

<i>Doc. no.</i> 170121	<i>Revision</i> 1	<i>Date of this revision</i> May 11, 2017	<i>Project no.</i> P17012
<i>Type</i> Technical Report		<i>Date of first release</i> May 11, 2017	<i>No. of pages</i> 15

<i>Approved by</i> Daniel Hilding, Consultancy Manager	<i>Reviewed by</i> Daniel Hilding, Senior Engineer
Authors and contributors to work Klas Engstrand, DYNAmore Nordic AB	
<i>Client</i> TRS Consulting AB	<i>Client reference</i> Patrik Ekberg
<i>Title</i> Pilotstudie – En simuleringsbaserad pilotstudie med syfte att uppskatta beteendet hos en linräckeslina vid snabb avlastning, exempelvis genom kapning av linan.	
Confidentiality No distribution to third parties without permission from the client.	

## Sammanfattning

Denna simuleringsbaserade pilotstudie ingår i ett projekt finansierat av Trafikverket kallat ”MSB – Stållina vid trafikolycka”, i vilket linrücken vid en trafikolyckasituation behandlas.

Denna pilotstudie behandlar en fiktiv trafikolyckasituation där ett fordon, tex. en tyngre lastbil, kört in i ett linräcke och dragit med sig linan. Den situation som räddningspersonalen möter är en lina med relativt hög lin-kraft och där ett behov till snabb avlastning, tex. genom kapning av linan, föreligger. I denna studie betraktas denna situation på närmast konceptuell nivå genom simulering av snabb avlastning (kapning av lina/stolpe) vid olika punkter längs med ett räckessystem. Syftet med studien är att öka förståelsen för den dynamik som uppstår i systemet vid avlastningen.

Simuleringarna i denna studie är utförda med Finita Element (FE) programvaran LS-DYNA.

En sammanfattning av resultat och observationer finns i kapitel 6.

## Innehållsförteckning

1	Inledning .....	3
2	Projektplan .....	3
3	Simuleringsmodell .....	4
4	Initiell hastighet på linan vid kapningen .....	5
5	Simuleringsresultat .....	6
5.1	Simulering av kapning av lina vid punkt a .....	7
5.2	Simulering av kapning av lina vid punkt b .....	8
5.3	Simulering av kapning av lina vid punkt c .....	9
5.4	Simulering av kapning av lina vid punkt d .....	10
5.5	Simulering av kapning av lina vid punkt e .....	11
5.6	Simulering av "klippning" av en stolpe vid punkt c .....	12
5.7	Simulering av "spridning" av en stolpe vid punkt c .....	13
6	Slutsatser från simuleringsresultaten .....	14
7	Referenser .....	15
8	Record of updated revisions .....	15

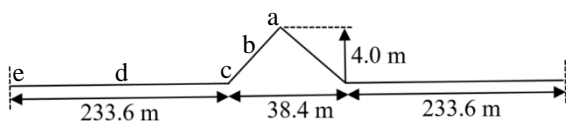
## 1 Inledning

Denna simuleringsbaserade pilotstudie ingår i ett projekt finansierat av Trafikverket kallat "MSB – Ställina vid trafikolycka", i vilket linräckena vid en trafikolyckasituation behandlas.

Simuleringarna i denna studie är utförda med Finita Element (FE) programvaran LS-DYNA [3] enligt DYNAMore Nordics utprovade simuleringsmetodik för simulering av EN 1317 prov. Simuleringsmodellerna byggdes med ANSA [4] och LS-PrePost [5]. LS-PrePost användes även för produktion av bilderna och graferna i denna rapport.

## 2 Projektplan

Den situation som skall studeras gäller en fiktiv trafikolycka där ett fordon, t.ex. en tyngre lastbil, har kört in i linracket, kört ner ett antal stolpar och dragit med sig linan i sidled ut på motstående körbana där fordonet till slut stannat. Den situation som räddningspersonalen möter vid en sådan trafikolycka är en uppspänd linräckeslina som på något sätt sitter fast i fordonet. I denna pilotstudie betraktas ovan beskrivna situation på en förenklad, närmast konceptuell, nivå, se Figur 1. I simuleringsmodellen är räckessystemets totala längd 506 m. Stolpavståndet är 3.2 m. Elva stolpar antas vara satta ur funktion efter krocken vilket ger en "lucka" på 38.4 m centralt placerad i systemet. I simuleringsmodellen ingår endast en lina och den löper parallellt i stolpens slits. Vidare så antas linan vara uppspänd 4 m i sidled (y) och noll meter i höjded (z) vid platsen för krocken. Det kan nämnas att för givet räckessystem och situation är 4.0 m i sidled ungefär maximalt vad systemet tillåter. En högre last ger att stolpen närmast belastas så mycket att linan dras upp ur slitsen och lämnar stolpen. Linkraften är vid påförd last (y-förskjutning 4.0 m) 58 kN (linkraften antas lika i hela systemet). I simuleringsmodellen ligger brottlasten för linan på 184 kN.



**Figur 1: Schematisk skiss över studerad situation.**

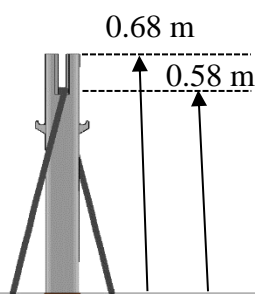
Projektplanen är enligt följande:

1. En simuleringsmodell byggs av situation enligt Figur 1.
2. 7 simuleringar genomförs enligt följande:
  - a. Simulering kapning av lina vid punkt a.
  - b. Simulering kapning av lina vid punkt b.
  - c. Simulering kapning av lina vid punkt c.
  - d. Simulering kapning av lina vid punkt d.
  - e. Simulering kapning av lina vid punkt e.

