Mpa]	325	275	345	345
f _{yd} [Mpa]	295.5	250	313.6	313.6
M _{Ryd} [kNm]	81.6/133.4	18.8	200.8	83.3
F _{vRd} [kN]	1179.6	788.9	869.2	
Masse [kg/m]	54.3	21.5	98.2	334

3.2 Railbeam laster

	g^{AB}	52,55	76,420		25	110	160							
	A				473	736	158	71	431	710	148	159		
		B			926	841	788		853	710	710			
		C			473	210	788		431	148	710			
		D			21	106	158		0	148	148			
	g^{XXX}	56,69	91,400		515	788	185	72	435	805	137	168		

Figur 2: Laster for kran 4



Figur 3: Bogie placering

Tabel 2: Karakteristiske og regningsmæssige laster for tre forskellige stillinger: I, II og III. Kritiske lasttilfælde "Stilling I" markeret i tabel. Hjul A og B alene betragtet da disse er kritiske.

Bogie	g_f	Fbogi	Fbogi,d	Fhjul,d
-	-	kN	kN	kN
A,I	1.3	473	614.9	307.5
B,I	1.3	926	1203.8	601.9
A,II	1.3	736	956.8	478.4
B,II	1.3	841	1093.3	546.7
A,III	1.3	158	205.4	102.7
B,III	1.3	788	1024.4	512.2

Railbeamen undersøges for det kritiske lasttilfælde: "Hjørnetryk under drift – stilling I". Kun Kran 4 betragtes. Alle laster multipliceres 1.3, hvorved den maksimalt virkende bogielast bliver 1204 kN.

3.3 Materialer

Karakteristisk og regningsmæssig styrke af stål fremgår af Tabel 1.

3.4 Tværsnitsberegning

Tværsnitskonstanter og bærevene af tværnit er angivet i Tabel 1 og udregnet som følger:

Elastisk momentbæreevne af skinne, lasker og Railbeam:

$$M_{Rd} = W_{el} * f_{yd}$$

Plastisk momentbæreevne af Plade 25x1700 samt skinne S54:

$$M_{Rd} = W_{pl} * f_{yd}$$

Forskydningsbæreevne af profiler:

$$F_{vRd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} * A_v$$

For de forskellige elementer vælges følgende forskydningsarealer:

Skinne:

$$A_v = A$$

Lasker:

$$A_v = 2 * A_{lasker}$$

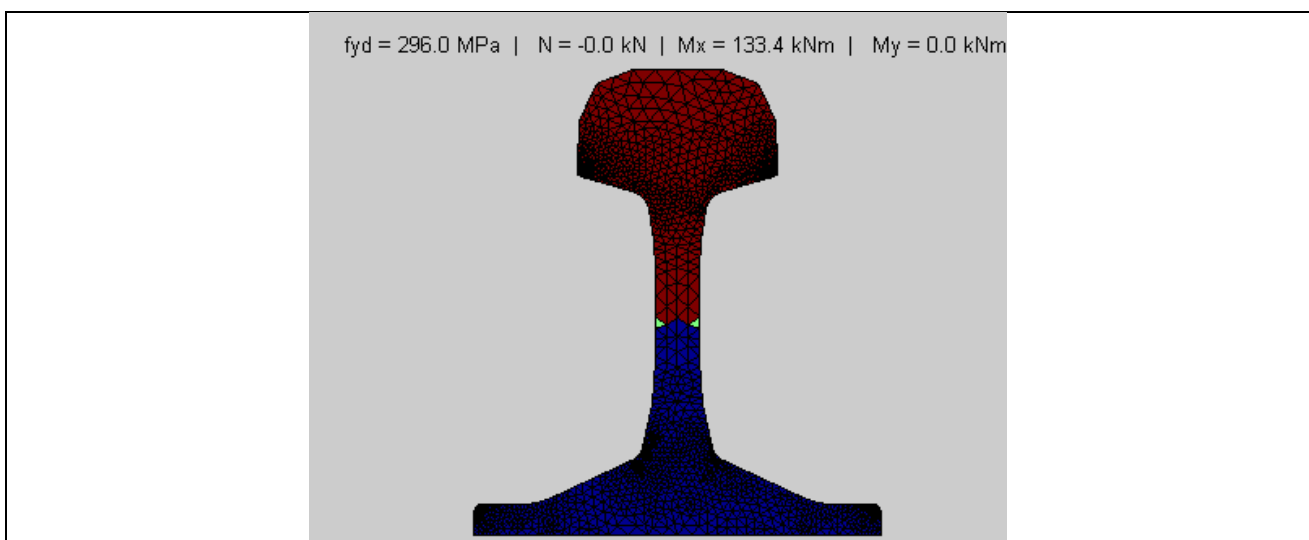
Railbeam:

$$A_v = 4 * 200mm * 6mm$$

I appendiks B er vist resultater fra en detaljeret FE analyse af samlingen mellem to skinner. Skinnerne samles ved hjælp af to lasker (fish plates) og fire tværgående M24 bolte. I nærværende rapporter medtages alene forskydningskapaciteten af denne samling og ikke momentkapaciteten. Forskydningskapaciteten er således undersøgt ved hjælp af en FE beregning hvor effekten af sammenvirkningen mellem skinner, lasker og bolte er medtaget.

Som de to skinner forskydes lodret presses laskerne ud vandret og skaber dermed et træk i boltene. Den detaljerede beregning viser at samlingen kan optage en regningsmæssig forskydningskraft på 636 kN hvorved den hårdest belastede M24 bolt udsættes for en trækraft på 130 kN. Boltene har en regningsmæssig kapacitet på 200 kN/bolt i kvalitet 8.8.

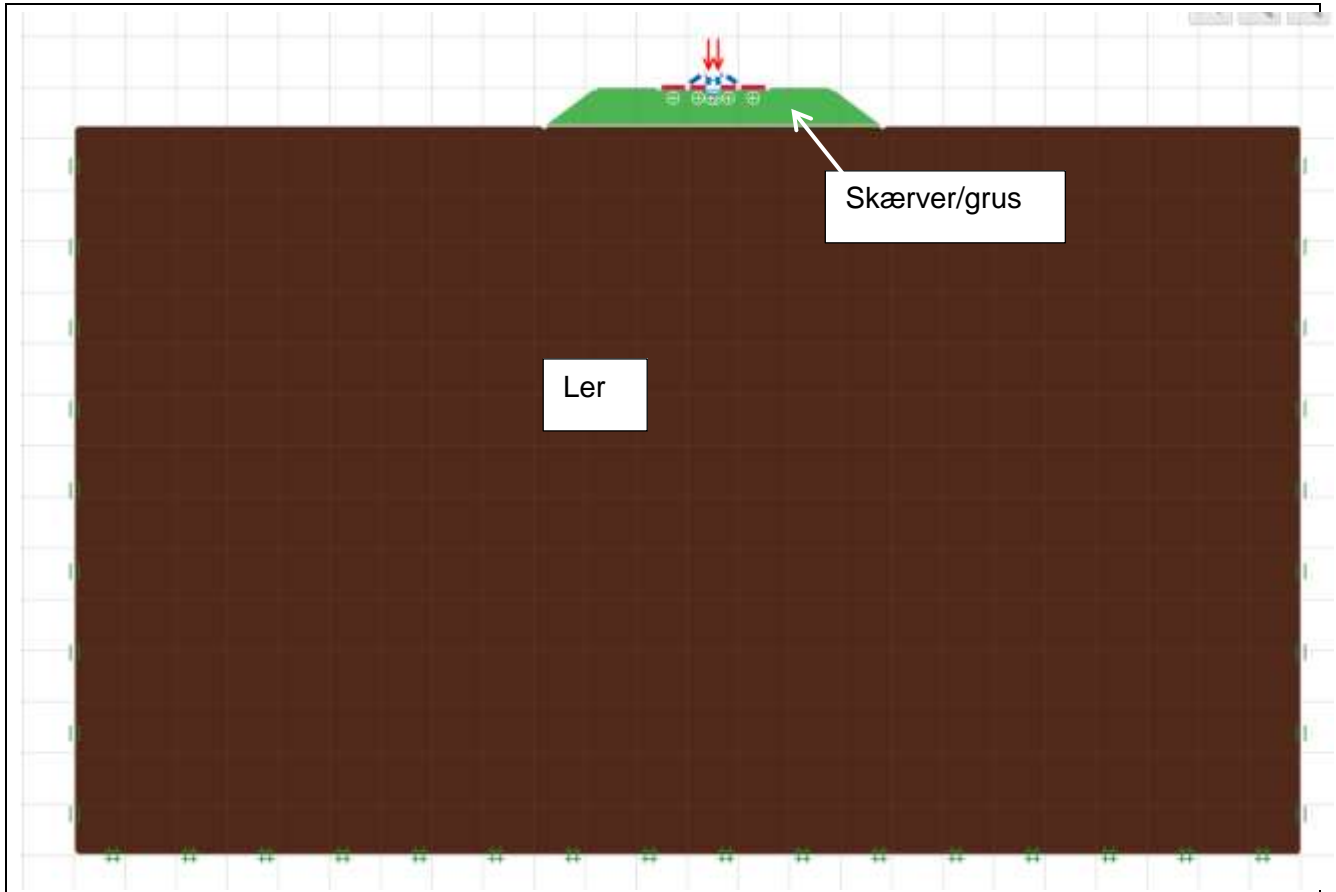
Overslagsberegningen af laskerne giver en forskydningsbæreevne på 789 kN. Altså en lidt højere værdi end FE beregningen.



