



Skapat av (Efternamn Förnamn, org.) Holmén Hans, UHtsv	Dokumentdatum 2017-08-16	Version 1.0
Fastställt av (Efternamn Förnamn, org.)	Ärendenummer TRV 2016/31205	Projekt-ID: 6152
Dokumenttitel Hur säkra funktionen hos äldre linräckessystem?		

Projektleddare Trafikverket: Hans Holmén UHtsv

Biträdande projektleddare Trafikverket: David Björklöf UHtsv

Extern projektleddare: Patrik Ekberg, TRS Consulting AB

Extern utförare: Klas Engstrand, DYNAmore Nordic AB

Bilaga:

Simuleringsbaserad studie med syfte att uppskatta hur linräckens kapacitet, i driftskedet, påverkas av olika avvikelser. Simulering av påkörning enligt EN 1317 fall TB32. Rapport nr 160141 rev 2, DYNAmore Nordic (2016)

Distributionslista

Slutrapporten riktar sig till:

Melker Pettersson cUHtsv

Magnus Ljungberg UHvätv

Medlemmarna i projektteamet

Portfölj Vidmakthålla

Förslag till förbättringar riktar sig till:

Underhåll Vägsystem

Underhåll distrikt projektleddare Bas Väg



Skapat av (Efternamn, Förnamn, org.) Holmén Hans, UHtsv	Dokumentdatum 2017-08-16	Version 1.0
--	-----------------------------	----------------

Innehållsförteckning

1. Projektbeskrivning	3
2. Projektvärde (uppnått jämfört med förväntat)	6
3. Projektnytt (jämfört med projektmål).....	6
4. Erfarenheter och lärdomar	8
4.1 Projektets styrande funktion.....	9
4.2 Projektledningsfunktion	9
4.3 Projektets operativa funktion.....	9
5. Förbättringsförslag.....	9
6. Övrigt.....	9
7. Referenser.....	10

Skapat av (Efternamn, Förnamn, org.) Holmén Hans, UHtsv	Dokumentdatum 2017-08-16	Version 1.0
--	-----------------------------	----------------

1. Projektbeskrivning

Projektet bygger vidare på resultat från projekt id nr 5689 "När behöver ställinan bytas? Kontroll av ställinor till wiseräcken i driftskedet."

Linräcken består av ett flertal delar som t ex ändförankringar, stolpar, stolpfundament, ställinor, skarvar och infästningar. Idag saknas kunskap om hur upprepade fordonskollisioner, korrosion och andra skador inverkar på funktionen hos ställinor och tillhörande skarvar och infästningar.

Resultat från det tidigare projektet har pekat på att det inte är ställinan i sig som är den svaga komponenten i äldre linräckessystem. Istället upptäcktes att brister fanns i systemen avseende sönderrostade komponenter, som terminaler vilket i vissa fall gjorde det omöjligt att bibehålla normenlig linspänning. Dessa brister kunde förväntas påverka systemens kapacitet negativt och till och med förorsaka bortfall av funktion.

Bilder som illustrerar dessa brister:



Lutande räcke i radie

Skapat av (Efternamn, Förnamn, org.) Holmén Hans, UHtsv	Dokumentdatum 2017-08-16	Version 1.0
--	-----------------------------	----------------



Räcke i radie



Räcke med hängande linor (för låg linspänning)

Skapat av (Efternamn, Förnamn, org.) Holmén Hans, UHTsv	Dokumentdatum 2017-08-16	Version 1.0
--	-----------------------------	----------------



Räcke där nedkörda ständare temporärt ersatts av s.k. galge

Med anledning av dessa resultat formulerades ett nytt projekt som utgick från att själva ställinan klarat sig bra i de äldre systemen, medan övriga komponenter har slitits eller åldrats på ett sätt som kan anses påverka funktionaliteten negativt hos linräckesystemet i sin helhet.

Det var därför motiverat att med hjälp av simuleringar studera funktionen hos kritiska komponenter som presshylsor och infästningar i förankringar. Bristande funktion hos dessa komponenter är den huvudsakliga orsaken till för låg linspänning, vilket sin tur påverkar funktionen hos hela det aktuella systemet. Den bristande funktionen märks i första hand i förändringar i räckets arbetsbredd (för stor fordonsinträngning), vilket i praktiken påverkar trafikantens säkerhet.

Med äldre linräckessystem avses i denna rapport system av märket Brifem. Motiveringen för denna begränsning är att huvudpopulationen av "äldre linräckessystem" är av märket Brifem. En annan motivering är att eftersom i det föregående projektet ett antal brister iaktogs hos detta system och att systemet använts vid uppbyggnad av tidigare simuleringsmodell, har det varit mest arbeteekonomiskt att koncentrera på system Brifem. Det ska dock noteras att de resultat som framkommit i nuvarande projekt kommenteras jämförande med andra äldre system. T ex Gunnebo Safety Line har jämförts. Det kan noteras att Gunnebos system ursprungligen var kopierat på Brifems system med flätade linor.



Skapat av (Efternamn, Förnamn, org.)	Dokumentdatum	Version
Holmén Hans, UHtsv	2017-08-16	1.0

Under arbetets gång etablerades kontakt med Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap MSB inom ramen för projektet Säkerhet i vägtrafikmiljö, vilket denna myndighet driver tillsammans med Trafikverket. Resultatet av detta projekt är ett vägledningsdokument med anledning av ett antal allvarliga olyckor med dödlig utgång som drabbat räddningstjänstpersonal i vägtrafikmiljö. En kvarstående frågeställning handlar om olyckor i samband med hanteringen av linräcken på olycksplats. Vid ett diskussionsmöte framkom att det projekt som här slutrapporteras innehöll kunskaper och metoder som kunde användas för att besvara MSB:s frågeställningar. En omvärldsanalys gjordes. Ett uppdrag att simulera risker vid hantering av linräcke på olycksplats beställdes inom ramen för det pågående projektet (Hur säkra funktionen hos äldre linräckessystem?).

Simuleringen syftade till att beskriva vajerns beteende i spänt läge då den behöver kapas eller vid flytt av fordon, där vajer ligger i spänn under, och därmed förstå vilka krafter som frigörs vid eventuell kapning eller om linan släpper från det aktuella fordonet under en räddningsinsats.

Underbyggda rekommendationer gällande hur vajrar ska kapas när det är nödvändigt och vilka risker sådan kapning medför bör därför kunna presenteras under andra halvåret 2017.

2. Projektvärde (uppnått jämfört med förväntat)

Förväntningarna på projektet var genomgående höga och frågeställningarna var väl förankrade hos såväl bransch som i tidigare uppnådda forskningsresultat. Projektet "När behöver ställinan bytas" blev startskott till en forskningsspiral där fler fruktbara frågeställningar kunde formuleras, vilket starkt bidragit till att projektvärdet förväntats bli högt. Vidare har innevarande projekt dragit nytta av det intresse som det ursprungliga projektet rönt från såväl linjen som från externa intressenter.

Förväntat projektvärde har uppnåtts och kan också sägas ha överträffats mot bakgrund av att frågeställningar från MSB kunde hanteras inom projektets ram.

3. Projektresultat (jämfört med projektmål)

Uppnådda mål:

1. Via simulering har kunskapen om funktionaliteten hos äldre linräcken med olika defekter ökats
2. Medvetandegjort behovet av återkommande besiktningar i syfte att lista åtgärder som behövs för att upprätthålla systemens normenliga funktion och kapacitet

Med denna ökade kunskap har anvisningar för åtgärder, utbyte och kassation av komponenter i äldre linräckessystem tagits fram. I denna kunskapsbas ingår tillverkarnas manualer samt dokumentation om linspänning. Informationen kommer att finnas tillgänglig på trafikverket.se



Skapat av (Efternamn, Förnamn, org.) Holmén Hans, UHtsv	Dokumentdatum 2017-08-16	Version 1.0
--	-----------------------------	----------------

Måluppfyllelsen redovisas i form av rekommendationer till BAS Väg (förvaltningsobjektet) samt till projektledare på distriktsnivå.

Utförda simuleringar

- Krock mot linräcke med hängande linor
- Krock mot linräcke med hängande övre parallella linor
- Krock mot lutande linräcke i horisontell radie (påkörning på den konvexa sidan)
- Krock mot lutande linräcke i horisontell radie (påkörning på den konkava sidan)
- Krock mot linräcke med reducerad höjd
- Krock mot linräcke där stolpar fattas
- Krock mot linräcke där stolpar fattas (efter tidigare påkörning) och där den s.k. galgen ersätter nedkörda ståndare

Två extra simuleringar utfördes med fordon med annan metrisk tyngdpunkt än normfordon.

För räcken som saknar vävda linor, eller annan funktion som håller linorna på plats, kan man därför gissa att det finns risk att alla linor lyfts av vilket troligen kan ge påtaglig försämring av funktion. Betydelsen av infästningen av linor mot stolparna har även uppmärksatts av andra (se litteraturstudie i avsnitt 3 i Dynamores rapport).

Resultaten beskrivna i Kapitel 6 i Dynamores första rapport kan översättas till konsekvenser för funktionaliteten hos äldre linräckessystem. Dock ska påpekas att linräckets brist på funktionalitet ökar risken för fordonsgenomträngning, ökade arbetsbredder och överrullning.

Brist	Utfall	Risk	Kommentar (SBV)
Hängande linor	Ökad arbetsbredd	Genomträngning	Linor ska återställas till av leverantören anvisad linspänning (86.112)
Hängande övre parallella linor	Ökad arbetsbredd	Systemet har nått yttersta gräns för sin funktionalitet	Linor ska återställas till av leverantören anvisad linspänning (86.112)
Lutande linräcke i horisontell radie (påkörning på den konvexa sidan)	Ökad arbetsbredd	Helt tappad funktion	Toleranser för ståndarlutning ska föras in i konto 86.112 Stållineräcken. Behov av ytterligare FOI.