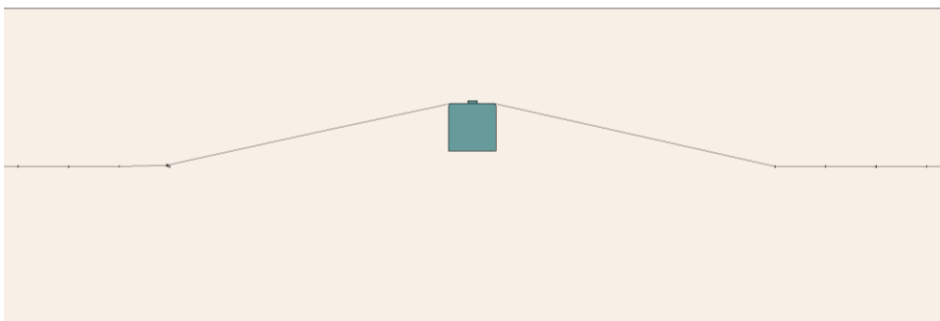
- f. Simulering ”klippning”, dvs. kapning av stolpen nära marknivån, av en stolpe vid punkt c.
  - g. Simulering ”spridning”, dvs. kapning av stolpen i höjd med linan, av en stolpe vid punkt c.
3. Resultaten dokumenteras i en teknisk rapport som levereras ihop med några filmer som visar händelseförloppet i respektive simulering.

### 3 Simuleringsmodell

Simuleringsmodellen av linräcke och situation enligt Figur 1 är baserad på den simuleringsmodell som används i tidigare, liknande, projekt mot Trafikverket, se dokument [1][2]. Jämfört med den modell som användes i de tidigare projekten så har installationslängden ökad från 105.6 m till 505.6 m. Stolpavståndet och räckeshöjden är samma som tidigare, dvs. 3.2 m respektive 0.68 m. Samtliga stolpar (144 stycken) representeras som deformerbare i modellen. För linan används samma materialparametrar som i tidigare projekt med den skillnaden att brottlasten är höjd från 160 kN till 184 kN med antagandet om en felfri lina. I centrum för systemet har 11 stolpar antagits som satta ur funktion efter krocken och därmed tagits bort ur modellen. I denna simuleringsmodell ingår endast en lina och den löper parallellt i stolpens slits på en höjd av 0.58 m, se Figur 2. Inga skarvdelar finns representerade i denna simuleringsmodell, dvs. linan är modellerad helt kontinuerlig. Initiell linförspänningen är satt till 17.25 kN, vilket motsvarar +20° C enligt en ATA manual för Brifen-system [6]. För att trycka ut linan i sidled, y-förskjutning 4.0 m, så används ett stelt block (3 m x 3 m x 3 m) som flyttas ut med styrd förskjutning, se Figur 3. När linan trycks ut i sidled ökar linkraften från 17.25 kN till 58 kN, vilket är tillståndet när linan/stolpen kapas. Se Figur 4 för en skalenlig bild på modellen.



Figur 2: Simuleringsmodell med en lina som löper parallellt.



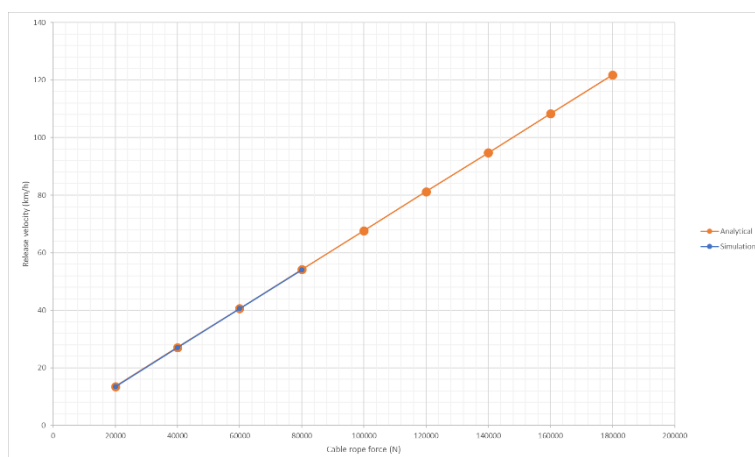
**Figur 3: Ett stelt block trycker ut linan genom styrd förskjutning.**



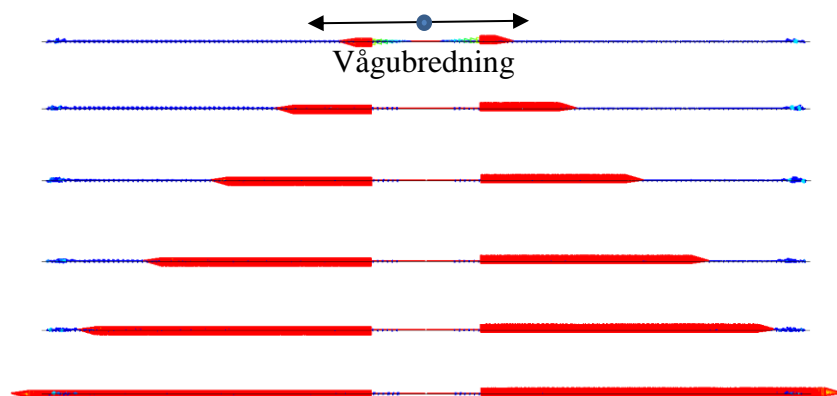
**Figur 4: Skalenlig bild på simuleringsmodellen.**

#### 4 Initiell hastighet på linan vid kapningen

Om man antar att all elastisk potentiell energi i linan övergår till kinetisk energi vid kapningsögonblicket så kan den initiella hastigheten på linan vid kapningen räknas ut analytiskt. Figur 5 visar den initiella hastigheten på linan som funktion av kraften i linan. Som synes är sambandet linjärt och den analytiska lösningen respektive simulering stämmer väl överens. Det skall nämnas att för linkrafter på ungefär 100 kN och mer så deformeras linan allt mer plastiskt. Eventuell påverkan från detta tas ingen hänsyn till i den analytiska lösningen. Figur 6 visar ett exempel där central kapning av linan har simulerats. I detta fall så var linkraften 60 kN i kapningsögonblicket vilket gav en hastighet på ca 40 km/h. I figuren syns tydligt hur vågen propagerar genom linan och ger hela linan samma initiella hastighet, men då med viss fördröjning. I simuleringsmodellen är vågutbredningshastigheten ungefär 4300 m/s.