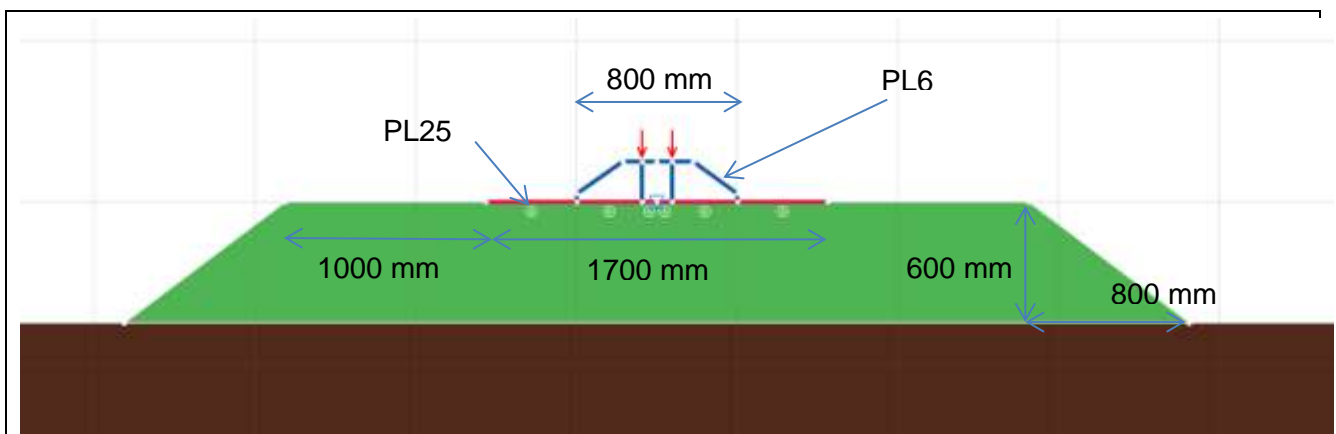
Figur 4: Plastisk modstandsmoment af S54.

4 OptumG2 beregning

4.1 Geometri og materialer



Figur 5: Beregningsdomæne



Figur 6: Dimensioner af Railbeam og gruspude

Det antages at Railbeamen anbringes på en 25 mm plade som igen anbringes på en gruspude. Bemærk at lokalt under samlingen anvendes én 25 mm plade og at bundpladen af selve Railbeamen på den sikre side undlades i OptumG2 beregningen. Den karakteristiske friktionsvinkel af gruset sættes til 40°, hvorved den regningsmæssige friktionsvinkel findes til

$$\varphi_d = \operatorname{atan}\left(\frac{\tan(40)}{1.2}\right) = 35.0^\circ$$

Gruspuden placeres på et underlag hvor den regningsmæssige bæreevne er oplyst til 300 kN/m². Det oplyses endvidere at underlaget kan regnes som ler hvorved følgende regningsmæssige bæreevneligning kan opskrives :

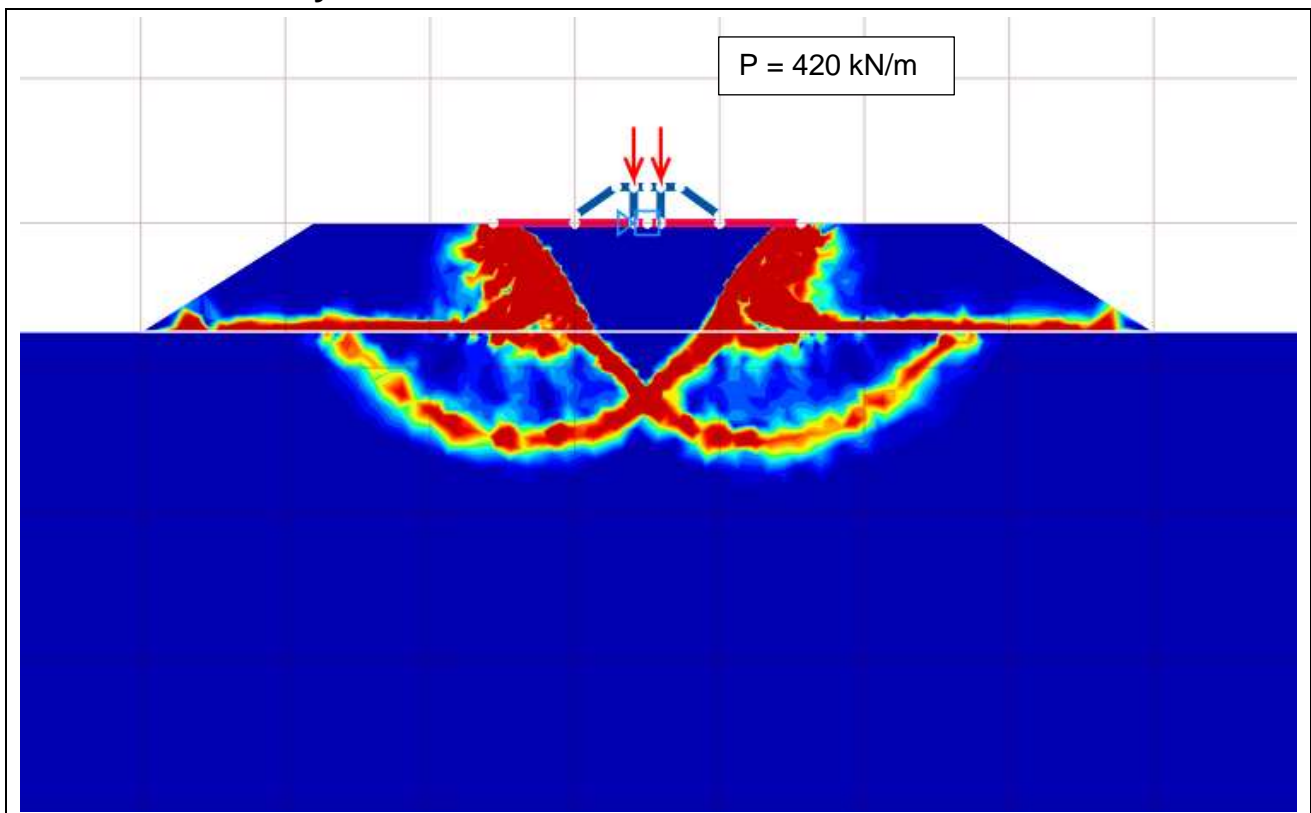
$$\frac{R_d}{A} = 300 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 5.14 * c_{ud} * s_c * i_c$$

Det antages at der ikke er horisontale laster (i_c=1) samt at udtrykket betragtes for et stribefundament (s_c=1) hvorved følgende regningsmæssige udrænedede kohæsion findes

$$c_{ud} = \frac{300}{5.14} = 58.4 \approx 60 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Rumvægt af grus og ler sættes til 18 kN/m³. Stivheden af gruset vurderes til 100 MPa og leret til 40 MPa.

4.2 Bæreevne af system – ULS



Figur 7: Brudfigur baseret på gennemsnit af nedre- og øvre værdi beregning af det koblede system: Railbeam, stålplade, gruspude samt lerunderlag. Railbeamen påsættes to linielaste med samlet intensitet på 2 kN/m og OptumG2 udregner en maksimal lastfaktor på 210 svarende til en bæreevne på $R_d/Leff = 2 \cdot 210 = 420 \text{ kN/m}$.

Ved hjælp af OptumG2 findes bæreevnen af systemet til $Q_d = 420 \text{ kN/m}$. Beregningen forudsætter en plan tøjningstilstand, og for at omregne til et rummeligt fundament med en endelig længde anvendes formfaktoren for s_c givet ved:

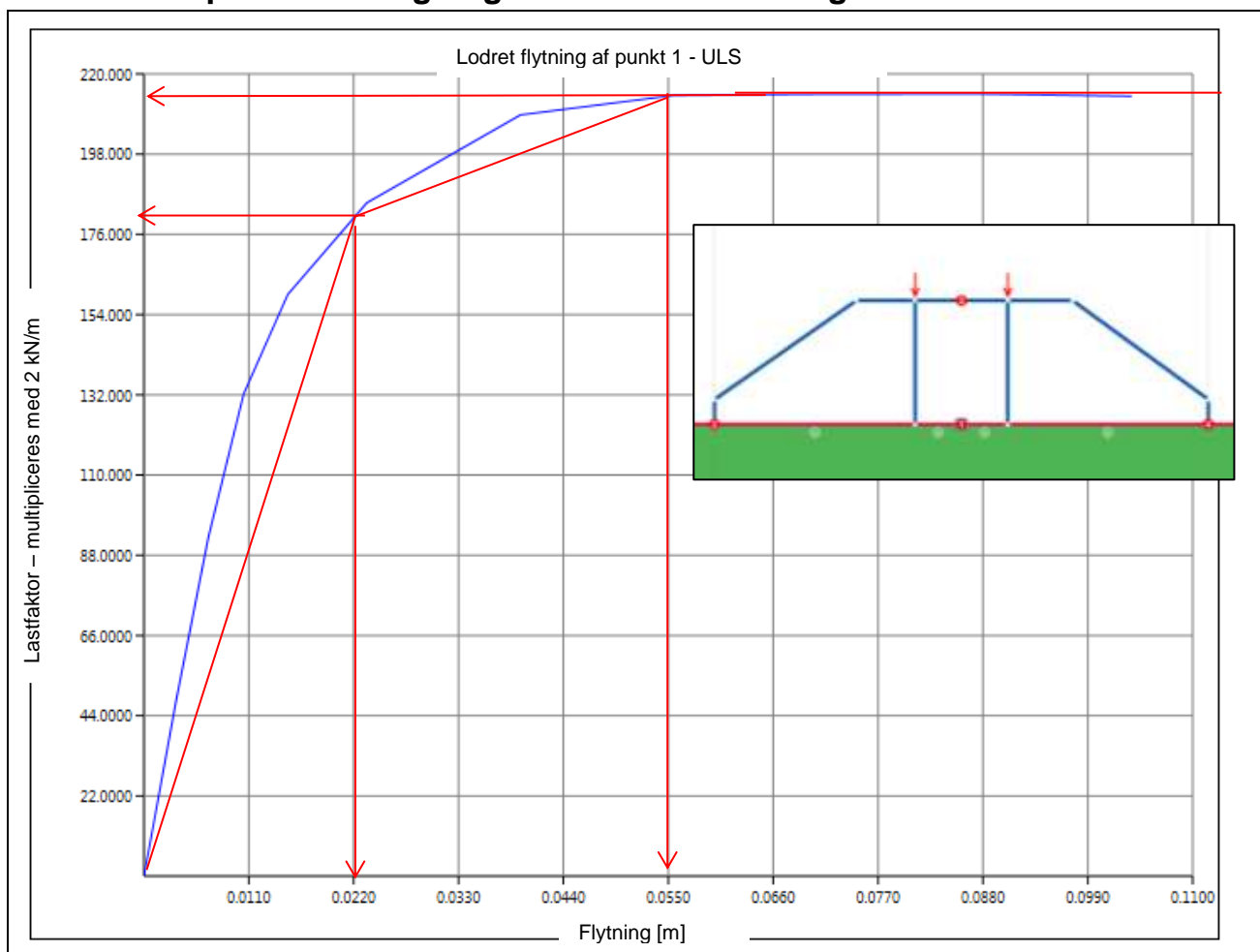
$$s_c = 1 + 0.2 * \frac{b}{l}$$

Tabel 3: Udregning af effektive bæreevne til brug i beregning af bjælke på elastisk underlag

$Q_{\text{fund,d}}$	Le_{eff}	b_{eff}	s_c	F_{fund}	$q_{\text{fund,d}}$
kN/m	m	m	-	kN	kN/m
420	2.6	1.7	1.13	1234.8	475

Ved at sætte den effektive længde af Railbeamen til 2.6 m findes at fundamentet kan optage 1235 kN som netop er tilstrækkeligt til at optage lasten fra den hårdeste belastede bogie på 1204 kN. Den totale bæreevne fordelt over den effektive længde svarer til et jævnt fordelt modtryk fra jorden langs Railbeamen på 475 kN/m. Jordens/underlagets maksimale bæreevne på 475 kN/m anvendes i den efterfølgende beregning af bjælke på et elastisk underlag.