Skapat av (Efternamn, Förnamn, org.) Holmén Hans, UHtsv	Dokumentdatum 2017-08-16	Version 1.0
--	-----------------------------	----------------

Lutande linräcke i horisontell radie (påkörning på den konkava sidan av samma räcke som ovan)	Minskad arbetsbredd	Minskad eftergivlighet	Detta fenomen uppträder endast på linräcke som mitträcke på 2+1-väg. Toleranser för ståndarlutning ska föras in i konto 86.112 Ställineräcken.
Reducerad höjd	Ökad rollrotation och tappad kontroll över fordonet	Risk för genomkörning och voltning	Leverantörens toleranser avseende lägsta höjd ska upprätthållas under räckets livstid.
Stolpar fattas	Ökad arbetsbredd	Risk för överkörning och penetrering	Konto 86.1121 bör modifieras avseende åtgärdstid.
Stolpar fattas (efter tidigare påkörning) och där den s.k. galgen ersätter nedkörda ständare	Ökad arbetsbredd men linorna hålls på rätt nivå av galgen. Simuleringen visade att galgen kastades iväg vid påkörning.	Sträckan med fritt hängande linor får inte bli för lång. Riskerna ökar med antalet nedkörda ständare.	Konto 86.1121 bör modifieras avseende antalet galgar. Galgar bör sättas i sådan omfattning att man får ett maximalt nedhäng på 10 cm.

Dessa resultat ska jämföras mot de konkreta iakttagelser som gjorts på plats på olycksdrabbade sträckor samt ska de åtgärder som de facto utförts för att lösa problemet ställas bredvid resultaten från simuleringarna.

4. Erfarenheter och lärdomar

Projektet har varit begränsat till sin omfattning med en intern projektledare (beställare), en extern projektledare och huvuddelen av de operativa arbetet har utförts av ett företag specialiserat på simuleringsmodeller. Kompetensutveckling har i första hand skett hos den sistnämnda aktören, som genom projektet skaffat sig en avsevärt utökad kunskap om inverkan av kinetisk energi på jordförankrade konstruktioner. Under projektets gång har kvaliteten hos företagets leveranser höjts och behovet av förklaringar vid arbetsmöten och avstämningar har kunnat minimeras. Projektets arbete och inriktning har gjort att extern myndighet kontaktat projektledaren med ett speciellt problem vilket har kunnat lösas inom ramen för projektet (se



Skapat av (Efternamn, Förnamn, org.) Holmén Hans, UHtsv	Dokumentdatum 2017-08-16	Version 1.0
--	-----------------------------	----------------

ovan). Vidare har projektets framdrift väckt intresse hos UH regionalt och flera dialoger har förts med projektledare UH om problem med äldre linräckan.

De två sistnämnda händelserna pekar på att projektets organisation och arbetsform är hållbar och flexibel. Projektets styrning, ledning och framdrift har bidragit till dessa fördelar.

4.1 Projektets styrande funktion

Den huvudfrågeställning projektet behandlat är känd och identifierad av ledningen på olika nivåer av såväl VO Underhåll som VO Planering. Projektets resultat har varit efterfrågade och välkomna och det har funnits synergier med det trafiksäkerhetsarbete som Planering ansvarar för. Projektet relativt begränsade omfång och tydliga målinriktning har gjort att ingen speciell beslutsmodell har använts.

4.2 Projektledningsfunktion

Projektledningen har genomförts via återkommande avstämnings- och diskussionsmöten med utförande konsult. Det har varit möjligt att planera, styra och redovisa inom ramen för de återkommande kontakterna med utföraren och via goda kontakter med Portfölj Vidmakthålla.

4.3 Projektets operativa funktion

Arbetsformer har i första hand varit återkommande diskussionsmöten inom den lilla projektorganisationen. Stor delaktighet och engagemang har visats från utförare och Leverantör av de simuleringar som utgör projektets huvudleverans. Immateriella frågor, liksom modeller, kvalitets- och säkerhetssystem har inte behövt hanteras i projektet.

5. Förbättringsförslag

Stöd har framtagits för val av åtgärd vid underhåll för att minska störningar, LCC-kostnader och uppnå en robust väganläggning

Hur göra med systemen som handlats upp innan CE-märkningen?

Hur göra med systemen som handlats upp under perioden av samexistens.

Dessa förbättringsförslag hanteras i pågående projekt Linräckesinventering som drivs av Underhåll Vägsystem.

6. Övrigt

Kontakterna med MSB har vid sidan om att Trafikverket kunnat bistå med expertstöd, också resulterat i att MSB kunnat etablera nyttiga och nödvändiga kontakter med räckesbranschen Svenska väg- och broräckesföreningen.



Skapat av (Efternamn, Förnamn, org.) Holmén Hans, UHtsv	Dokumentdatum 2017-08-16	Version 1.0
--	-----------------------------	----------------

7. Referenser

Engstrand, K., ”Simuleringsbaserad studie med syfte att uppskatta hur linräckets kapacitet, i driftskedet, påverkas av olika avvikelser. Simulering av påkörning enligt EN1317 fall TB32”, Rapport nr 160141 rev 2. DYNAMore Nordic AB, Linköping, 2016.

Engstrand, K., ”Pilotstudie – En simuleringsbaserad pilotstudie med syfte att uppskatta beteendet hos en linräckeslina vid snabb avlastning, exempelvis genom kapning av linan”, Rapport nr 170121. DYNAMore Nordic AB, Linköping, 2017.

<i>Doc. no.</i> 160141	<i>Revision</i> 2	<i>Date of this revision</i> Nov. 24, 2016	<i>Project no.</i> P16014
<i>Type</i> Technical Report		<i>Date of first release</i> Sep. 28, 2016	<i>No. of pages</i> 35

<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> Simuleringsbaserad studie med syfte att uppskatta hur linräckens kapacitet, i driftskedet, påverkas av olika avvikelser. Simulering av påkörning enligt EN 1317 fall TB32.	
Confidentiality No distribution to third parties without permission from the client.	

Sammanfattning

Denna simuleringsbaserade studie ingår i ett projekt finansierat av Trafikverket kallat "När behöver stållinor bytas? Kontroll av stållinor till vajerräcken i driftskedet", i vilket åldrande linräckan behandlas.

I denna studie har ett antal olika räckes-avvikelser studerats genom simulering, dvs. linräckan med hängande linor, räcke monterad i radie inkluderat lutande stolpar, lågt räcke samt räcke där stolpar fattas, dvs. där stolpar är nedkörda efter en tidigare påkörning. I flera fall har simulering utförts även med en lina borttagen, dvs. med endast tre aktiva linor.

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	Litteraturstudie.....	3
4	Simuleringsmodell	5
5	Simuleringsresultat	6
5.1	ASI och THIV	6
5.2	Linräcke med hängande linor	7
5.2.1	En extra simulering med "häng" i endast de två övre linorna 11	
5.3	Linräcke med lutning, monterad i horisontell radie	13
5.3.1	Påkörning på konvexa sidan av räcket	14
5.3.2	Påkörning på konkava sidan av räcket	15
5.4	Linräcke med reducerad höjd	16
5.4.1	Två extra simuleringar med SUV och familjebuss	20
5.5	Linräcke där stolpar fattas efter tidigare påkörning	24
5.5.1	En extra simulering med endast 4 borttagna stolpar	29
5.5.2	En extra simulering med träffpunkt efter skadat området. 30	
6	Slutsatser från simuleringsresultaten	32
7	Referenser	35
8	Record of updated revisions	35

1 Inledning

Denna simuleringsbaserade studie ingår i ett projekt finansierat av Trafikverket kallat "När behöver ställinor bytas? Kontroll av ställinor till vajerräcken i driftskedet", i vilket åldrande linräcken behandlas.

Denna rapport, dvs. DYNAmore Nordic dokument nr. 160141, utgör en fortsättning på en tidigare studie utförd av DYNAmore Nordic år 2015/2016, se dokument nr. 150391 [1].

Simuleringarna i denna studie är utförda med Finita Element (FE) programvaran LS-DYNA [2] enligt DYNAmore Nordics utprovade simuleringsmetodik för simulering av EN 1317 prov. Simuleringsmodellerna byggdes med ANSA [3] och LS-PrePost [4]. LS-PrePost användes även för produktion av bilderna och graferna i denna rapport.

2 Projektplan

Denna simuleringsbaserade studie är en fortsättning på den tidigare studien som finns dokumenterad i rapport 150391 [1], vilket innebär att simuleringsmodell över krocksituation, dvs. fordon och räcke, har inhämtats från den tidigare studien och används vidare även i denna studie. För en mer detaljerad beskrivning av simuleringsmodellen och dess parametrar se dokument nr. 150391 [1].

Projektplanen är enligt följande:

1. Genomförande av en begränsad litteraturstudie med avseende på linräcken med avvikelser relevanta för denna studie.
2. Simulering av krock mot linräcke med hängande linor.
3. Simulering av krock mot linräcke, med lutning, monterad i radie (konvex/konkav).
4. Simulering av krock mot linräcke med reducerad höjd.
5. Simulering av krock mot linräcke där stolpar saknas efter en tidigare påkörning (med eller utan så kallad "galge").
6. Resultaten dokumenteras i en teknisk rapport samt filmer som visar krockförloppet i simuleringarna.

3 Litteraturstudie

En begränsad litteraturstudie har utförts med syftet att hitta dokument med innehåll relevant för denna simuleringsstudie. De referenser som lästes var [8][9][10][11][12][13][14][15]. Syftet med detta avsnitt i rapporten är att sammanfatta några av de viktigaste och för denna rapport relevanta slutsatserna och observationerna från litteraturstudien. Varianter på temat återfinns i fler skrifter än de som citeras här. För mer information och detaljer så hänvisas till respektive dokument.