**Figur 5: Initiell hastighet (km/h) som funktion av linkraft (N).**



**Figur 6: Vågutbredning i linan vid central kapning. I detta fall så indikerar röd färgade pilar en hastighet på ca 40 km/h.**

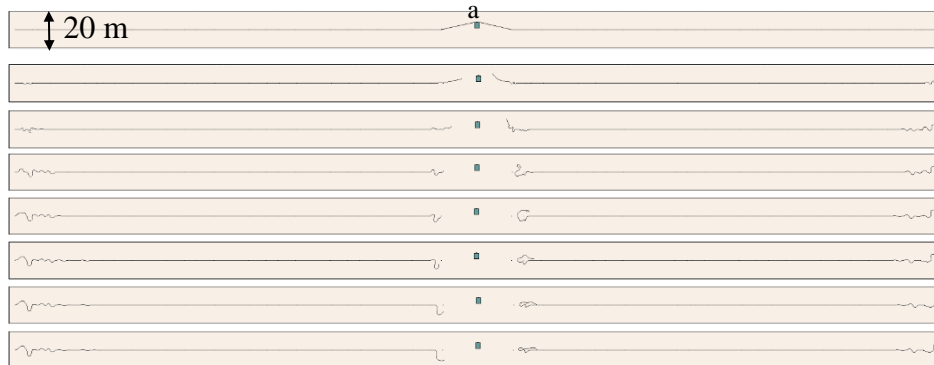
Notera: I denna pilotstudie så ingår ingen validering för det aktuella lastfallet, dvs snabb avlastning genom kapning. Den materialmodell som används för linan har tidigare används i simulering av fordonskollision mot linrække [1][2] och används i denna pilotstudie ”som den är”. Intressanta materialtekniska aspekter man kan studera mer noggrant i ett eventuellt framtida mer djupgående projekt är tex. töjningshastighetsberoende, materialdämpning, vågutbredningshastighet etc.

## 5 Simuleringsresultat

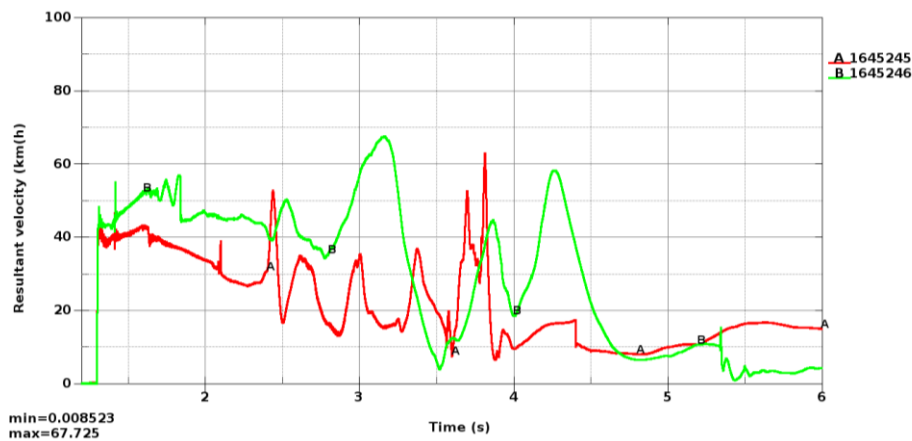
I simuleringarna så trycks linan först ut i sidled (y 4.0 m) vilket ger en linkraft på 58 kN, se Figur 3. När detta tillstånd uppnåtts så kapas linan abrupt vid vald punkt a, b, c, d eller e alternativt så kapas stolpen högt eller lågt vid punkt c, se Figur 1. Resultaten (grafer och bilder) från de 7 simuleringarna presenteras i detta kapitel. Observationer och slutsatser redovisas i kapitel 6. Den tid som simuleras från det att linan kapas är 4.7 sekunder. Simuleringarna är utförda på ett datorsystem med 32 kärnor och varje simulering tog ca 60 timmar. Det är alltså relativt krävande simuleringar. Observera att linan inte har stannat fullständigt vid slutet av simuleringstiden men den anses ändå tillräcklig för syftet med denna studie, dvs. att studera dynamiken hos linan vid snabb avlastning. Dvs. den kvarvarande kinetiska energin i problemet är vid simuleringarnas termineringstid < 2%. För att få en mer komplett upplevelse av vad som händer i simuleringarna än vad som kan redovisas i denna rapport så levereras även filmer över händelseförloppen.

## 5.1 Simulering av kapning av lina vid punkt a

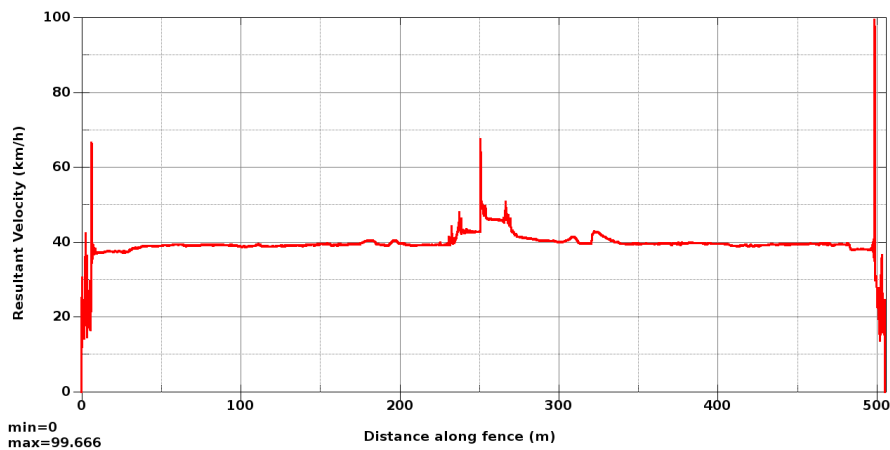
Figur 7 visar händelseförloppet vid kapning av linan vid punkt a (mättet 20 m visas för att ge proportion). Figur 8 visar hastighet (km/h) som funktion av tid (s) mätt i de kapade linändarna. Figur 9 visar en hastighetsprofil (km/h) redovisad längs med räcketets 506 m. Observera att i denna figur så är longitudinella (längs med räcket) riktningen statisk. Dvs. denna bild visar INTE longitudinell förflyttning av lina.