4.3 Elasto-plastisk beregning – stivhed af underlag



Figur 8: Last-flytningsdiagram af punkt 1

For at vurdere stivheden af underlaget laves yderligere en beregning i OptumG2 til fastlæggelse af last-flytningsforløbet af Railbeamundersiden markeret med et "1" tal i Figur 7.

Stivheden af underlaget udregnes approksimative som vist i figuren og nedenstående tabel:

Tabel 4: Stivhed af underlag

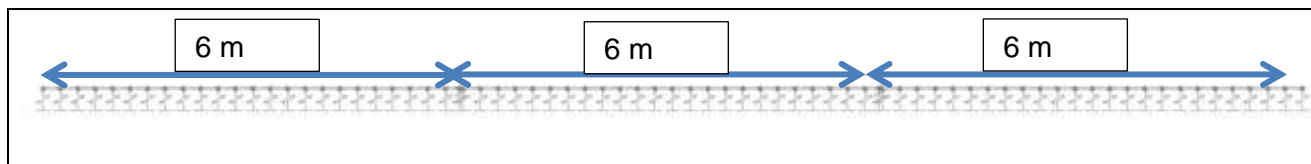
LF	sc*F*2	U	dF	du	k
-	<i>kN/m</i>	<i>m</i>	<i>kN/m</i>	<i>m</i>	<i>kN/m/m</i>
180	407	0.022	407	0.022	18491
210	475	0.055	68	0.033	2055

Det vil sige ved en oplastning til det maksimalt tilladelige niveau på 475 kN/m, vil fundamentet opleve en lodret flytning på 0.055 m. Denne værdi inkluderer effekten af én 25 mm stålplade.

I den efterfølgende beregning af en bjælke på elastisk underlag, sættes fjedrestivhederne til værdierne angivet i tabel 4. Stivheden af bjælkerne sættes til stivheden af Railbeamen angivet i tabel 1.

5 Bjælke på elastisk underlag

5.1 Model

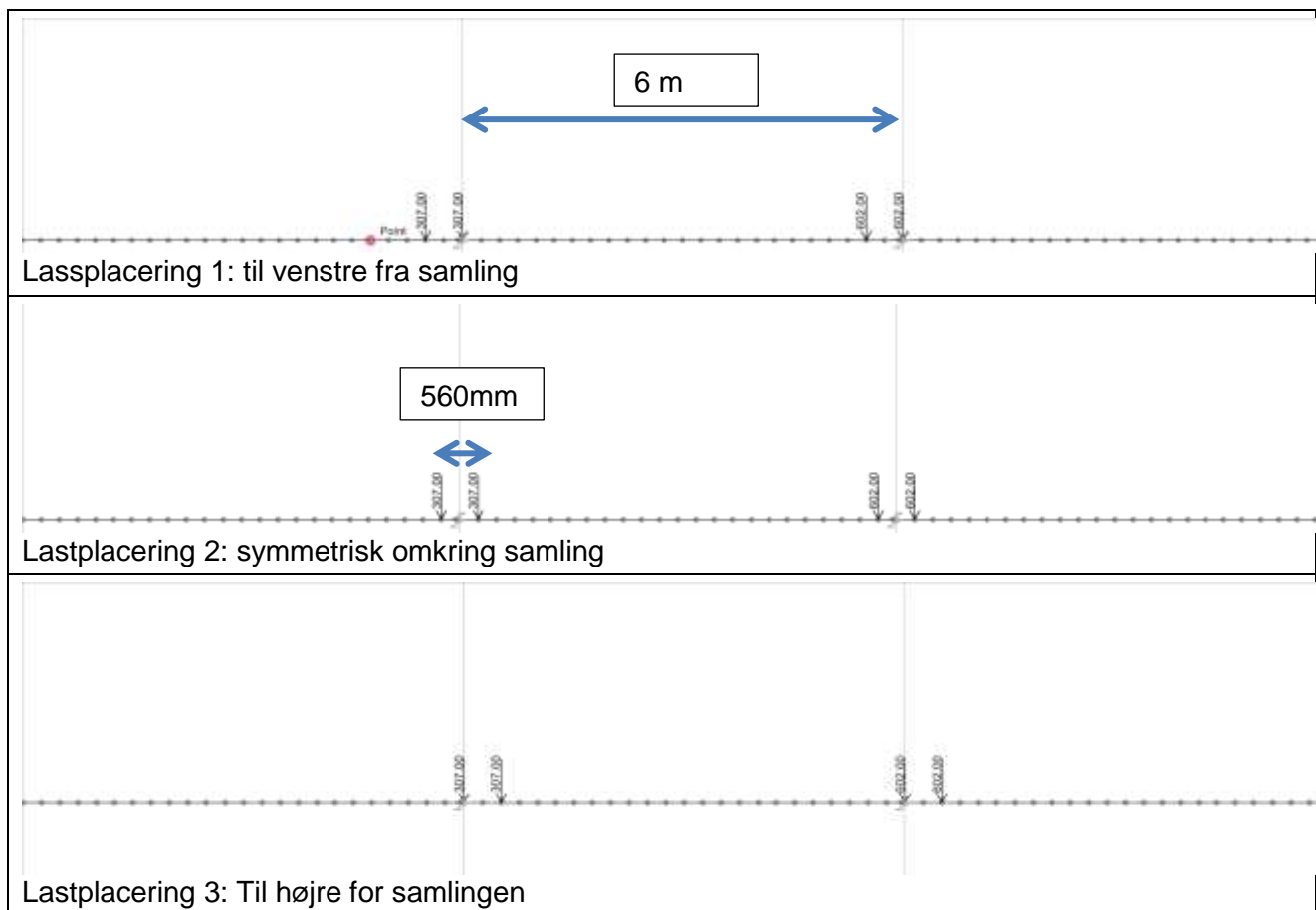


Figur 9: FE model af Railbeam på elastisk underlag. Tre sektioner medtages i model .

FE modellen af Railbeamen er vist i ovenstående figur. I modellen modelleres tre sektioner hvor alle placeres på ikke-lineære elastiske fjedre. Fjedrene kan kun optage tryk og har et lastflytningsforløb som vist i Tabel 4, med en maksimal trykkapacitet på 475 kN hvorefter fjederen flyder og således ikke optager yderligere last.

De enkelte Railbeams er forbundet med hængsler og ikke-lineære rotationsfjedre. Rotationsfjedren er stift-plastisk og kan optage et maksimalt moment på 113.3 kNm, svarende til summen af momentbæreevne i et snit tværs gennem en 25 mm bundplade (83.3 kNm) og momentbæreevnen af Railbeamsamlingen (30 kNm, se appendiks A). Stivheden af bjælkerne sættes på den sikre side til stivheden af Railbeamen alene – dvs. eksklusiv stivheden af skinnen.

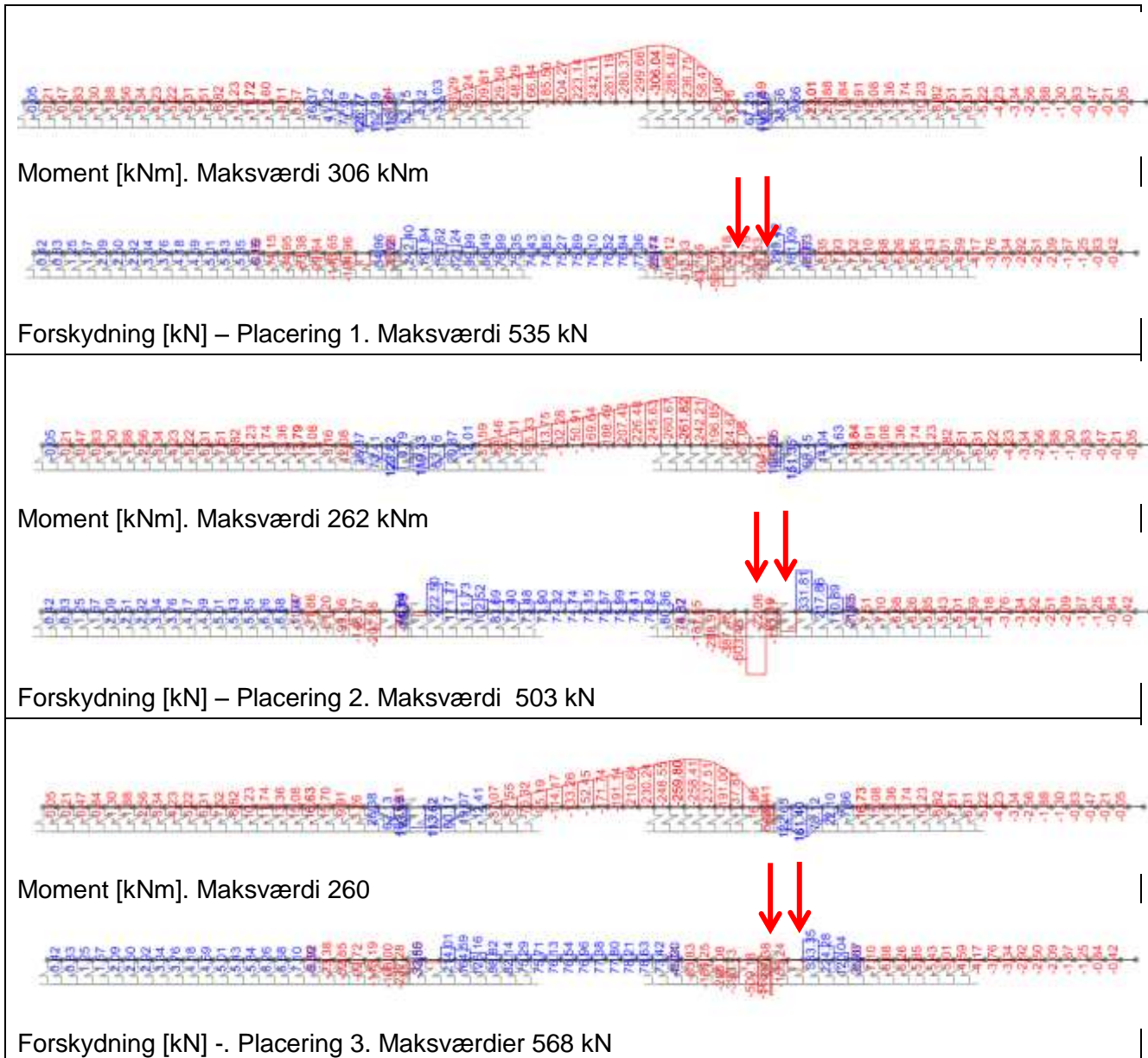
5.2 Laster



Figur 10: Undersøgte lastplaceringer. Centerafstand mellem bogie hjul: cc =560 mm

Railbeamen undersøges for de tre ovenstående lasttilfælde.