Angående linans interaktion med räcketstolpar:

NCHRP Report 711 [8], publicerad år 2012 i USA, nämner att "Full-scale crash tests showed that barrier deflections from generic low-tension cable barrier systems are significantly higher (almost twice) than those observed in the high tension systems. The reason for this difference in deflection between low-tension and high-tension systems seen in crash tests is attributed more to the cable-to-post connections than the initial tension. Most high tension systems have a significantly stronger cable-to-post connection than the low-tension systems...". Vidare beskriver författarna att man genom simulering visat att installationslängden, dvs. avståndet mellan ändförankringarna, har betydelse för utböjningen. Dvs. längre installationslängd ger större utböjningen i krocken men att "Systems that restrict the longitudinal sliding of the cables relative to the posts (by engaging the posts or other means) lead to a smaller deflection increase when the end-anchor spacing is increased"

Angående änd-förankring av räcketlinor:

NCHRP Report 711 [8] nämner att "Adequate anchoring of the cables is critical to ensure satisfactory barrier performance during impact. Anchor movements lead to lower tension in the cables, which results in larger deflection of the system. The movement could lead to sagging of the cables, which affects cable height and consequently the barrier's ability to engage the vehicle"

Angående linräcke positionerad i horisontell radie:

NCHRP Report 711 [8] beskriver att simuleringar indikerar att "wide post spacings for cable barriers should not be used on horizontal curves where convex hits are possible and the curve radius is less than 400 m (1,300 ft)(degree of curvature greater than 4°). Even if adequate clear area is available, the greater deflection could adversely affect the barrier's ability to capture and redirect impacting vehicles". Vidare skriver författarna att "When a convex installation is impacted, the tension in the barrier immediately decreases as the cables are separated from the posts and become slack, resulting in deflections in excess of the barrier's design deflection" samt att "Shorter post spacings should be used to account for the increase in deflection when cable barriers are placed on horizontal curves with a radius less than 400 m".

"Road Design Note" [9] publicerad av VicRoads (Australien) ger föreskrifter för användning av linräcket. Bland annat så anges en formel för justering av utböjning av räcket (utgående ifrån "design deflection") på grund av faktorerna installationslängd & horisontell radie. I denna skrift tillåts inga radier lägre än 200 m eller leverantörensrekommenderade minsta radie, vilken av dessa som är störst. I den formeln är korrektionsfaktorn för räcket med konvex radie > 1500 lika med 1.0 (~rakt räcke) och ökar ju lägre radien blir. Exempelvis för radier 400-500 m är korrektionsfaktorn 1.4. För radier där påkörning endast kan ske på den konkava sidan är korrektionsfaktorn satt till 1.0 oavsett kurvatur.

Angående linans position i höjddled:

NCHRP Report 711 [8] nämner att "Cable heights affect a barrier's ability to engage and capture an impacting vehicle so tolerances must be tight to insure that the barrier will perform as designed". Vidare skriver författarna att "On sharp horizontal curves, cable heights can be affected by leaning line posts. Cable heights are also affected by discontinuities in the ground under the cables. Erosion, winter maintenance, and other activities around the cable barriers can cause ruts or mounds that will affect the height of the cables".

Angående skador på räcken efter påkörning:

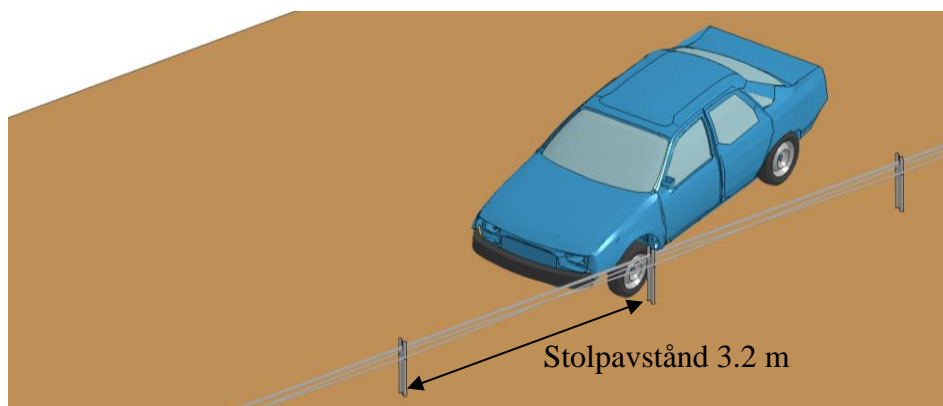
NCHRP Report 711 [8] nämner att "In most crashes, only posts are damaged. It is rare for the cable to be damaged unless a vehicle is tangled in the cables or the cables are cut by emergency response personnel". Vidare skriver författarna att "Most states have found that the average number of posts damaged in a crash is between four and eight".

4 Simuleringsmodell

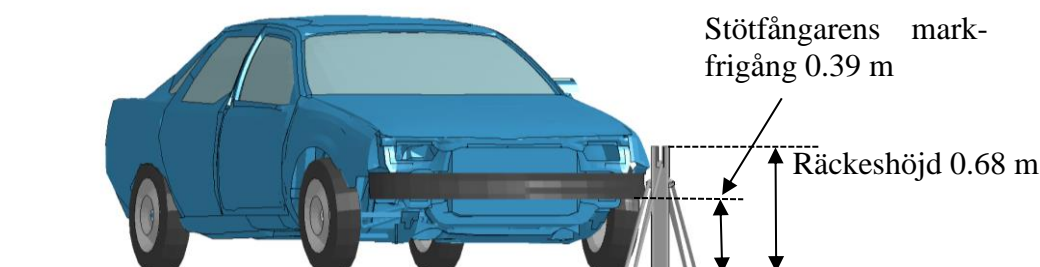
Simuleringsmodellen är densamma som användes i tidigare simuleringsstudie, se dokument [1], dvs. installationslängden är 105.6 m och stolpavståndet 3.2 m. Räckeshöjden är 680 mm, se Figur 3. I referensutförande har modellen fyra ställinor, där de två nedre linorna är vävda och de två övre linorna är parallella, med linförspänningen 17.25 kN, vilket motsvarar +20° C enligt en ATA manual för Brifen-system [10]. Brottvillkor i linor är inkluderat på samma sätt som i den tidigare studien, dvs. brottlast 160 kN i lina och 130 kN i skarvdel, se dokument [1] för detaljer. I simuleringsfallen med endast tre linor har den översta parallella lina tagits bort, dvs. på samma sätt som i föregående studie. I simuleringsmodellen antas stolparna väl förankrade i fast mark och så kallad "pull-out" av en stolpe är ej möjlig. Bilens vikt är i simuleringarna 1500 kg. Bilens COG, enligt EN 1317-1:2010 [6], är CGX: 1.24 m, CGY: -0.01 m och CGZ: 0.48 m. Påkörningshastigheten är 110 km/h och påkörningsvinkeln är 20°. Stötfångarens markfrigång är 0.39 m, se Figur 3.



Figur 1: Simuleringsmodell med räcke och bil.



Figur 2: Simuleringsmodell av krocksituationen.



Figur 3: Stötfångarens markfrigång och räckeshöjd.

5 Simuleringsresultat

I denna studie har ett antal olika räcket-avvikelser studerats genom simulering, dvs. linräcket med hängande linor, räcke monterad i radie inkluderat lutande stolpar, lågt räcke samt räcke där stolpar fattas, dvs. där stolpar är nedkörda efter en tidigare påkörning. I flera fall har simulering utförts även med en lina borttagen, dvs. med endast tre aktiva linor. Notera att simuleringarna omfattar den tid då bilen befinner sig i räcket, dvs. det eventuella fallet att bilen trasslar in sig i en lina och hur detta påverkar bilens utgång ur räcket inkluderas inte. Likaså beaktas inte interaktionen med en överkörd lina fullt ut, dvs. eventuell interaktion mellan bilen och en redan överkörd lina beaktas ej i simuleringen. Resultaten från simuleringarna är redovisat i sektion 5.1 till 5.5. Notera: När det i resultat-tabellerna under "Utfall" står "Bilen fångas upp och omdirigeras" så menas att bilen krockat med räcket, fångats upp av linorna och dirigerats tillbaka till körbanan.

5.1 ASI och THIV

Skaderiskvärden ASI (Acceleration Severity Index) och THIV (Theoretical Head Impact Velocity) ligger i simuleringarna på låga nivåer, dvs. $0.41 \leq ASI:2010 \leq 0.69$ respektive $11.6 \leq THIV \leq 19.5$ vilket är väl under gränsen för skaderiskklass A ($ASI \leq 1.0$; $THIV \leq 33$ km/h). Dessa låga värden är i linje med vad som förväntas för denna typ av räcke.

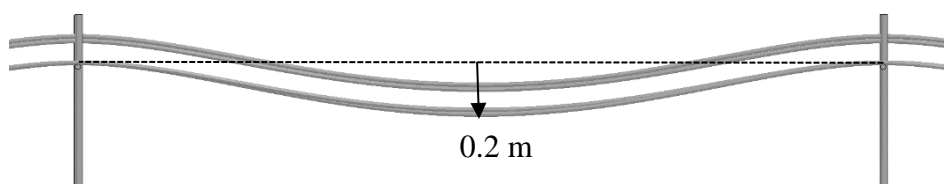
5.2 Linräcke med hängande linor

I dessa simuleringar är linorna riggade så att de har ett ”häng” i varje fack på linräcket. Detta häng ger ett slack i systemet. Exempelvis visar Figur 4 och Figur 5 simuleringarfall nr. 4 med ett häng på ca 0.2 m. Ett häng på 0.2 m ger ett slack, i aktuellt system, av storleksordningen 0.8 m per lina, dvs. en förlängning av lina jämfört med den uppsträckta referenskonfigurationen. Det kan vara värt att nämna att linornas längd i referenskonfigurationen är mellan 99 m och 106 m. I dessa simuleringar antas slacket i linorna vara så stort att förspänningskraften tappats helt.