**Figur 7: Händelseförloppet vid simulering av kapning vid punkt a.**



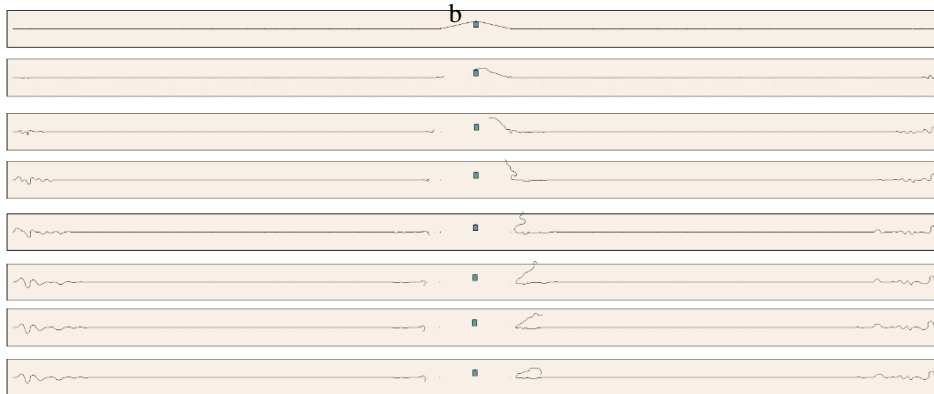
**Figur 8: Linans hastighet som funktion av tid i de kapade linändarna.**



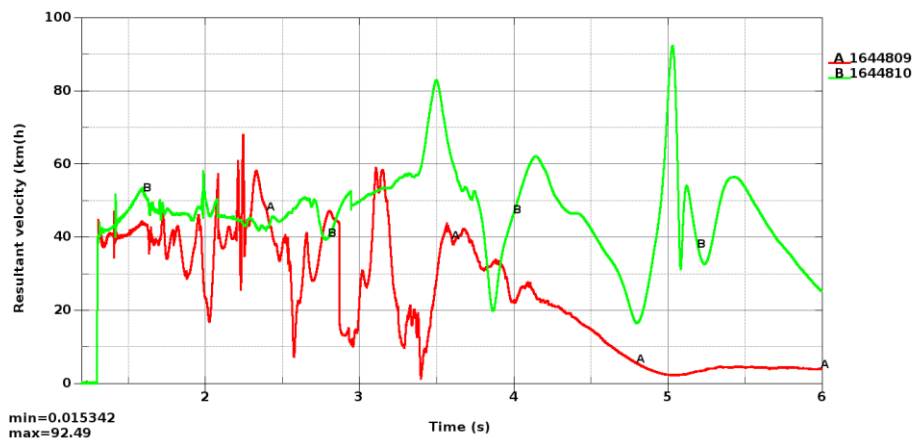
**Figur 9: Linans hastighetsprofil (max. hastighet uppmätt under simulerad tid) redovisad longitudinellt längs med räcketets 506 m.**

## 5.2 Simulering av kapning av lina vid punkt b

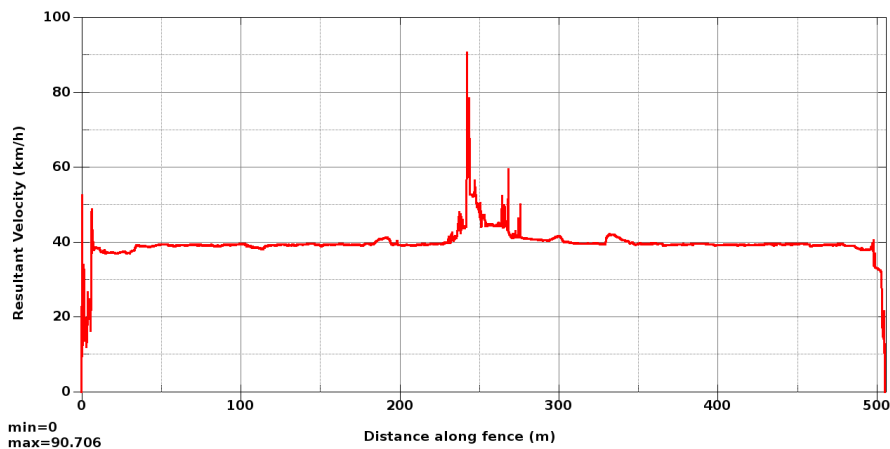
Figur 10, Figur 11 och Figur 12 visar resultat från simuleringen.



**Figur 10: Händelseförloppet vid simulering av kapning vid punkt b.**



**Figur 11: Linans hastighet som funktion av tid i de kapade linändarna.**

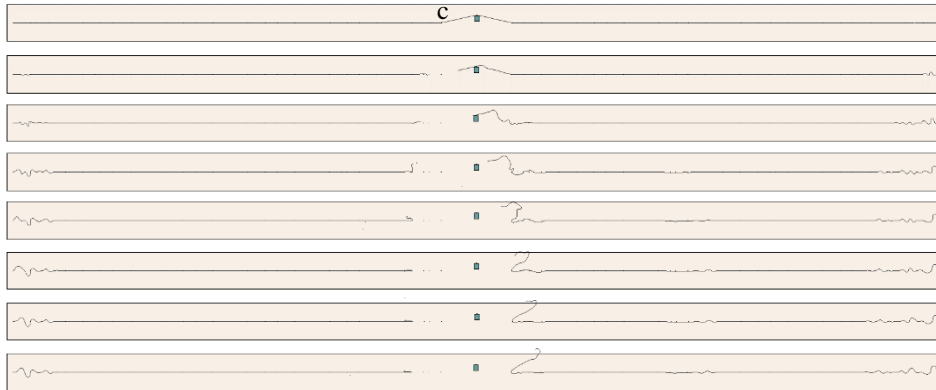


**Figur 12: Linans hastighetsprofil (max. hastighet uppmätt under simulerad tid) redovisad longitudinellt längs med räckets 506 m.**