5.3 Snitkræfter



Figur 11: Moment- og forskydningsfordeling i bjælkerne for tre forskellige Bogie placeringer

Moment i samling

Det største moment i samling findes til **113.3 kNm** for alle tre last placeringer, og er det maksimalt tilladelige som tidligere nævnt i rapporten.

Forskydningskraft i samling

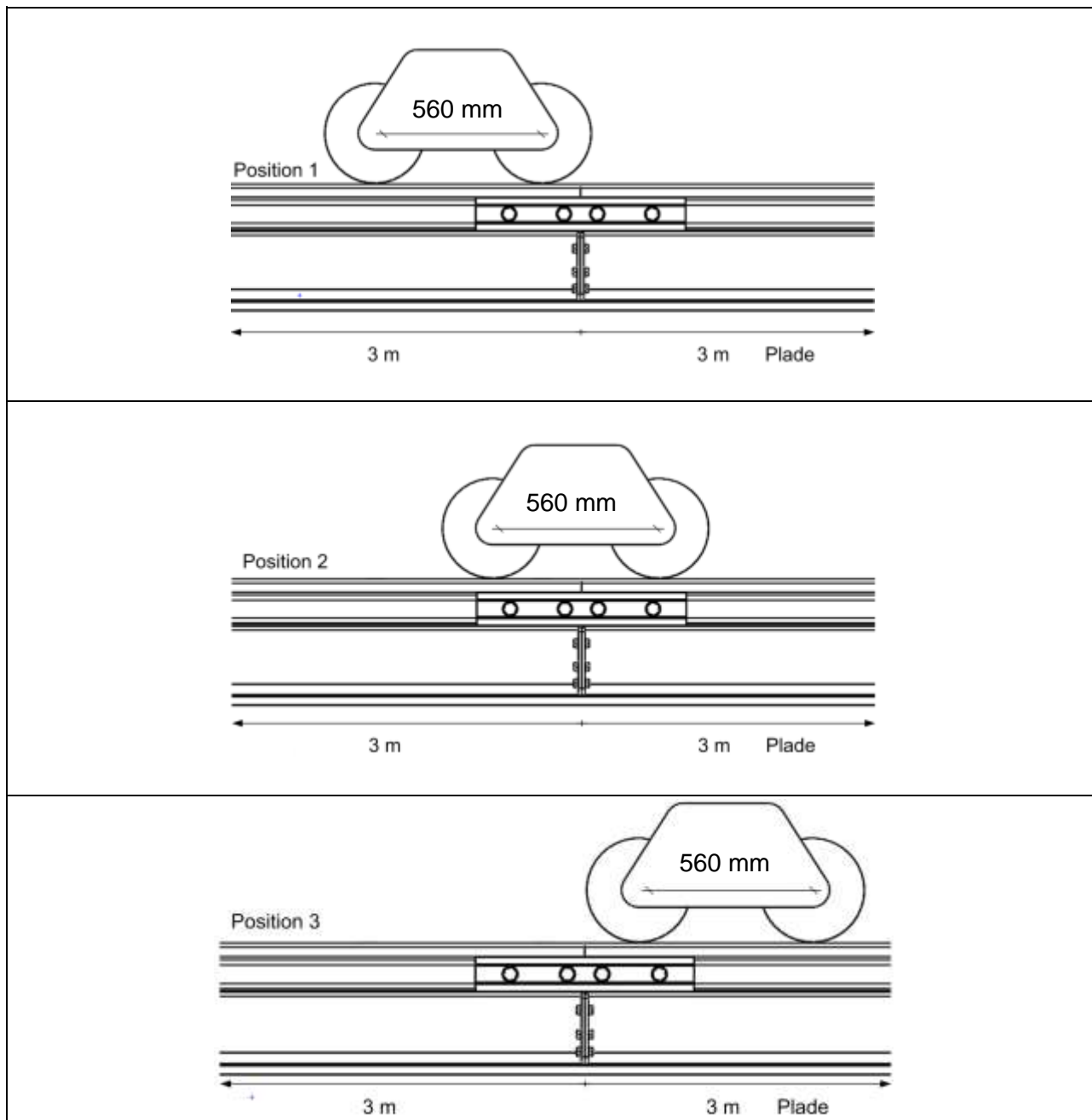
Den største forskydningskraft i samling findes til **568 kN** for Placering 3. Forskydningskraften antages overført alene gennem laskerne, der har en samlet regningsmæssig forskydningskapacitet på **636 kN**

Moment i Railbeam og skinne

For Placering 1 findes det største moment til venstre for det maksimale kraft par til **306 kNm**. Ifølge Tabel 1 kan Railbeamen og skinnen optage hhv. 201 kNm og 133 kNm. Dvs. Railbeamsystemet kan samlet optage et moment på **334 kNm** og er således tilstrækkeligt.

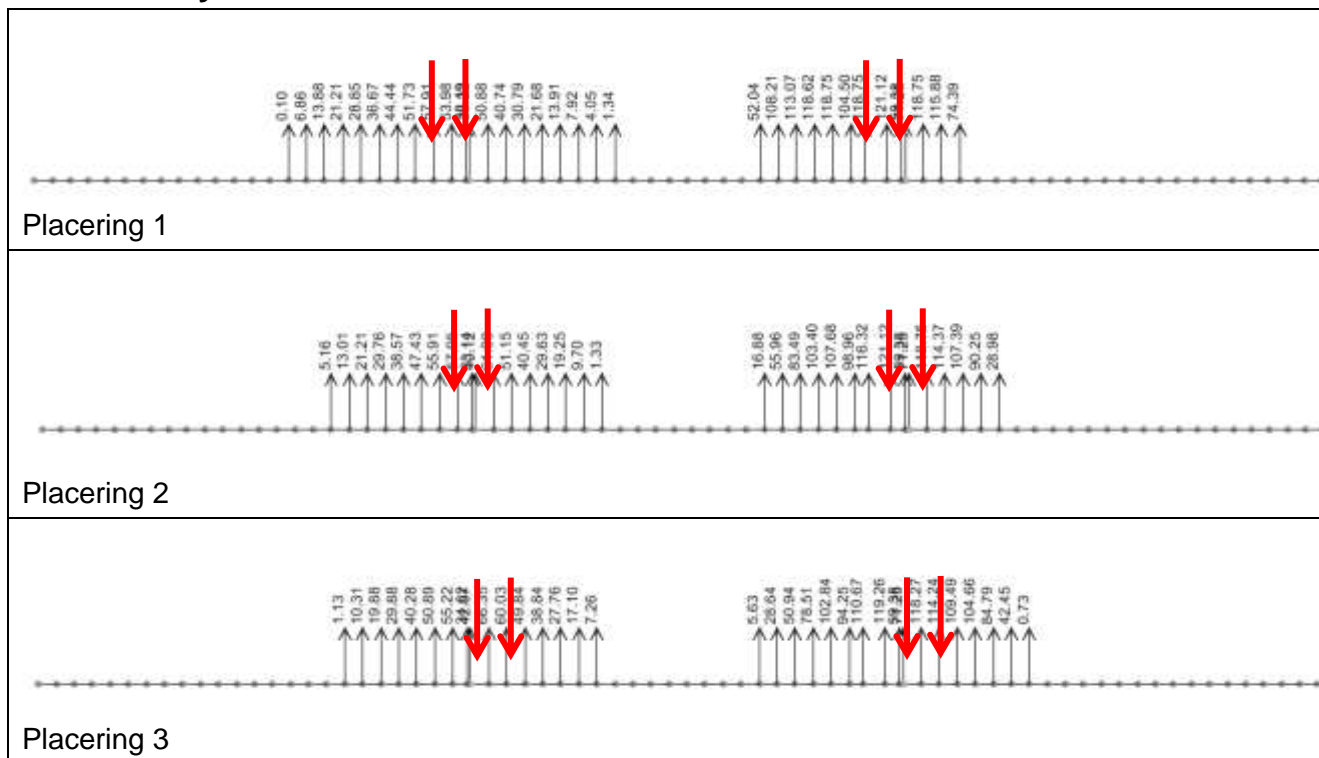
Forskydningskraft i Railbeam og skinne

Den største forskydningskraft optræder i det svageste snit, altså samlingsnittet, og er derfor dimensioneringsgivende for forskydning.



Figur 12: Illustration af bogie placering. Underliggende 6m lange plade centreret omkring samling.