Tabell 1 visar simuleringresultaten för de simulerade fallen. För fall 1 till 4 har räcket fyra linor och för fall 5 till 7 har räcket endast 3 linor. I tabellen redovisas aktuellt häng för respektive fall. Där ges även ett mått på storleksordningen på slacket i linorna, dvs. linans förlängning jämfört med referenskonfigurationen utan häng. I simuleringarna så kör bilen över linorna när hänget, och därmed slacket, är stort. Simuleringarna visar också att ökat häng/slack i systemet ger en ökad arbetsbredd/utböjning. Som jämförelse så gav simuleringarna med referens-modellen, dvs. fallet med uppsträckta linor (förspänning 17.25 kN), arbetsbredden 1.40 m för fallet med fyra linor och 1.59 m för fallet med 3 linor. En observation är att de övre parallella linorna lyfts upp och ur slitsen när slacket sträcks ut under krocken. Detta gör att det främst är de vävda linorna som fångar upp bilen eftersom de sitter bättre förankrade i stolparna, se Figur 6. Detta händer i olika utsträckning i samtliga simuleringarfall förutom möjligen fall 1 och fall 5, med häng 50 mm, där lina i mindre utsträckning lyfts så högt att den lämnar slitsen även om tendensen finns där också. Figur 7 till Figur 12 visar krockförloppet för fall 2.



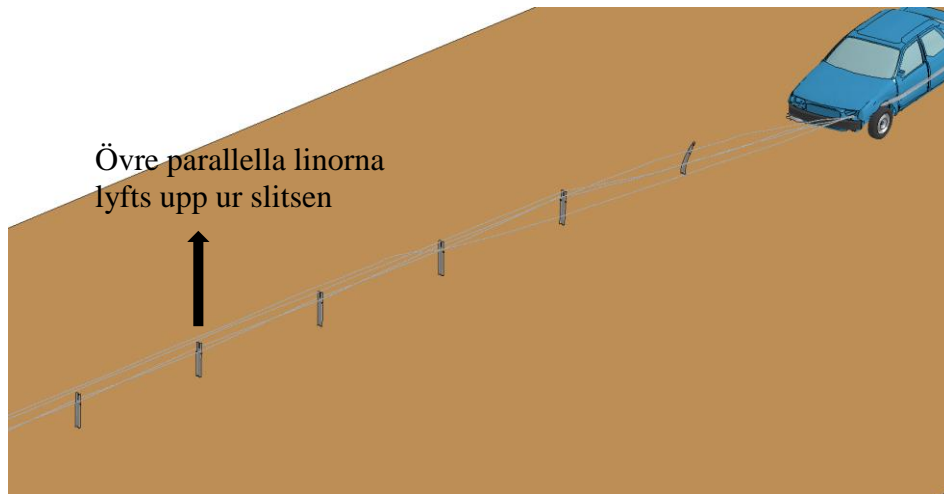
Figur 4: Räcke med häng på 0.2 m i varje fack.



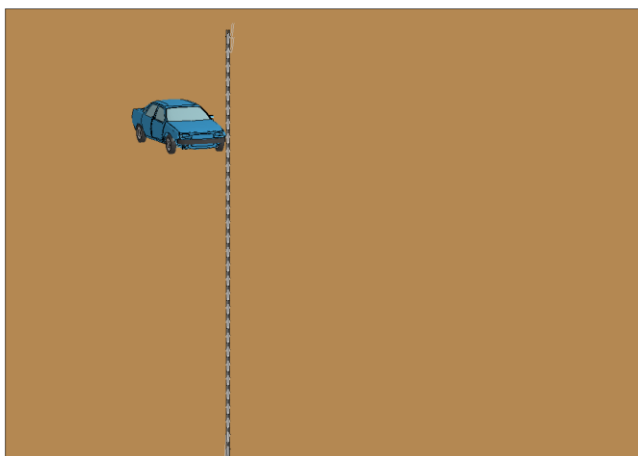
Figur 5: Närbild på ett fack med häng på 0.2 m.

Tabell 1: Simuleringsresultat för hängande linor

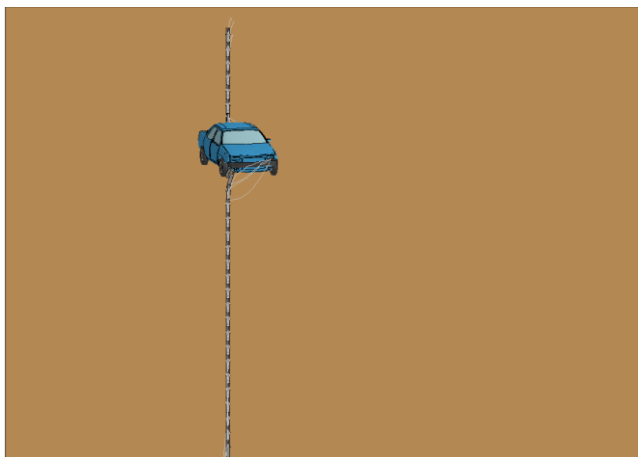
Fall	Antal linor	Häng [m]	Slack i systemet per lina [m]	Arbetsbredd [m]	Utfall
1	4	0.05	0.05	1.66	Bilen fångas upp och omdirigeras
2	4	0.1	0.2	2.12	Bilen fångas upp och omdirigeras
3	4	0.15	0.45	NA	Bilen kör över alla fyra linor
4	4	0.2	0.8	NA	Bilen kör över alla fyra linor
5	3	0.05	0.05	1.77	Bilen fångas upp och omdirigeras
6	3	0.1	0.2	2.29	Bilen fångas upp och omdirigeras
7	3	0.15	0.45	NA	Bilen kör över alla fyra linor



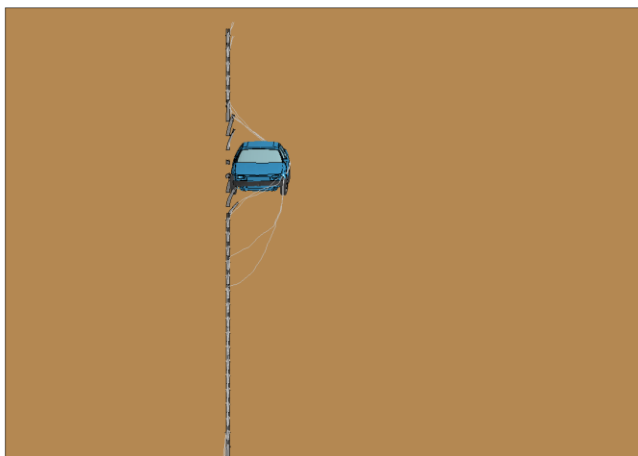
Figur 6: De övre parallella linorna lyfts upp ur slitsen i krocken (visas för simuleringsfall 2).



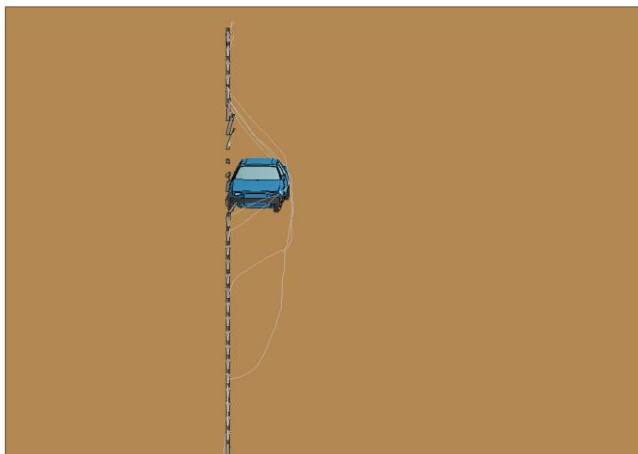
Figur 7: Fall 2 (med häng 0.1 m) vid tidpunkt 0.00 s.



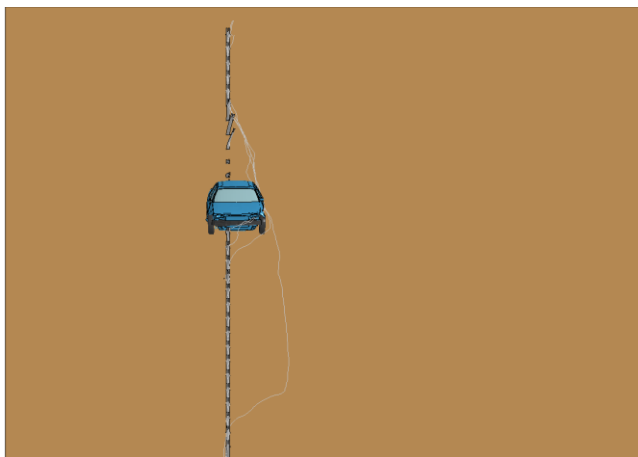
Figur 8: Fall 2 (med häng 0.1 m) vid tidpunkt 0.20 s.



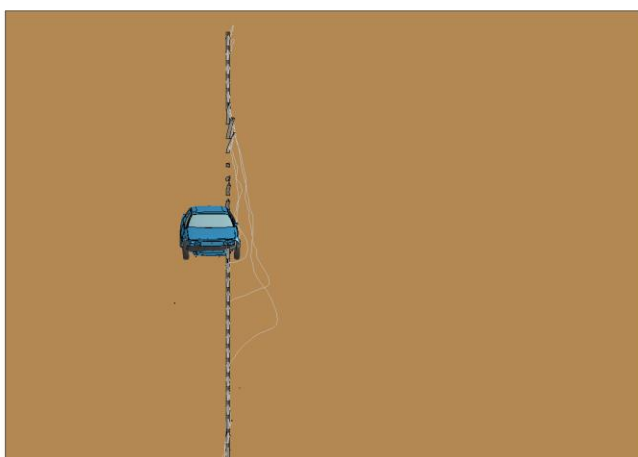
Figur 9: Fall 2 (med häng 0.1 m) vid tidpunkt 0.35 s.