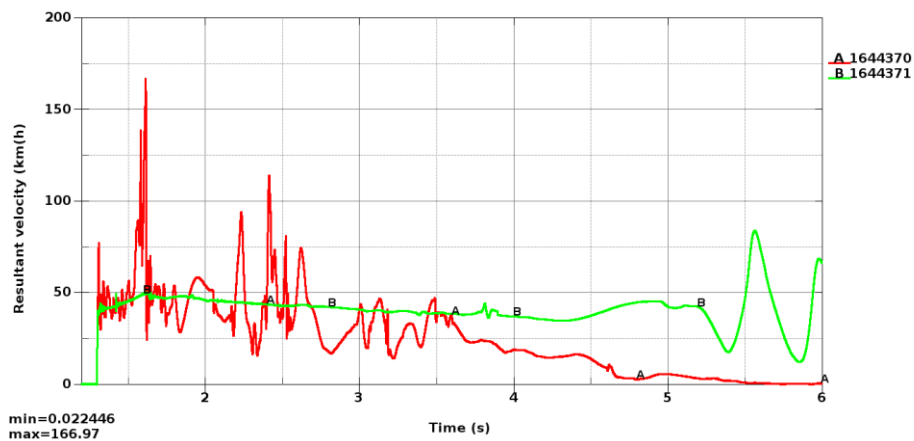


### 5.3 Simulering av kapning av lina vid punkt c

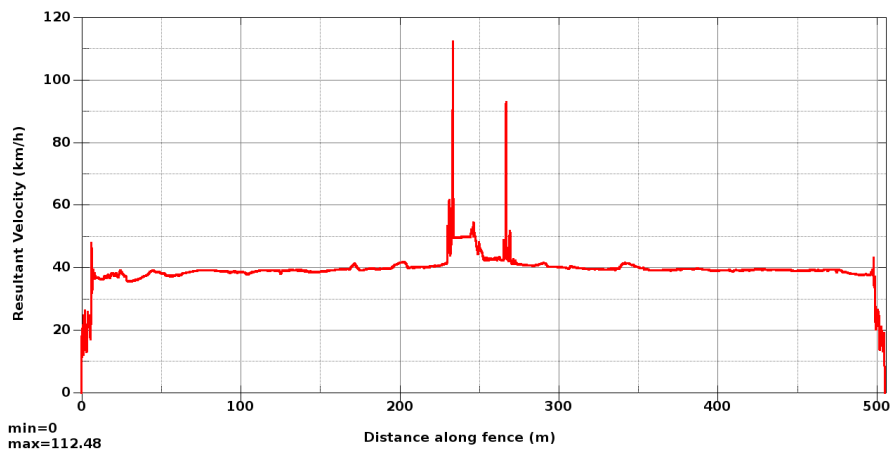
Figur 13, Figur 14 och Figur 15 visar resultat från simuleringen.



**Figur 13: Händelseförloppet vid simulering av kapning vid punkt c.**



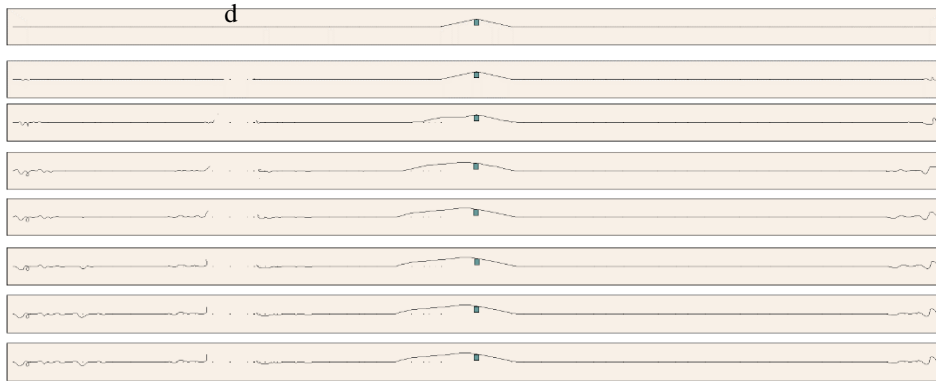
**Figur 14: Linans hastighet som funktion av tid i de kapade linändarna.**



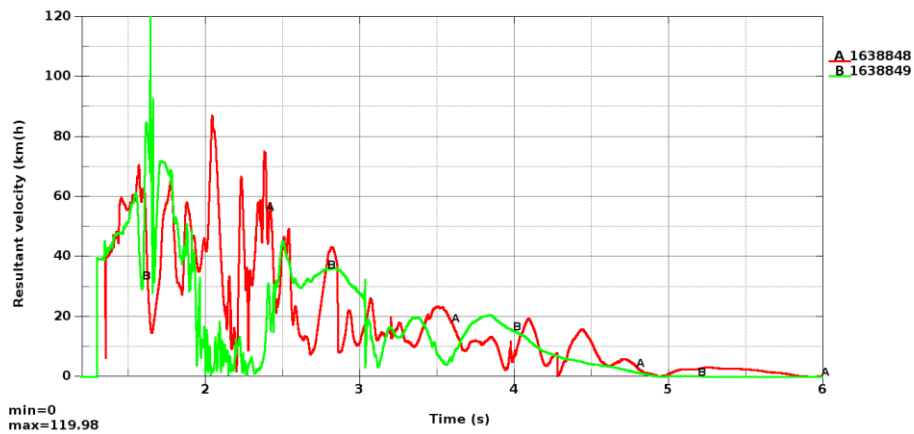
**Figur 15: Linans hastighetsprofil (max. hastighet uppmätt under simulerad tid) redovisad longitudinellt längs med räckets 506 m.**