5.4 Jordtryk



Figur 13: Jordtryk under Railbeams

Fjedrene påsættes som diskrete elementer og med en elementlængde op 0.25 fås den tilladelige fjederkraft til

$$F_{fjeder} = 0.25m * 475 \frac{kN}{m} = 118.8 kN$$

Summerede reaktioner ved kritiske lasttilfælde "Stilling I", tabel 2, er følgende

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
LC_I_a	NonStatic	Max	0	0	1848.06
LC_I_a	NonStatic	Min	0	0	1848.06
LC_I_b	NonStatic	Max	0	0	1848.06
LC_I_b	NonStatic	Min	0	0	1848.06
LC_I_c	NonStatic	Max	0	0	1848.06
LC_I_c	NonStatic	Min	0	0	1848.06

$$Fz = 2*(602+307)kN + 18m * 1.67kN/m = 1848.06kN. \text{ Tjek OK.}$$

6 Konklusion

Samlingen mellem to Railbeams er blevet undersøgt styrkemæssigt. Da samlingen er en del af et større koblet system har det ikke være muligt at undersøge styrken af samlingen isoleret. I stedet er udført en global analyse hvor snitkræfterne i de respektive snit, heriblandt samlingsnittet, er blevet verificeret.

Først findes styrken af de indgående stålelementer på tværsnitsniveau: skinne, lasker, Railbeam og underliggende plade. Styrken af laskerne samt flangesamlingen mellem Railbeamsene er ydermere blevet fundet ved hjælp af FE beregninger. Bæreevne af de respektive elementer bruges i en efterfølgende global beregning af bjælker på elastisk underlag.

I den globale beregning er det nødvendigt at kende til styrken samt stivheden af underlaget for at kunne bestemme fjederunderlagets opførsel. Til at etablere styrken og stivheden af jord-struktur systemet udføres beregninger ved hjælp af programmet OptumG2.

På baggrund af disse resultater opstilles en global 2D bjælke-fjeder model af 3 sammenhængende Railbeams på et elasto-plastisk underlag, hvor fjederopførslen kalibreres med resultaterne fra OptumG2 resultaterne og hvor styrken af samlingen mellem de enkelte Railbeams kalibreres med resultater fra de indledende beregninger af stålelementerne

Ved hjælp af den globale model undersøges det kritiske lasttilfælde med bogien placeret i tre forskellige positioner.

Der kan drages følgende konklusioner:

- For alle placeringer af bogien opnås ligevægt mellem de ydre kræfter fra bogien og reaktionen fra det elasto-plastiske underlag (jorden modtryk).
- For alle tre bogieplaceringer findes momentet i samlingen til 113.3 kNm, svarende til den totale regningsmæssige momentkapacitet i snittet.
- Laskerne har en regningsmæssig forskydningskapacitet på 636 kN. Den største forskydningskraft findes i samlingsnittet på 568 kN og er således acceptabelt.
- Det største moment i Railbeamen findes til 309 kNm og er mindre end den regningsmæssige bæreevne på 334 kNm fra Railbeam og skinne.

For den valgte beregningsmetodik er de 25 mm bundplader afgørende for styrken af systemet. Da moment i snittet primært optages af den 25 mm plade er det vigtigt at denne placeres symmetrisk omkring samlingsnittet.

Appendiks A – Momentbæreevne af Railbeam flangesamling

Formålet med næreværende appendiks er at undersøge momentbæreevnen af flangesamlingen mellem to Railbeams. Dvs i beregningen medtages skinnerne ikke. Beregningen udføres ved hjælp af FE programmet Abaqus.

I beregningen sættes akselafstanden til 500 mm, som i praksis er 560 mm. Da formålet med beregningen alene er at bestemme momentbæreevnen af samlingen mellem to Railbeams er den valgte akselafstand ikke vigtig for det endelige resultat.

1 Beskrivelse

Formålet med analysen er at bestemme momentbæreevnen for samlingen imellem to Railbeams, for således at kunne addere momentbæreevnen af Railbeam systemets resterende komponenter (skinne og plade), og dermed opnå Railbeamens samlede momentbæreevne i samlingsnittet.

En samling med 2 m Railbeamsektioner på hver side understøttes symmetrisk i to punkter, svarende til placeringen af to bogie hjul, og undersiden påsættes en jævnt fordelt belastning. Bogiens hjul er placeret symmetrisk omkring samlingen. Belastning øges indtil samlings bæreevne nås. Alle FE beregninger foretages i Abaqus 6.13. De anvendte materiale- samt modelparametre er oplyst i Tabel 5.

Tabel 5: Modelparametre

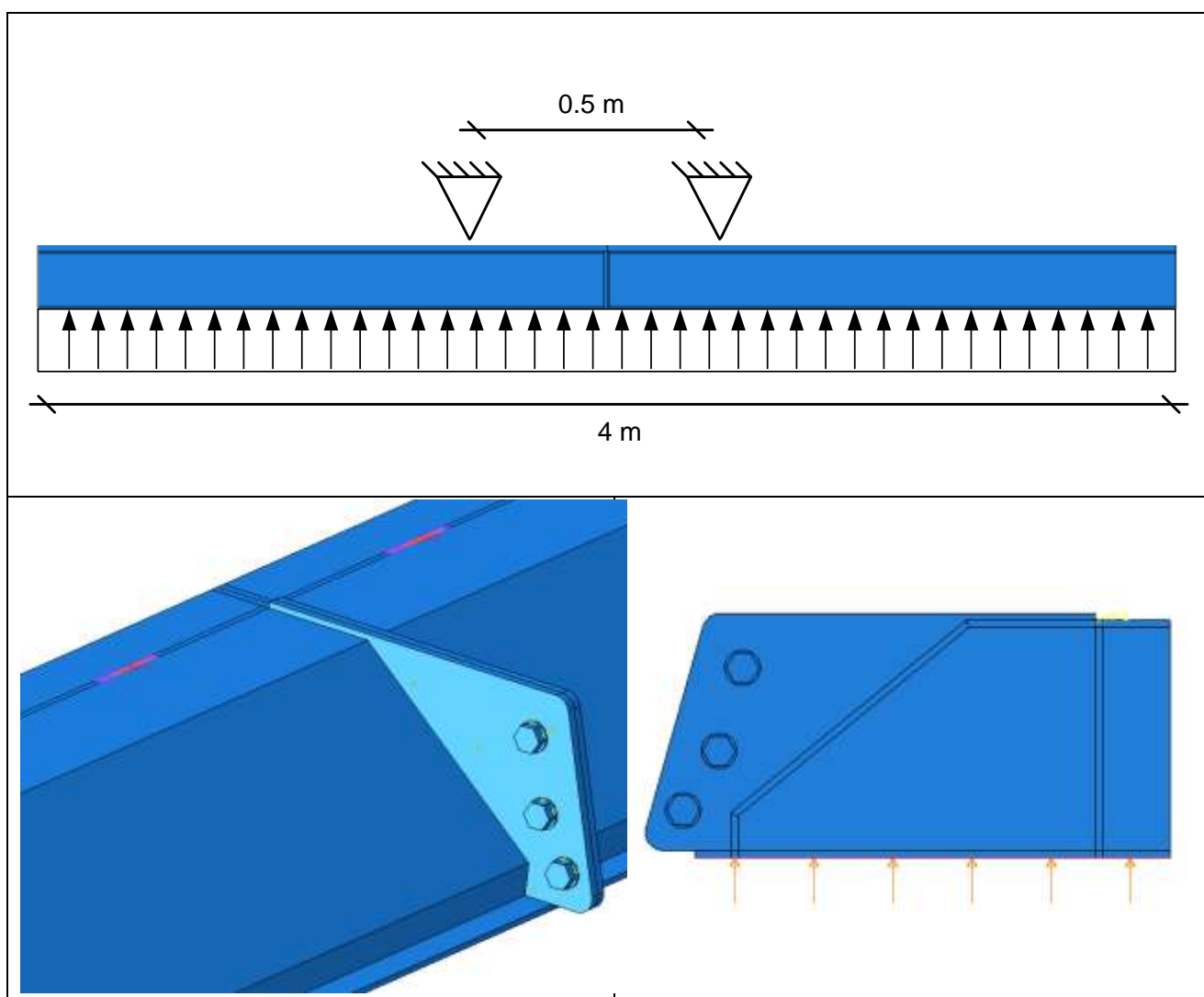
Model	Railbeam TN 406	Bolte 8.8	Kontakt	Materiale	Symmetri	Længde
	σ_{fy} [MPa]	σ_{fy} [MPa]				
Moment6.inp	345	640	Ja	EP	1/2	4 m

2 Model

I Figur 14, ses de anvendte randbetingelser i Abaqus. Som det fremgår af figuren, udføres en simpel understøtning på Railbeamens overflade for at simulere overførslen af kræfterne fra bogiens hjul igennem togskinden. Railbeamen fastholdes i, i alt 4 positioner, 2 positioner på hver side af samlingen. For hver position påføres randbetingelsen over et område på 100x8mm placeret netop over de to langsgående skot, se figur forneden.