Figur 10: Fall 2 (med häng 0.1 m) vid tidpunkt 0.50 s.



Figur 11: Fall 2 (med häng 0.1 m) vid tidpunkt 0.70 s.



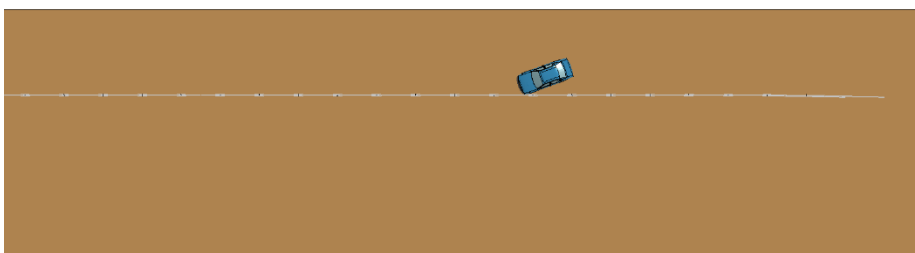
Figur 12: Fall 2 (med häng 0.1 m) vid tidpunkt 0.90 s.

5.2.1 En extra simulering med "häng" i endast de två övre linorna

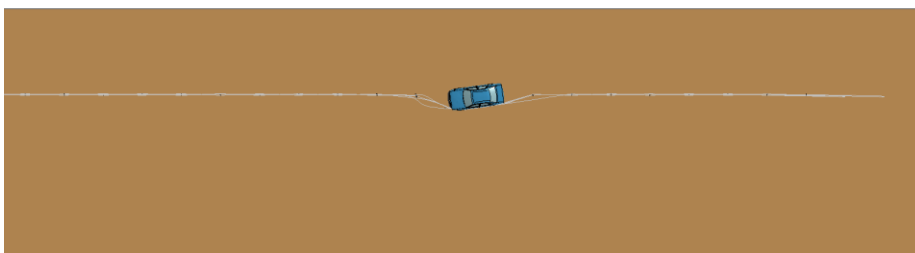
En ytterligare simulering utfördes med en variant på fall 3 (fyra linor med ett häng på 0.15 m) i Tabell 1 fast nu med häng (0.15 m) endast i de två parallella övre linorna. De två nedre flätade linorna är uppsträckta, dvs. utan häng, se Figur 13. Ingen förspänningskraft är applicerad på någon lina. Figur 14 till Figur 18 visar att fordonet fångas upp av linorna och styrs tillbaka. Det är främst de uppsträckta vävda linorna som jobbar och tar last i krocken. Arbetsbredden blev 1.85 m.



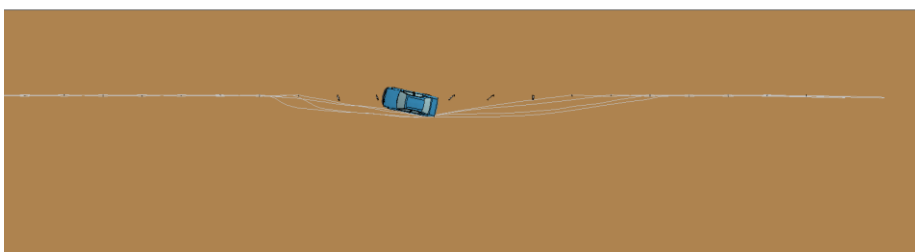
Figur 13: Närbild på ett fack.



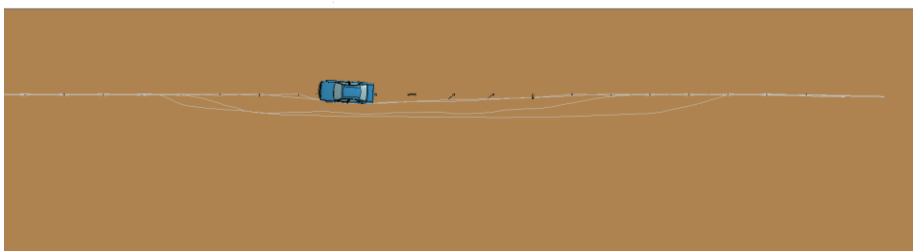
Figur 14: Simulering vid tidpunkt 0 s.



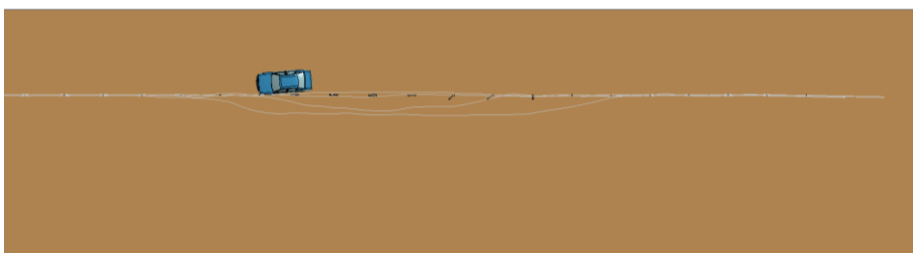
Figur 15: Simulering vid tidpunkt 0.2 s.



Figur 16: Simulering vid tidpunkt 0.4 s.



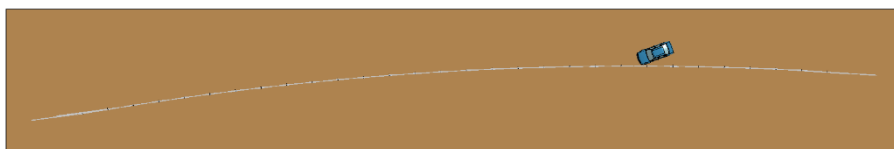
Figur 17: Simulering vid tidpunkt 0.6 s.



Figur 18: Simulering vid tidpunkt 0.8 s.

5.3 Linräcke med lutning, monterad i horisontell radie

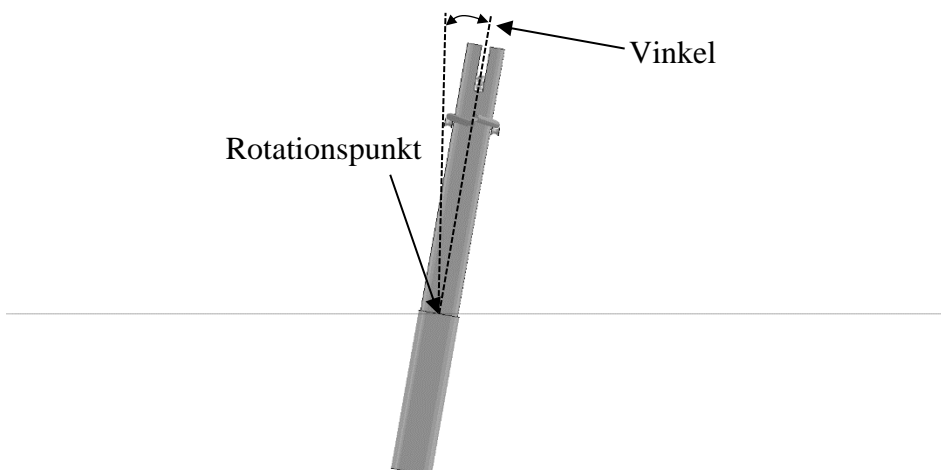
I dessa simuleringar är räcket uppsatt i radie (radie = 400 m) och dessutom så lutar stolparna inåt i olika utsträckning. Linräcket är initierat med linförspänning 17.25 kN. Figur 19, Figur 20 och Figur 21 visar fallet med fyra linor och lutning 10°. Det kan förtydligas i sammanhanget att i dessa simuleringar, liksom övriga simuleringar i denna studie, så antas stolparna sitta väl förankrade i marken och så kallad "pull-out" är ej möjlig. Vad gäller mätning av arbetsbredd så har stolpen närmast intill påkörningspunkten antagits som referenspunkt, dvs. "nollan", samt har endast bilens laterala rörelse tagits i beaktande, dvs. linornas position i sidled har ej ingått i mätningen.



Figur 19: Räcke uppsatt i radie ($r = 400$ m).



Figur 20: Räcke med radie 400 m och med stolpar som lutar 10°.



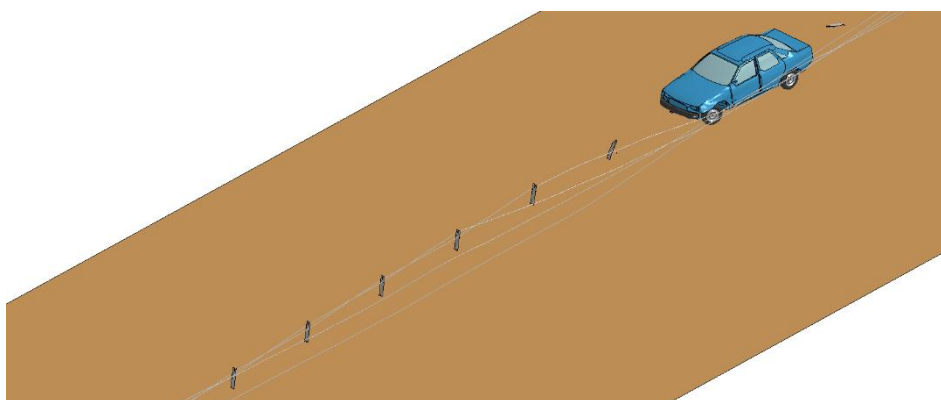
Figur 21: Rotationspunkt och vinkel för fallet med lutning 10°.