#### 5.4 Simulering av kapning av lina vid punkt d

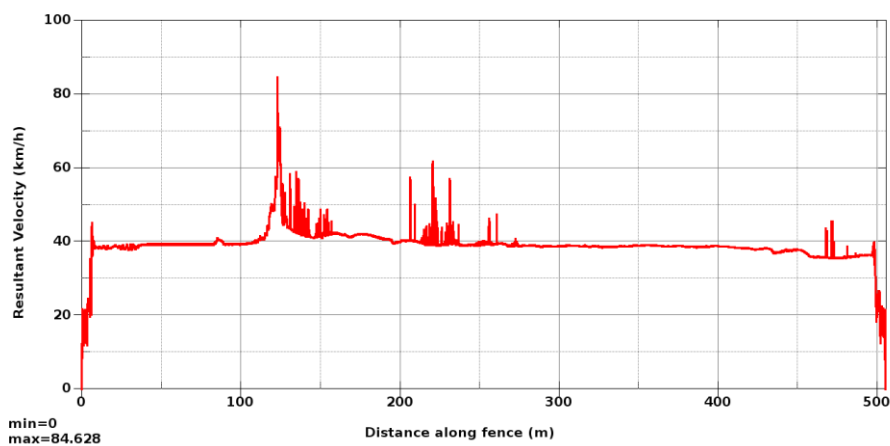
Figur 16, Figur 17 och Figur 18 visar resultat från simuleringen.



**Figur 16: Händelseförloppet vid simulering av kapning vid punkt d.**

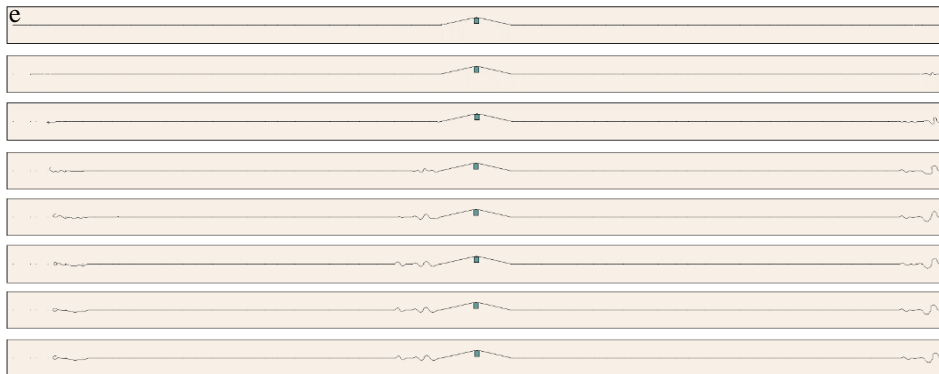


**Figur 17: Linans hastighet som funktion av tid i de kapade linändarna.**

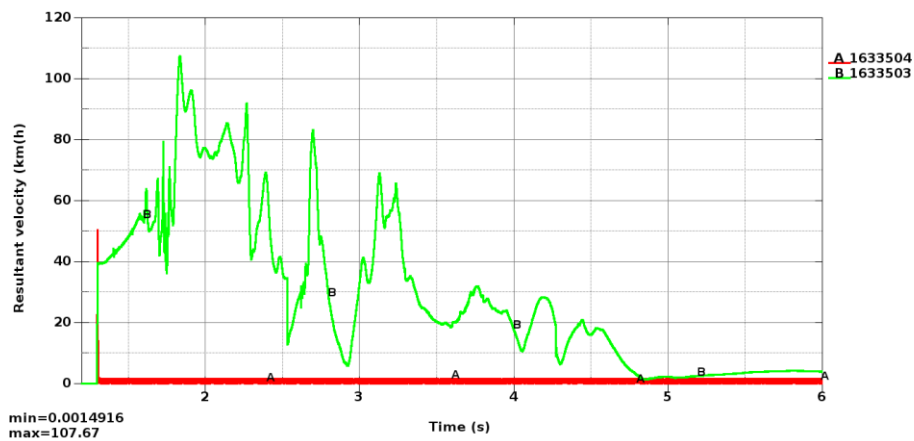


**Figur 18: Linans hastighetsprofil (max. hastighet uppmätt under simulerad tid) redovisad longitudinellt längs med räckets 506 m.**

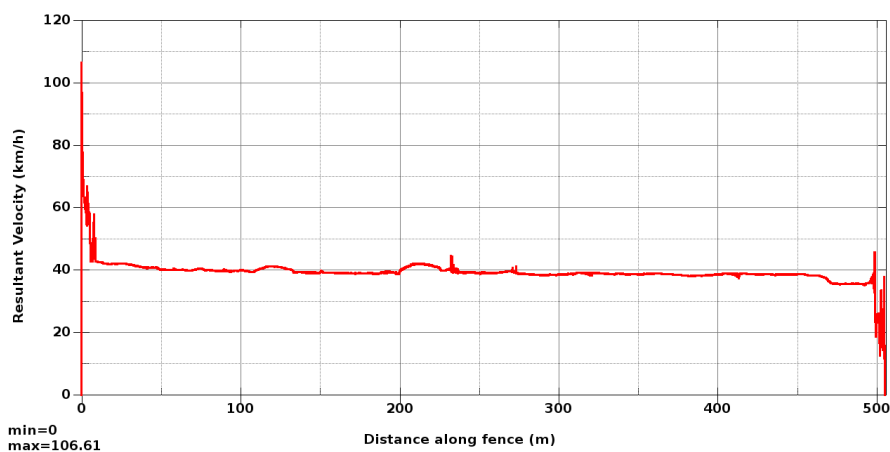
### 5.5 Simulering av kapning av lina vid punkt e