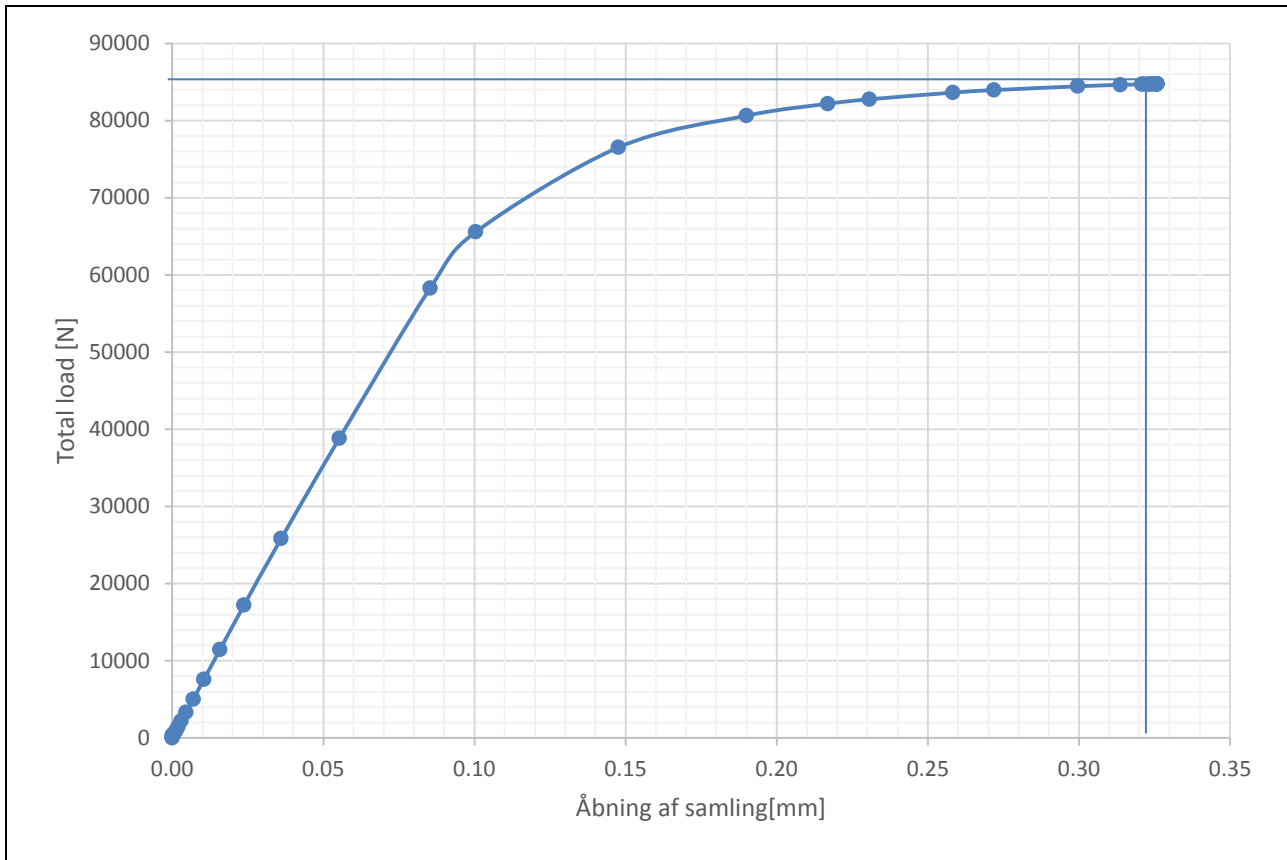
Lasten påføres som et tryk på undersiden af Railbeamen for at simulere underlagets påvirkning. Alle kontaktflader er oprettet med en friktionskoefficient på $\mu = 0.1$. M16 bolte anvendes i flangesamlingen hvor spændingsarealet dikterer diametrene på boltene.

Pga. symmetri modelleres en halv model for således at reducere beregningstiden. I den efterfølgende resultatbehandling multipliceres alle reaktioner samt laster således med en faktor to.



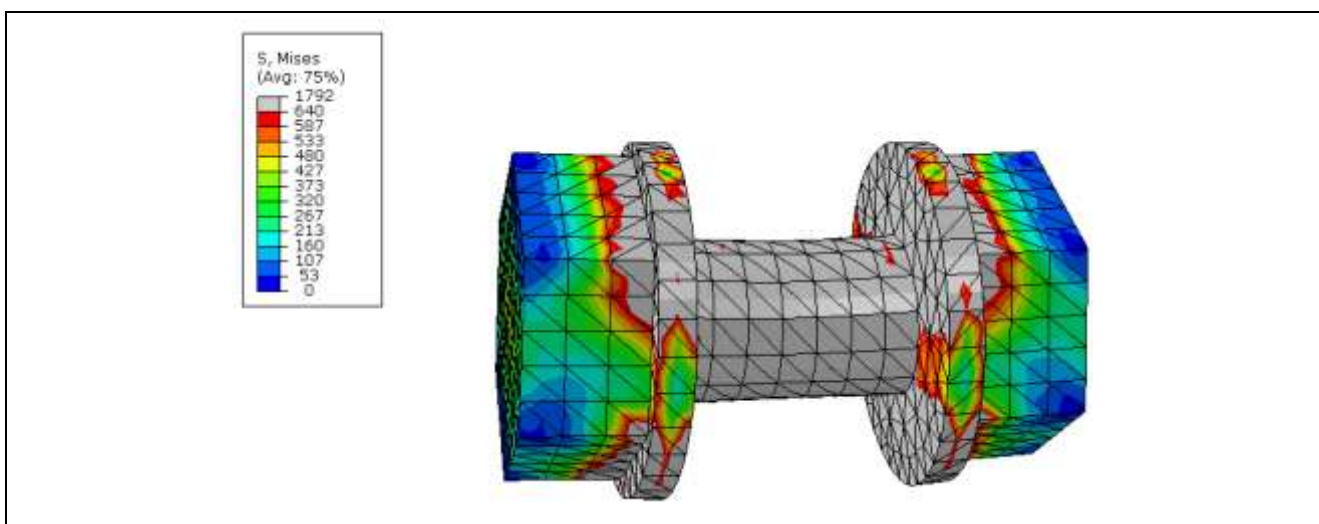
Figur 14: Randbetingelser

3 Resultater



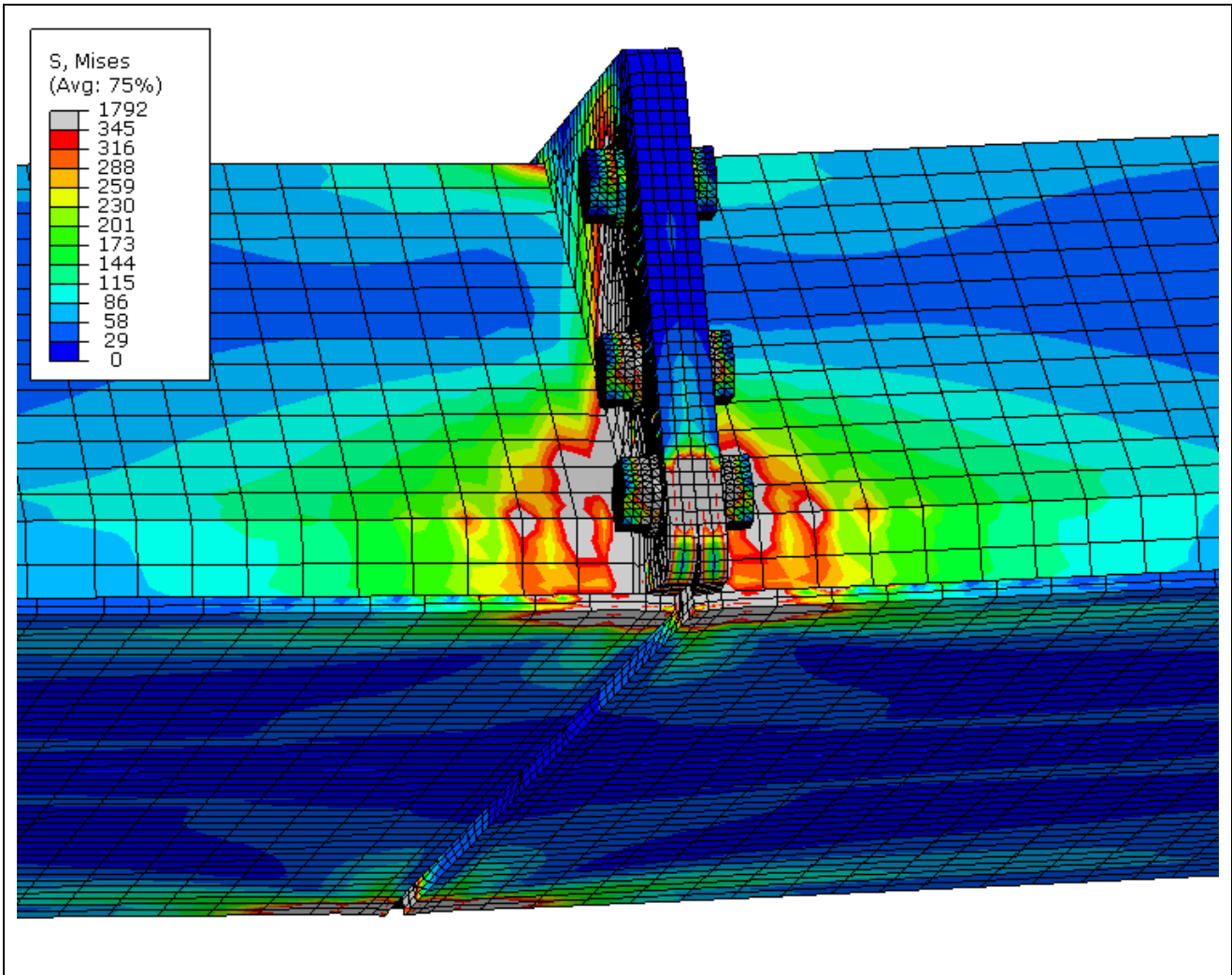
Figur 15: Vandret åbning af samling som funktion af påført total last.

Som tidligere nævnt påføres lasten ind til den maksimale bæreevne opnås. På Figur 15, ses lastflytningskurven for samlingen, hvor den maksimale bæreevne konservativt aflæses til 85kN.