5.3.1 Påkörning på konvexa sidan av räcket

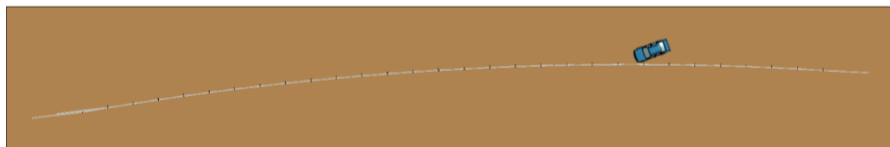
Först utfördes simuleringar där påkörning sker på den konvexa sidan av räcket, se tex. Figur 19 och Figur 20. Resultaten finns sammanfattade i Tabell 2. Simuleringarna visar att arbetsbredden/utböjningen ökar när räcket är monterat i konvex radie samt att den ökar mer ju mer stolparna lutar. Som jämförelse så gav simuleringarna med referens-modellen, dvs. fallet med helt rakt räcke, arbetsbredden 1.40 m för fallet med fyra linor och 1.59 m för fallet med 3 linor. Samtliga simuleringar visar på att de övre parallella linorna tenderar att lyftas upp och ur slitsen i krocken och därmed lämnar åt de vävda linorna att göra jobbet att fånga upp och styra tillbaka bilen, se Figur 22 för fallet med fyra linor och 10° lutning. Detta är ett beteende som blir tydligare med ökad lutning på räcket. Ett linbrott detekterades när två skarvar slog ihop i krocken (fall 6). Figur 23 till Figur 27 visar simuleringarfall 3.

Tabell 2: Simuleringsresultat för påkörning på den konvexa sidan av räcket.

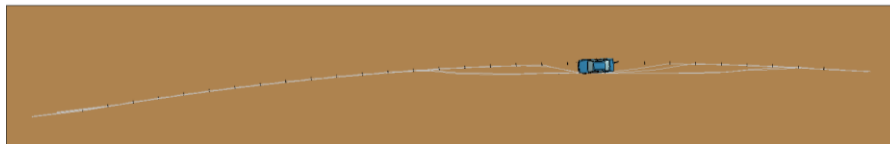
Fall	Antal linor	Radie [m]	Lutning [grader]	Arbetsbredd [m]	Utfall
1	4	400	0	1.55	Bilen fångas upp och omdirigeras
2	4	400	10	1.73	Bilen fångas upp och omdirigeras
3	4	400	20	2.30	Bilen fångas "knappt" upp och omdirigeras
4	4	400	30	NA	Bilen fångas ej upp
5	3	400	0	1.72	Bilen fångas upp och omdirigeras
6	3	400	10	NA	Linbrott i skarvdel
7	3	400	20	2.53	Bilen fångas "knappt" upp och omdirigeras
8	3	400	30	NA	Bilen fångas ej upp



Figur 22: Simulering av fall 2 (10° lutning) där övre linorna har glidit ur stolpslitsar.



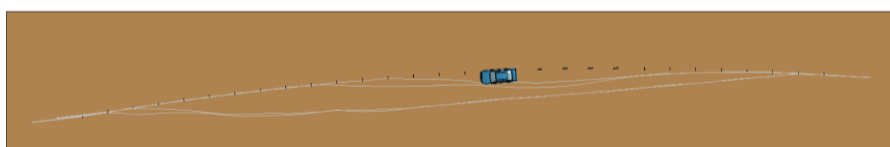
Figur 23: Fall 3 (20° lutning) vid tidpunkt 0.00 s.



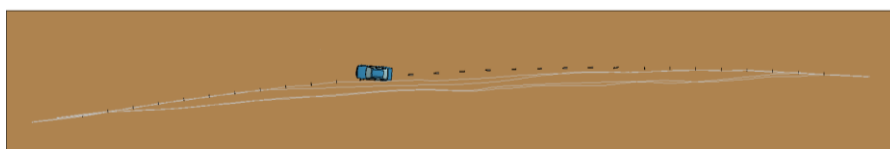
Figur 24: Fall 3 (20° lutning) vid tidpunkt 0.25 s.



Figur 25: Fall 3 (20° lutning) vid tidpunkt 0.40 s.



Figur 26: Fall 3 (20° lutning) vid tidpunkt 0.70 s.



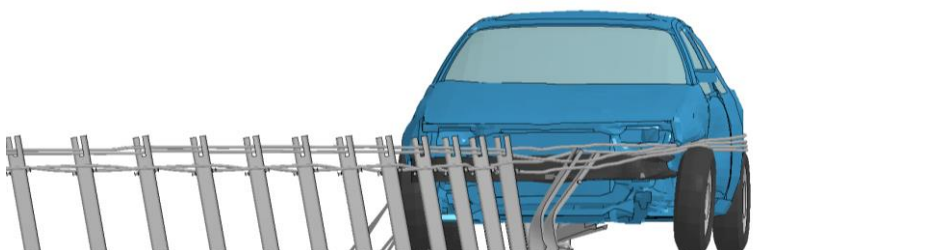
Figur 27: Fall 3 (20° lutning) vid tidpunkt 0.90 s.

5.3.2 Påkörning på konkava sidan av räcket

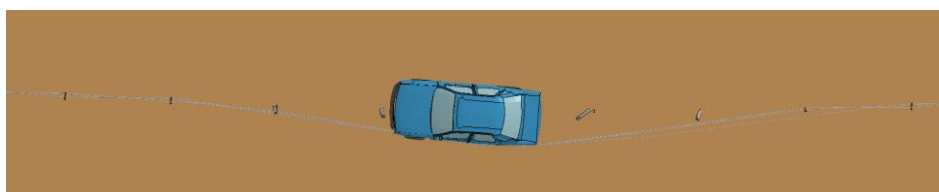
I dessa simuleringar har krocken skett på konkava sidan av räcket. För övrigt är förutsättningarna samma som i tidigare punkt 0. Resultaten finns sammanfattade i Tabell 3. Generellt så fungerar räcket bättre än vid krock på den konvexa sidan. Arbetsbredden/utböjningen blev t.o.m. något lägre än i referenssimuleringen (arbetsbredden blev 1.40 m i den simuleringen). En tydlig skillnad är att de övre parallella linorna ligger kvar i stolpslitsarna längre och därmed hjälper till att fånga upp och styra ut bilen. Det är i sammanhanget relevant att påminna att stolparna i simuleringarna antas sitta väl förankrade i fast mark, dvs. marken antas orka hålla uppe stolparna så att de kan böja strax ovan markplan. Se Figur 28 och Figur 29 för fallet med 10° lutning.

Tabell 3: Simuleringsresultat för påkörning på den konkava sidan av räcket.

Fall	Antal linor	Radie [m]	Lutning [grader]	Arbetsbredd [m]	Utfall
1	4	400	0	1.30	Bilen fångas upp och omdirigeras
2	4	400	10	1.24	Bilen fångas upp och omdirigeras
3	4	400	20	1.28	Bilen fångas upp och omdirigeras
4	4	400	30	1.39	Bilen fångas upp och omdirigeras men kör över två linor



Figur 28: Simulering av fall 2 (10° lutning) vid tiden för max utböjning.

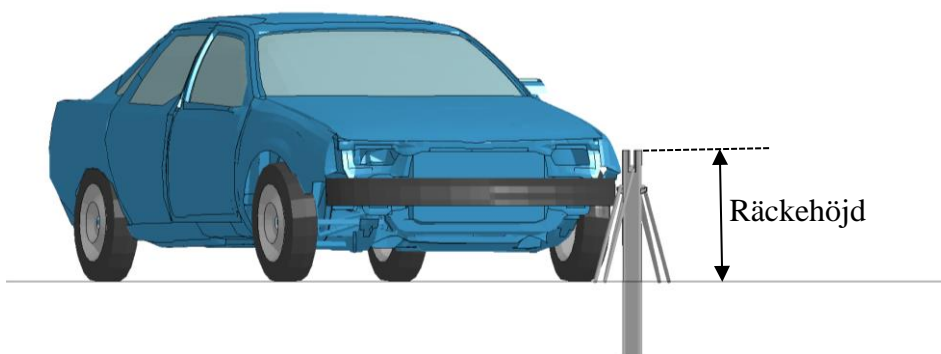


Figur 29: Simulering av fall 2 (10° lutning) vid tiden för max utböjning.

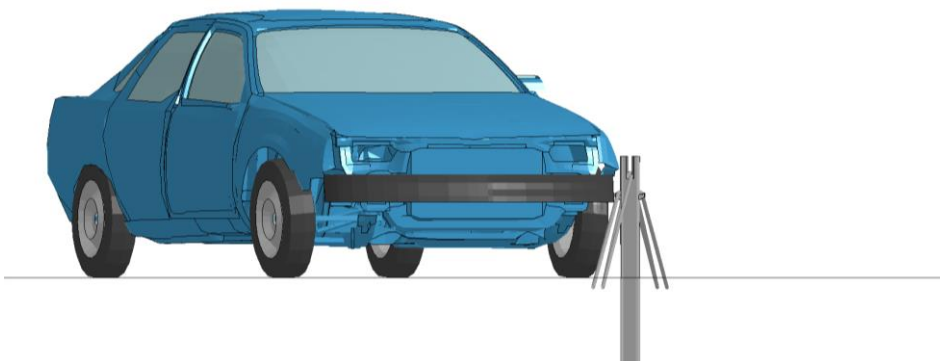
5.4 Linräcke med reducerad höjd

I dessa simuleringar har räckets höjd reducerats på enklast möjliga vis, dvs. räckesmodellen har translaterats vertikalt nedåt under marknivån, se Figur 30 till Figur 33. Linräcket är initierat med linförspänning på 17.25 kN. Tabell 4 visar en sammanfattning av resultaten, dvs. att när räckeshöjden blir för låg så åker bilen över linorna. En observation är att när räckets höjd blir lägre så lägger sig linorna allt längre ned mot bilen vilket ger en ökad rollrotation av bilen i krocken, jämför Figur 34 och Figur 35. Eftersom positionen på bilens tyngdpunkt, dvs. i vertikal led, kan antas ha betydelse för bilens tendens för roll-rotation så gjordes en extra simuleringar där bilens vertikala tyngdpunkt, genom omfördelning av vikt, höjts med 5 cm från befintlig tyngdpunkt 0.48 m över marken till 0.53 m över marken. Figur 37 och Figur 38 visar detta för fallet med räckeshöjd 0.58 m (dvs. räckets