**Figur 19: Händelseförloppet vid simulering av kapning vid punkt e.**



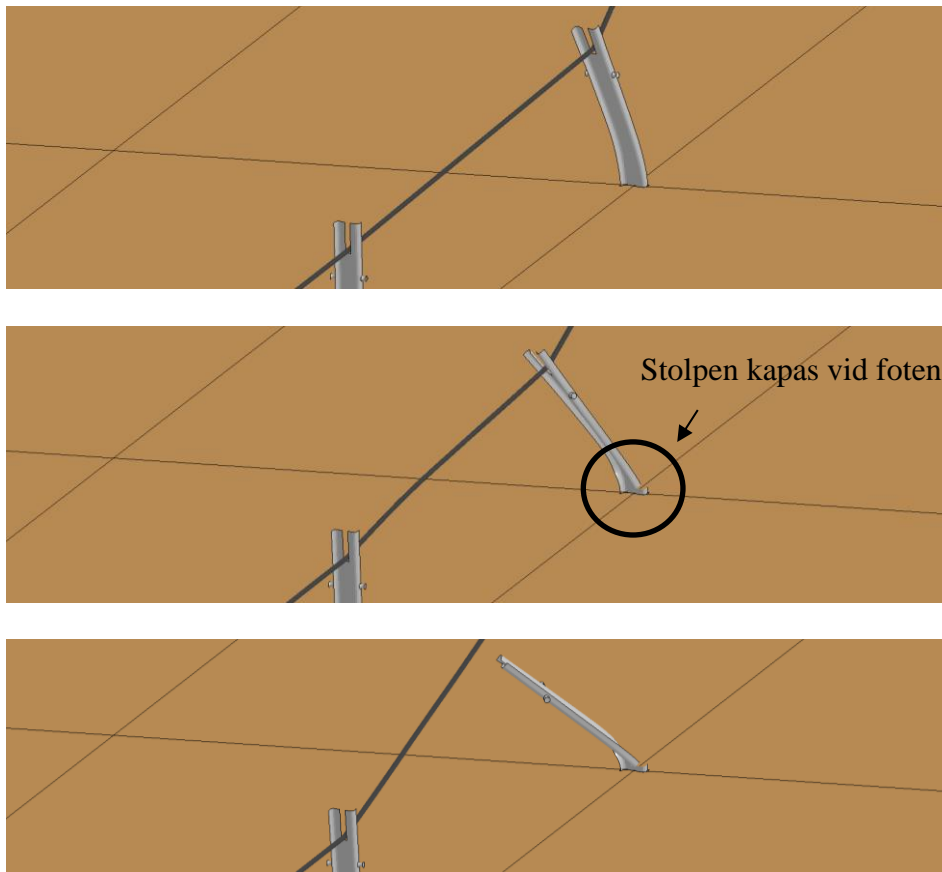
**Figur 20: Linans hastighet som funktion av tid i de kapade linändarna.**



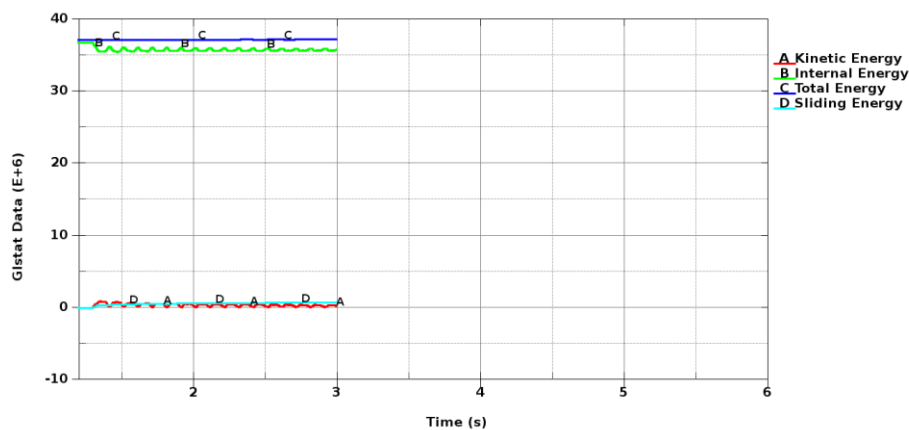
**Figur 21: Linans hastighetsprofil (max. hastighet uppmätt under simulerad tid) redovisad longitudinellt längs med räckets 506 m.**

### 5.6 Simulering av "klippning" av en stolpe vid punkt c

I denna simuleringen så kapas inte linan. Istället så kapas en stolpe (punkt c) vid stolpfoten, så kallad "klippning". Tanken är att lätta på linkraften genom att fälla stolpen, se Figur 22. I simuleringen så hjälper det inte att klippa en stolpe. Figur 23 visar att klippning av en stolpe i det här fallet inte hjälper. Potentiella energin i linan sjunker obetydligt. Detsamma gäller kraftnivån. Totala längden på linan minskar i detta fall med mindre än 10 cm, vilket inte gör någon signifikant skillnad på linkraften.



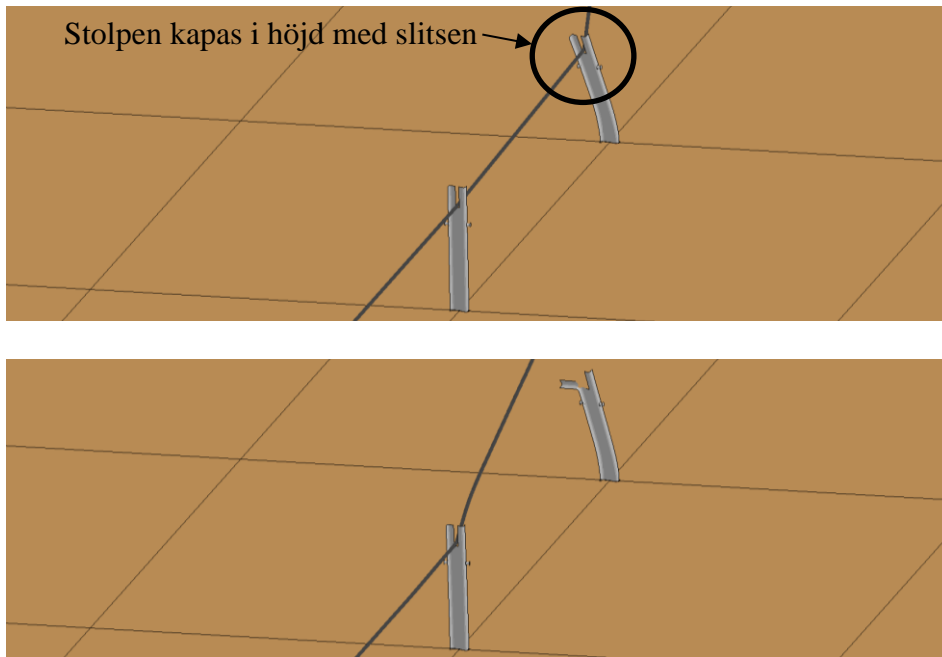
Figur 22: "Klippning" av stolpe vid punkt c.