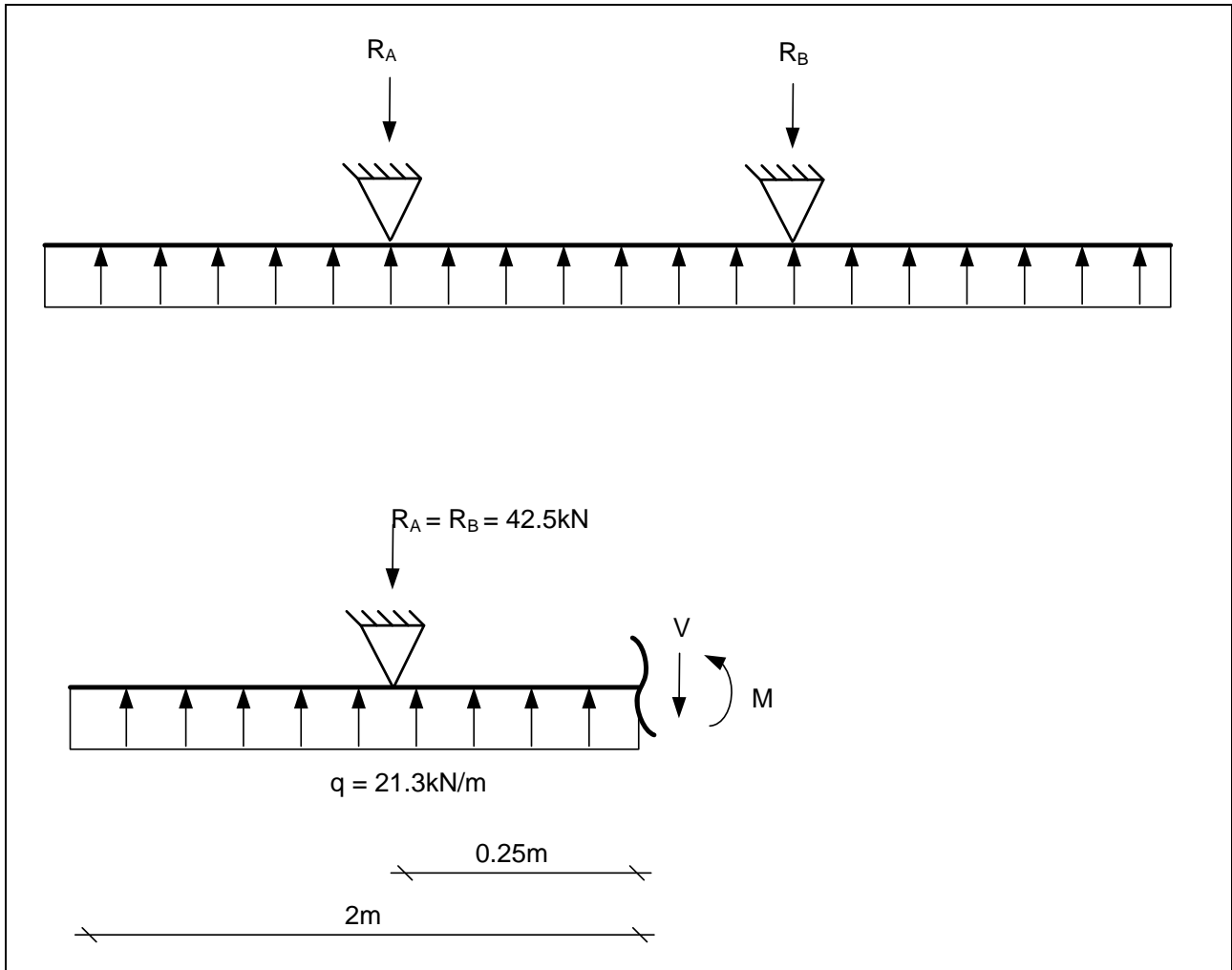
Figur 16: VonMises spændinger i nederste M16 bolte, ved 80 kN total belastning, Lasttrin = 85kN.

På Figur 16 ses vonMises spændinger i den nederste M16 bolt, ved 85 kN last, hvor det fremgår at flydning er opnået i en betydelig del af boltetværsnittet.



Figur 17: VonMises spændinger ved 80 kN total belastning, Deformationsskala = 1., Lasttrin = 80kN

På Figur 16 ses vonMises spændingerne i samlingen, hvor det fremgår at samlingen åbnes for neden hvor der forekommer træk.



Figur 18: Snit i bjælke ved samling.

Antages det at samlingen kan overføre 80kN i total last, bliver den totale momentbæreevne for samlingen ifølge Figur 18 :

$$M = 21.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2\text{m} * 1\text{m} - 42.5\text{kN} * 0.25\text{m} = 32 \text{ kNm}$$

Ud fra Abaqus simuleringen kan det således konkluderes at den regningsmæssige momentbæreevne for samlingen imellem to Railbeams kan regnes i alt til **32kNm / 1.1 = 30 kNm**.

Appendiks B – Forskydningsbæreevne af lasker

I dette appendiks bestemmes forskydningsbæreevnen af laskepladerne anvendt i samlingen af skinner til Railbeam systemet. Skinnerne er af typen "Schiene S 54" og lasker af typen "FL14A"

Bæreevne bestemmes vha. beregninger i programmet Abaqus.

4 Beskrivelse

For at bestemme bæreevnen af laskepladerne isoleret set undlades Railbeamen i analysen.

Modellen består således alene af 2 skinner, 2 laskeplader samt 4 stk. M24 8.8. bolte. Alle komponenter modelleres som elastisk-plastiske og de anvendte modelparametre er vist i Tabel 6. Modellen har en totallængde på 630 mm svarende til længden på en enkelt laskeplade.

Den ene skinne fastholdes mens den anden påføres en lodret flytning for således at udsætte laskepladerne for tilnærmelsesvis forskydning i samlingsnittet.

Tabel 6: Modelparametre

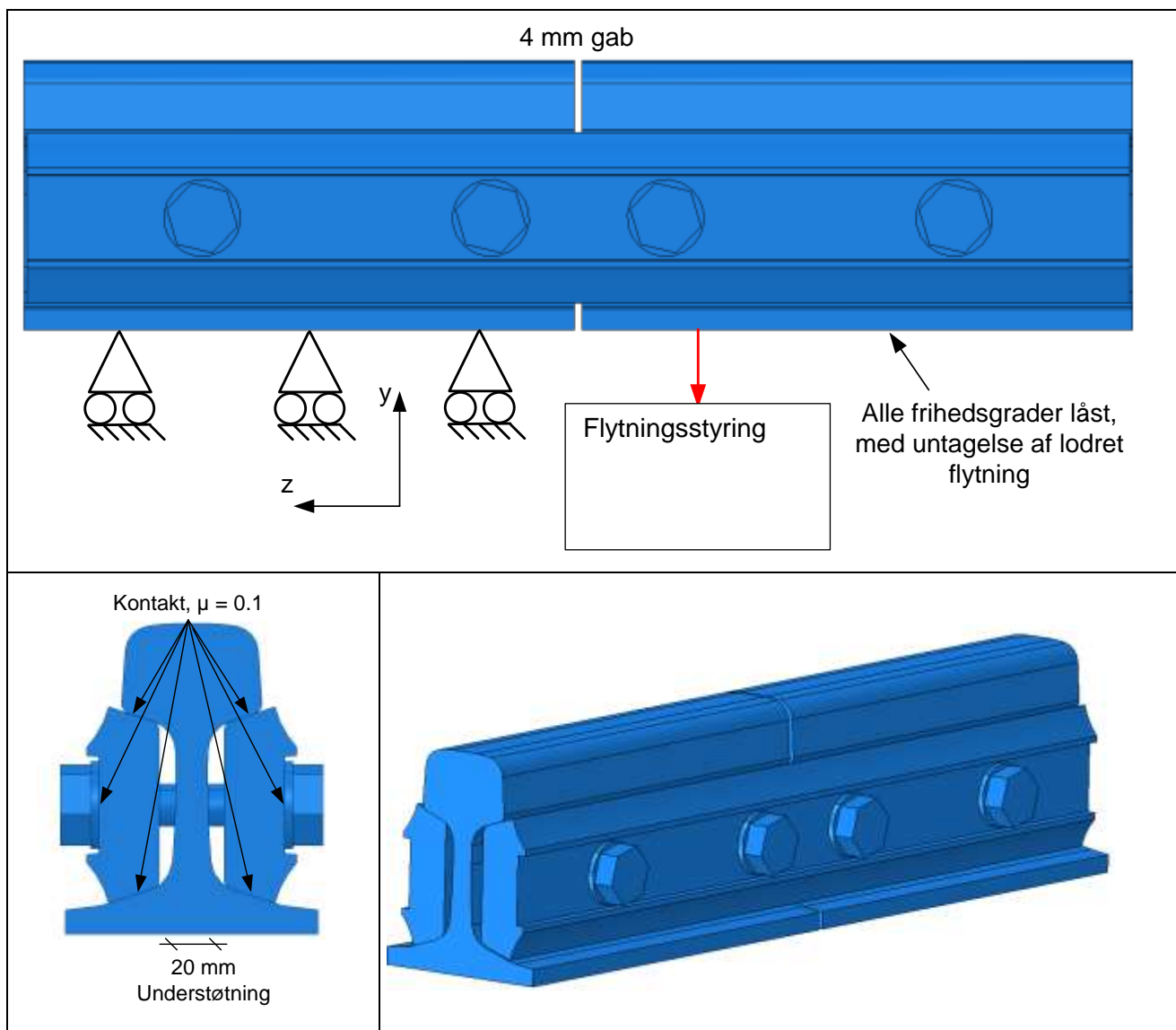
Model	Bolte 8.8	Skinne S 54	Laske St50-2U	Kontakt	Materiale	Symmetri	Længde
	σ_{fy}/σ_{tu} [MPa]	σ_{fy} [MPa]	σ_{fy} [MPa]				
Joint Shear EP Short	640/800	325	275	Ja	EP	1/1	630 mm

5 Randbetingelser

På Figur 19, ses de anvendte randbetingelser i Abaqus. Som det fremgår på figuren, understøttes den venstre skinne over et areal med en længde tilsvarende skinnens længde og en bredde på 20mm symmetrisk om midten. Skinnen understøttes i alle frihedsgrader på nær den langsgående retning.

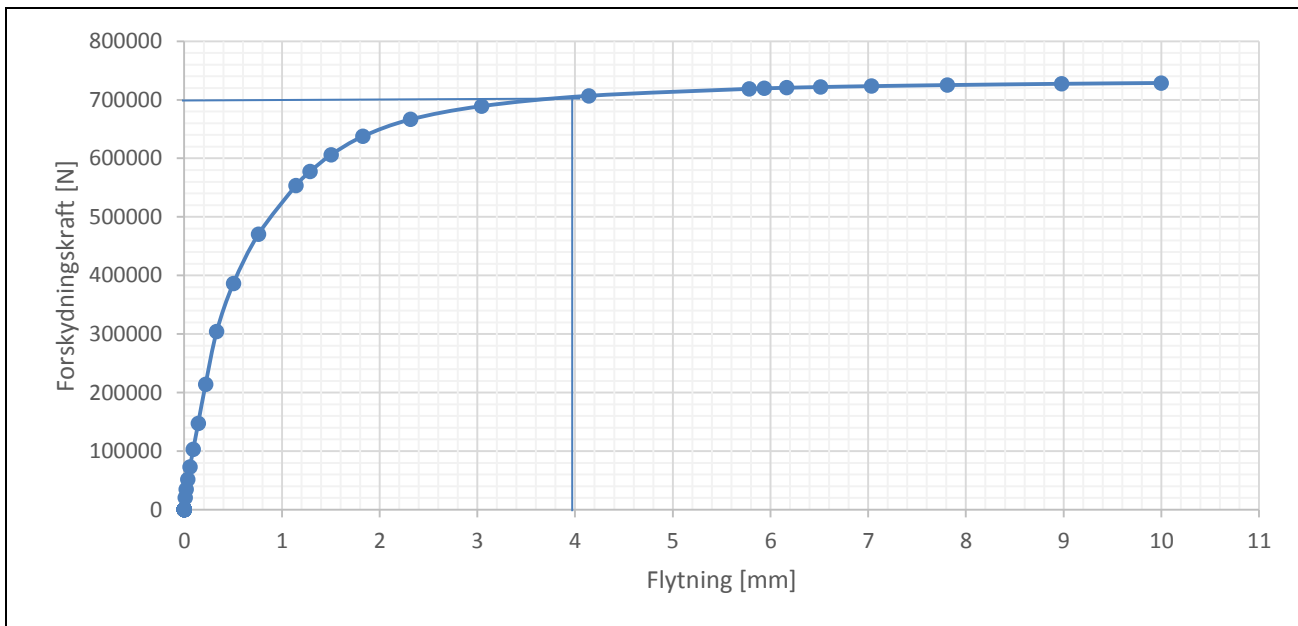
Undersiden af den højre skinne kan flyttes i y-aksens retning, og på denne måde flytningsstyres beregningen samtidigt med at reaktionerne registreres.