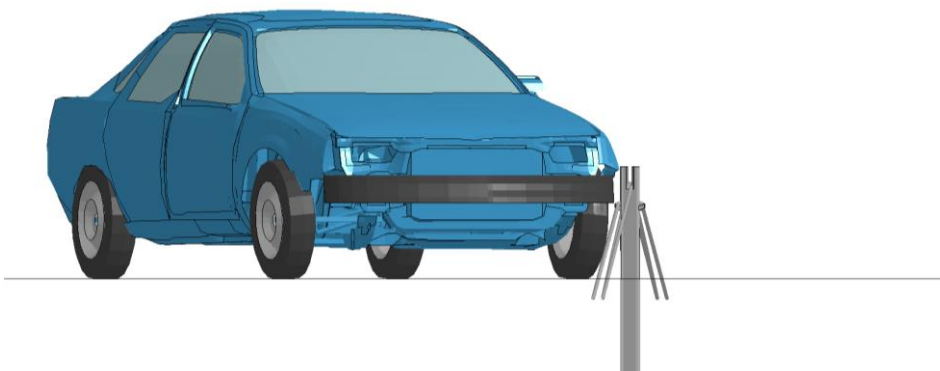
sänkt 10 cm) där bilen lämnar räcket med en kraftigare roll jämfört med Figur 35 och Figur 36. Motsvarande beteende visas även i Figur 39 och Figur 40 för fall 6. Detta sidospår ligger utanför denna studie varför ingen ytterligare fördjupning har gjorts. För övrigt har även bilens geometri betydelse för interaktionen mellan bil och linor när linorna befinner sig på lägre höjd, vilket inte heller ingår i denna studie att analysera djupare.



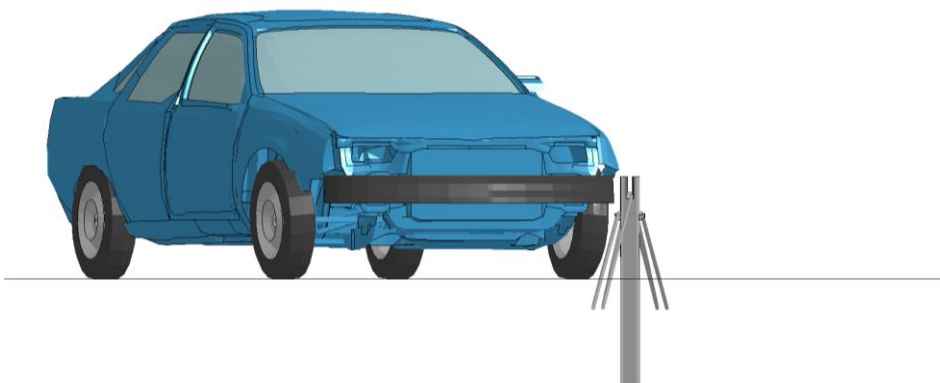
Figur 30: Simuleringsfall 1 – Nominell räckeshöjd 0.68 m.



Figur 31: Simuleringsfall 2 – Reducerad räckeshöjd 0.63 m.



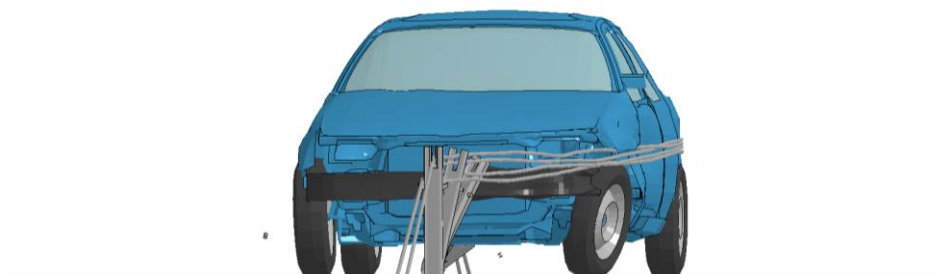
Figur 32: Simuleringsfall 3 – Reducerad räckeshöjd 0.58 m.



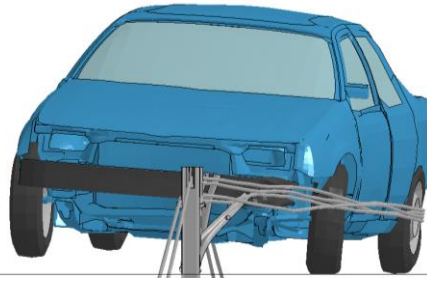
Figur 33: Simuleringsfall 3 – Reducerad räckeshöjd 0.53 m.

Tabell 4: Simuleringsresultat för påkörning på räcke med reducerad höjd. Notera: Fall 1 och 5 är med nominell räckeshöjd.

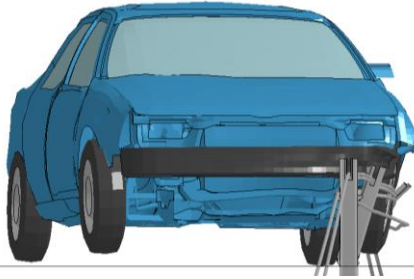
Fall	Antal linor	Höjd [m]	Arbetsbredd [m]	Utfall
1	4	0.68	1.40	Bilen fångas upp och omdirigeras
2	4	0.63	1.42	Bilen fångas upp och omdirigeras
3	4	0.58	1.38	Bilen fångas upp och omdirigeras
4	4	0.53	NA	Bilen kör över alla fyra linor
5	3	0.68	1.59	Bilen fångas upp och omdirigeras
6	3	0.63	1.61	Bilen fångas upp och omdirigeras
7	3	0.58	NA	Bilen kör över alla fyra linor
8	3	0.53	NA	Bilen kör över alla fyra linor



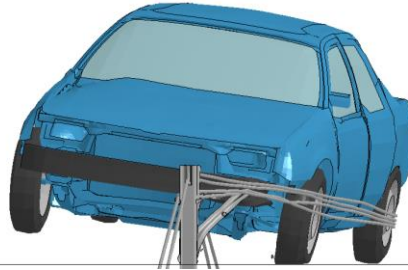
Figur 34: Fall 1 (räckeshöjd 0.68 m) vid max arbetsbredd/utböjning.



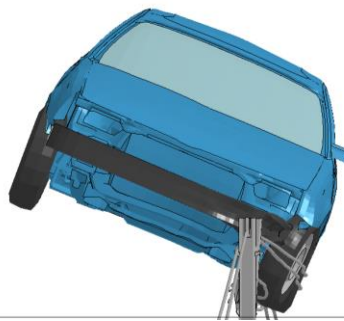
Figur 35: Fall 3 (räckeshöjd 0.58 m) vid max arbetsbredd/utböjning.



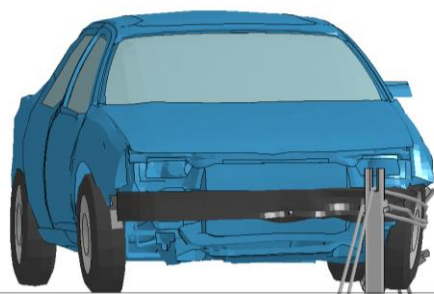
Figur 36: Fall 3 (räckeshöjd 0.58 m). Bilen lämnar räckets.



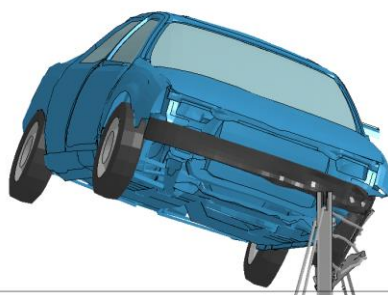
Figur 37: Fall 3 (räckeshöjd 0.58 m) vid max arbetsbredd/utböjning för fallet där bilens tyngdpunkt är flyttad 5 cm högre.



Figur 38: Fall 3 (räckeshöjd 0.58 m) för fallet där bilens tyngdpunkt är flyttad 5 cm högre. Bilen lämnar räckets.



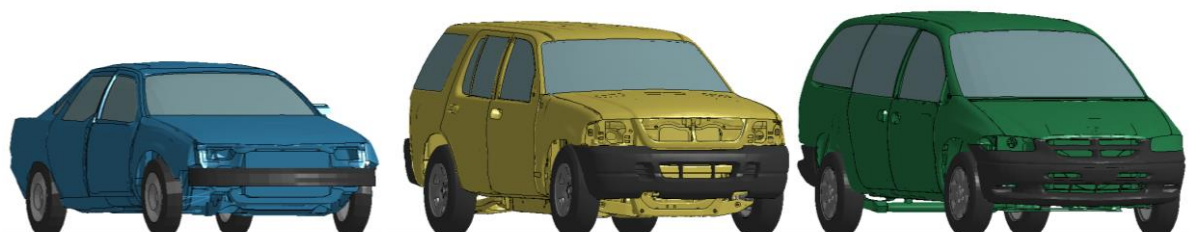
Figur 39: Fall 6 (räckeshöjd 0.63 m). Bilen lämnar räcket.



Figur 40: Fall 6 (räckeshöjd 0.63 m) för fallet där bilens tyngdpunkt är flyttad 5 cm högre. Bilen lämnar räcket.

5.4.1 Två extra simuleringar med SUV och familjebuss

Två ytterligare simuleringar gjordes enligt fall 1 i Tabell 4 (referenssystemet med fyra linor och normal räckeshöjd 0.68 m) men nu med fordon av annan större fordonstyp, dvs en SUV (Ford Explorer) och en familjebuss (Dodge Caravan). Figur 41 visar en storleksmässig jämförelse av de olika fordonmodellerna som används i detta projekt. Samtliga tre modeller är publika, i LS-DYNA format, och är utvecklade av "The National Crash Analysis Center", NCAC, vid George Washington University, USA.