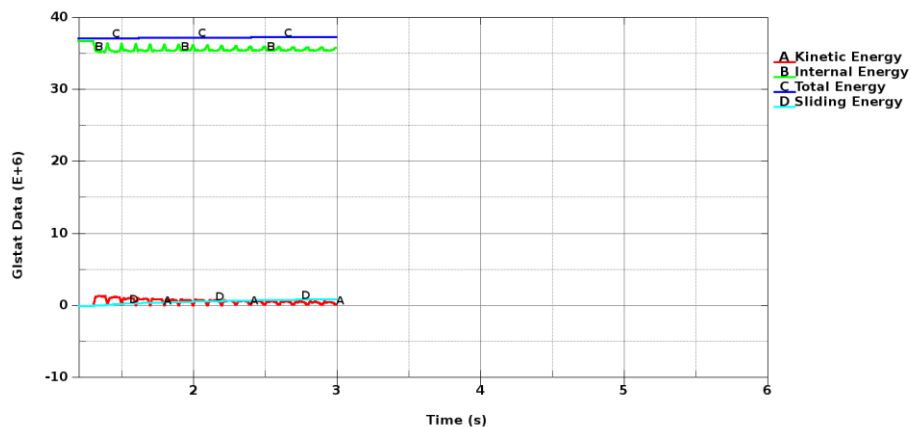
Figur 23: Energi-nivåer före och efter "klippning" vid tidpunkt 1.3 s.

### 5.7 Simulering av "spridning" av en stolpe vid punkt c

I denna simuleringen så kapas inte linan. Istället så kapas en stolpe (punkt c) högre upp vid slitsen, så kallad "spridning". Precis som i fallet med "klippning", se kapitel 5.6, så gav inte detta någon signifikant avlastning av linan.



Figur 24: "Spridning" av stolpe vid punkt c.



Figur 25: Energi-nivåer före och efter "klippning" vid tidpunkt 1.3 s.

## 6 Slutsatser från simuleringsresultaten

7 simuleringar har genomförts, se kapitel 5. Observationer och slutsatser från simuleringarna sammanfattas enligt följande:

1. Initiella hastigheten på linan i kapningsögonblicket är lika i hela linan men med en viss fördröjning givet av utbredningshastigheten. Linkraften 58 kN ger i simuleringarna en initiell hastighet på ca 40 km/h vilket överensstämmer med analytisk lösning.
2. Avlastningen av linan följer linans dragning vilket ger att när linan byter ritning, tex. vid en nedgång, så har linan en tendens att skjuta ut där. I dessa simuleringar är linan parallell. Man kan spekulera i att en vävd lina skulle kunna skjuta ut vid varje stolpe efter som det är punkter där linan byter riktning. Denna hypotes har dock ej testats i denna pilotstudie.
3. Räckets terminaler är stopp-punkter där material (lina) dras in. Generellt visar simuleringarna att lina skjuter ut vid terminalerna.
4. I simuleringarna så absorberas energi i systemet främst genom friktionsenergi (när linan slår i stolpar etc.) men även genom dämpning i ställinans material. Detta ger att en fri ända som har lång väg till närmaste föremål att slå i riskerar att behålla sin hastighet under längre tid och därmed skuta ut mer.
5. Hastigheten på lin-ändarna är i simuleringarna 40 km/h vid kapningsögonblicket men den kan höjas avsevärt, upp emot 170 km(h), när ändarna vispar runt och hakar i saker.
6. De två simuleringar som utförts med ”klippning” respektive ”spridning” av en stolpe påvisade ingen signifikant avlastning av linan.
7. I denna pilotstudie så ingår ingen validering för det aktuella lastfallet, dvs snabb avlastning genom kapning. Den materialmodell som används för linan har tidigare används i simulering av fordonskollision mot linräcke [1][2] och används i denna pilotstudie ”som den är”. Intressanta materialtekniska aspekter man kan studera mer noggrant i ett eventuellt framtida mer djupgående projekt är tex. töjningshastighetsberoende, materialdämpning, vågutbredningshastighet etc. Man kan tex. tänka sig att det finns ytterligare dämpande faktorer i problemet än vad som tas med i beräkningarna. Om så är fallet bör beräkningarna i det avseendet kunna betraktas som konservativa. En annan faktor som inte beaktas är luftmotståndets eventuella betydelse.

## 7 Referenser

- [1] Engstrand, K., "Simuleringsbaserad studie med syfte att uppskatta hur linräckens kapacitet, i driftskedet, påverkas av olika avvikelser. Simulering av påkörning enligt EN 1317 TB32" Doc. no. 150391. DYNAMore Nordic AB, Linköping, 2016.
- [2] Engstrand, K., "Simuleringsbaserad studie med syfte att uppskatta hur linräckens kapacitet, i driftskedet, påverkas av olika avvikelser. Simulering av påkörning enligt EN 1317 TB32" Doc. no. 160141. DYNAMore Nordic AB, Linköping, 2016.
- [3] LS-DYNA Keyword User's Manual, version 971, R7.1.3, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, 2016.
- [4] ANSA v16.1.0, BETA CAE Systems SA, Thessaloniki, 2015.
- [5] LS-PrePost v4.3, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, 2016.
- [6] "Instruktions- och säkerhetshandbok Brifen", Utgåva 2015:01, ATA Traffic Safety Solutions, 2015.

## 8 Record of updated revisions

Rev. no	Release date	Author	Comment