Der oprettes kontakt imellem alle flader som potentielt kan komme i kontakt med hinanden under analysen. De 4 x M24 bolte forespændes til 10% af brudspændingen, svarende til en forespændingskraft på 26 kN, og udføres for at holde sammen på samlingen af hensyn til konvergens. Analysen udføres i to på hinanden efterfølgende lasttrin: boltene forespændes i trin 1, og flytningen påføres på undersiden af den bevægelige skinne i lasttrin 2. Et vandret gab på 4 mm introduceres imellem de to skinnesektioner for at sikre ren forskydning uden friktion eller kontakt.



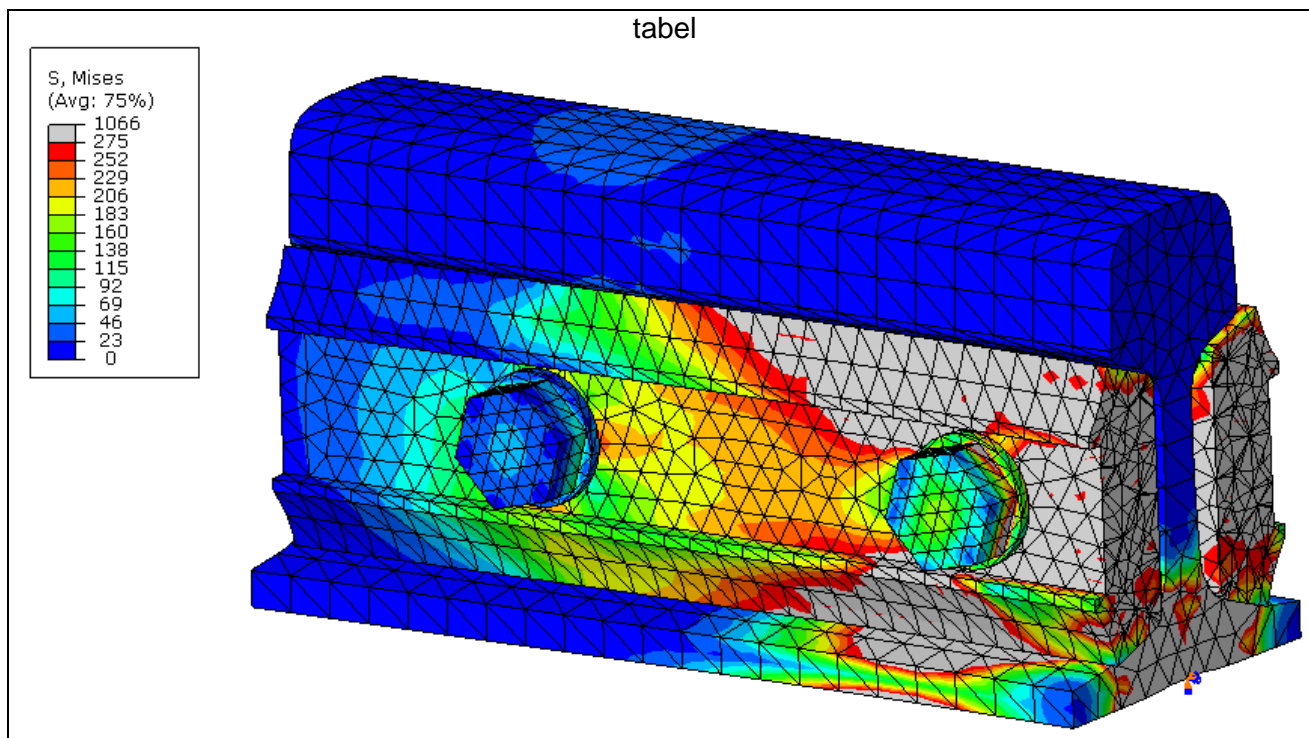
Figur 19: Randbetingelser. Den ene skinne understøttes over en bredde på 20 mm

6 Resultater



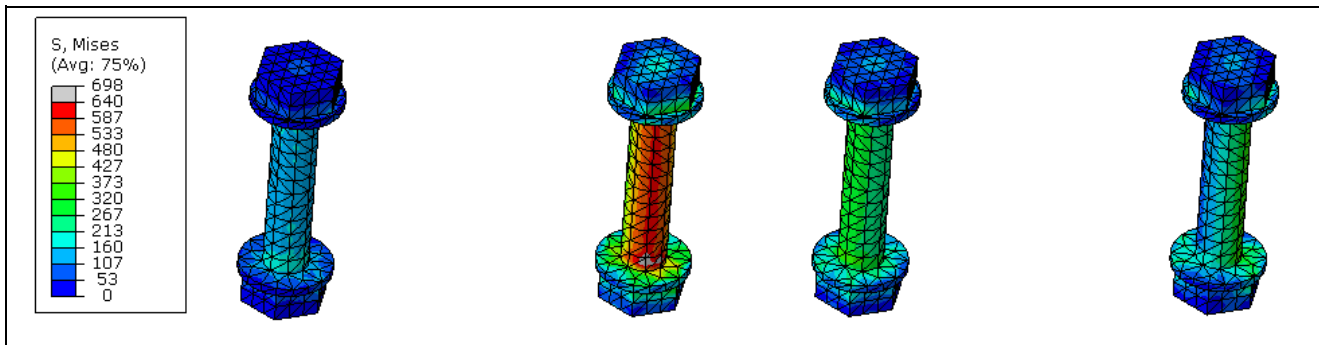
Figur 20: Last-flytningskurve for Railbeam modellen.

For at bestemme forskydningsbæreevnen af laskepladerne betragtes last-flytnings forløbet vist på Figur 20, hvor forskydningskraften i snittet plottes som funktion af flytningen. Det første forløb af kurven udviser til stadighed styrke i samlingen, op til en last på 700 kN, hvor den maksimale bæreevne samt fuld flytning af tværsnittet betragtes som værende opnået. Alle spændings- og tøjnings- plots fremadrettet vises ved dette lasttrin.



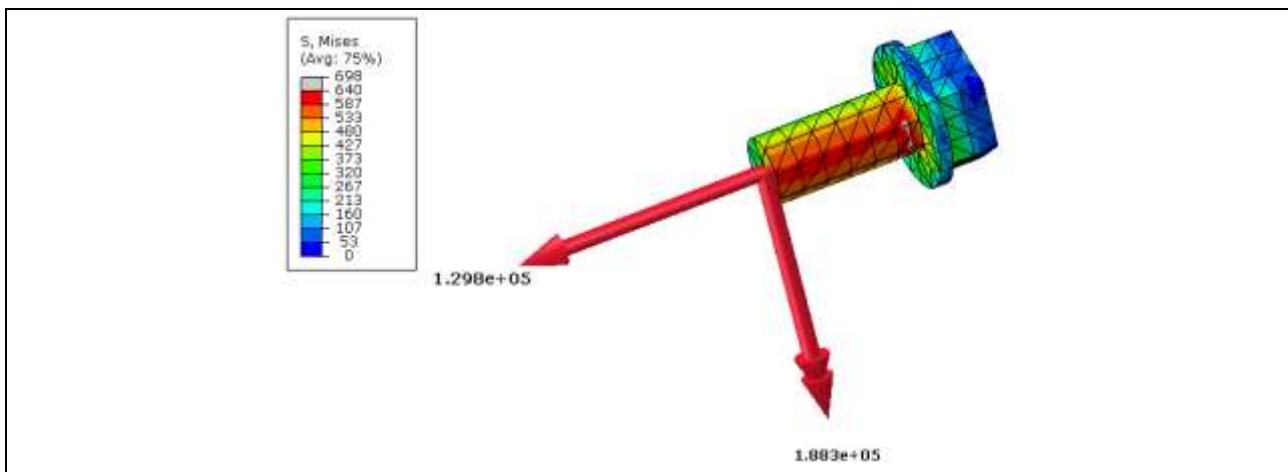
Figur 21: VonMises spændinger i skinne og laskeplader ved 700 kN forskydningskraft.

På Figur 21, ses vonMises spændingerne i samlingsnittet ved en forskydningskraft på 700 kN, hvor det kan ses at store dele af tværsnittet er i flydning.



Figur 22: von Mises spændinger i alle 4 bolte.

På Figur 22, ses von Mises spændinger i de 4 M24 bolte, og det fremgår at boltene tættest på samlingen optager størstedelen af lasterne.



Figur 23: Snitkræfter i hårdest belastede bolt.

På **Figur 23**, ses snitkræfterne i den hårdest belastede bolt, med en aksial snitkraft på 130kN samt et moment på 0,18 kNm. En M24 bolt i kvalitet 8.8 kan optage en regningsmæssig trækraft på 200 kN.

7 Konklusion

Den maksimale karakteristiske forskydningsbæreevne af laskepladerne findes til 700 kN ved hjælp af en detaljeret FE beregning. Dette svarer til en regningsmæssig forskydningskraft på $700/1.1 = 636$ kN.

I beregningen er medtaget eventuelle kontaktryk mellem skinner/lasker, bolte/skinner samt bolte/lasker. Beregningen viser at de indkilede lasker ved forskydningspåvirkning forsøger at blive skubbet ud men bliver sikret af de 3 M24 bolte der herved bliver trækpåvirket. Trækraften i boltene er relativt begrænset med den største optrædende kraft på 130 kN. Den regningsmæssige træk bæreevne af en M24 8.8 bolt er 200 kN, som således er tilstrækkelig til samlingen.