Figur 41: FE-modeller av Ford Taurus, Ford Explorer och Dodge Caravan

Tabell 5 visar data för tyngdpunkten för de olika fordonsmodellerna. I dessa simuleringar är Ford Explorer tyngst men Dodge Caravan har den högsta tyngdpunkten. Tabell 6 visar fordonens dimensioner.

Tabell 5: Tyngdpunktspecifikation enligt EN 1317 [6]

	Vikt [kg]	CGX [m]	CGY[m]	CGZ[m]
Ford Taurus	1500	1.24	-0.01	0.48
Ford Explorer	2312	1.42	0.00	0.56
Dodge Caravan	2048	1.36	-0.03	0.65

Tabell 6: Fordonens dimensioner

	Längd[m]	Bredd[m]	Höjd [m]	Axelavstånd[m]
Ford Taurus	4.60	1.81	1.39	2.72
Ford Explorer	4.82	1.85	1.71	2.88
Dodge Caravan	5.05	1.90	1.79	3.04

Figur 42 till Figur 45 visar att Ford Explorer fångas upp av räcket och styrs tillbaka. Arbetsbredden blev i denna simuleringen 1.99 m. Figur 46 till Figur 51 visar at Dodge Caravan visserligen fångas upp och styrs tillbaka men med sådan roll-rotation att den kommer ut voltandes.



Figur 42: Simulering vid tidpunkt 0.0 s.



Figur 43: Simulering vid tidpunkt 0.4 s.



Figur 44: Simulering vid tidpunkt 0.8 s.



Figur 45: Simulering vid tidpunkt 1.2 s.



Figur 46: Simulering vid tidpunkt 0.0 s.



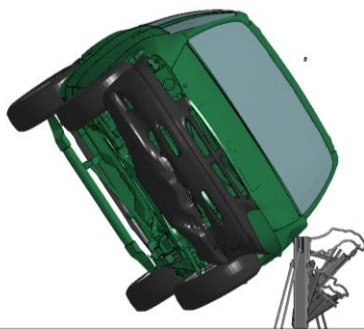
Figur 47: Simulering vid tidpunkt 0.2 s.



Figur 48: Simulering vid tidpunkt 0.4 s.



Figur 49: Simulering vid tidpunkt 0.6 s.



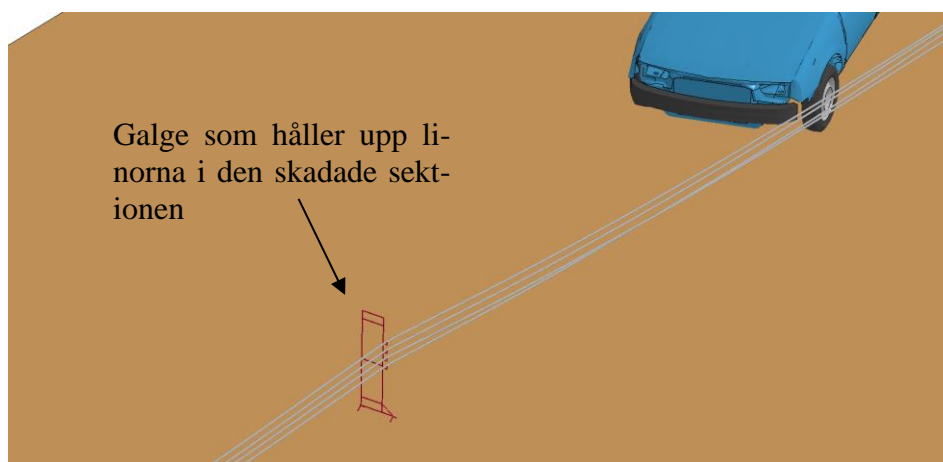
Figur 50: Simulering vid tidpunkt 0.8 s.



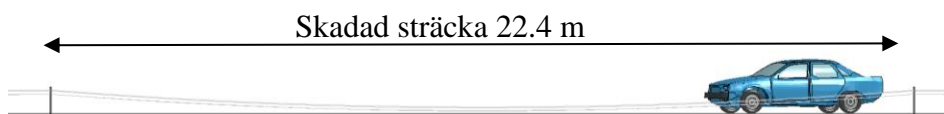
Figur 51: Simulering vid tidpunkt 0.94 s.

5.5 Linräcke där stolpar fattas efter tidigare påkörning

I dessa simuleringar har ett antal stolpar, dvs. 6, 10 eller 14, tagits bort ur modellen med antagandet är att en tidigare påkörning skett och att dessa stolpar därmed förutsätts inaktiva vid en sekundär krock på samma, skadade, sektion av linräcket. Det är alltså den sekundära krocken som studeras i dessa simuleringar. Simuleringar har utförts med räcket i två utföranden, dvs. med eller utan så kallad ”galge”, se Figur 52. I fallen med galge så har galgen placerats mitt i den skadade sektionen, se Figur 53 till Figur 58. I fallen utan galge befinner sig den högst belägna linan mellan 0 cm och 16 cm ovanför markplanet (mätt i mitten av den skadade sektionen) och för fallet med galge så befinner sig den högst belägna linan på höjden 75 cm ovanför markplanet (mätt i mitten av den skadade sektionen). Galgen är fiktiv även om den i vissa delar till utseendet är baserad på en befintlig galge. I simuleringarna så har denna galge som enda funktion att hålla upp linorna vid påkörningsögonblicket. Vad som händer med galgen efter krockögonblicket är inte relevant för denna studie (i dessa simuleringar lossar den typiskt från räcket och flyger iväg). Linräcket har i simuleringarna fyra linor och det antas vara så pass skadat att linförspänningen försvunnit. Tabell 7 visar en sammanfattning av resultaten. Trots att bilen, även med galge, kör över ett par linor så hjälper de kvarvarande linorna till att fånga upp och styra tillbaka bilen, åtminstone hjälpligt, i fall 4 och 5. Figur 59 till Figur 64 visar fall 5.



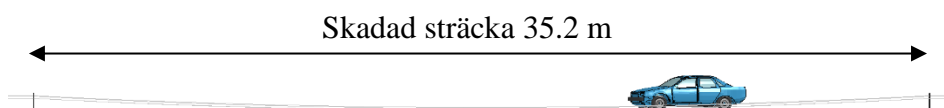
Figur 52: Galgen som håller upp linorna.



Figur 53: Fall 1 där 6 stolpar är borttagna (utan galge).



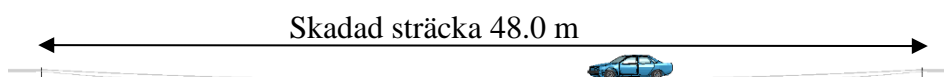
Figur 54: Fall 4 där 6 stolpar är borttagna (med galge).



Figur 55: Fall 2 där 10 stolpar är borttagna (utan galge).



Figur 56: Fall 5 där 10 stolpar är borttagna (med galge).



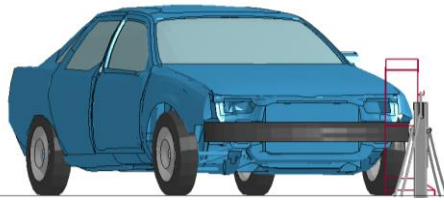
Figur 57: Fall 3 där 14 stolpar är borttagna (utan galge).



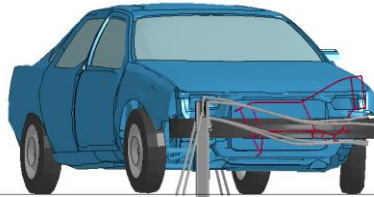
Figur 58: Fall 6 där 14 stolpar är borttagna (med galge).

Tabell 7: Simuleringsresultat för påkörning av krockskadat räcke.

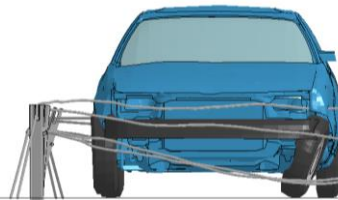
Fall	Borttagna stolpar	Galge	Arbetsbredd [m]	Utfall
1	6	Nej	NA	Bilen kör över alla fyra linor
2	10	Nej	NA	Bilen kör över alla fyra linor
3	14	Nej	NA	Bilen kör över alla fyra linor
4	6	Ja	2.47	Bilen fångas upp och omdirigeras (nästan tillbaka till körbanan, se Figur 65) men kör i krocken över två linor
5	10	Ja	2.53	Bilen fångas upp och omdirigeras men kör i krocken över två linor
6	14	Ja	NA	Bilen kör över alla fyra linor



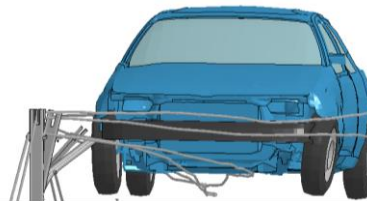
Figur 59: Fall 5 (10 borttagna stolpar) vid tidpunkt 0.00 s.



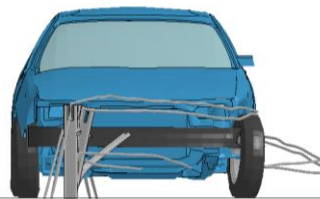
Figur 60: Fall 5 (10 borttagna stolpar) vid tidpunkt 0.15 s.



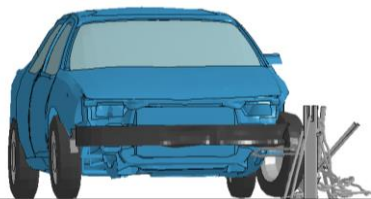
Figur 61: Fall 5 (10 borttagna stolpar) vid tidpunkt 0.35 s.



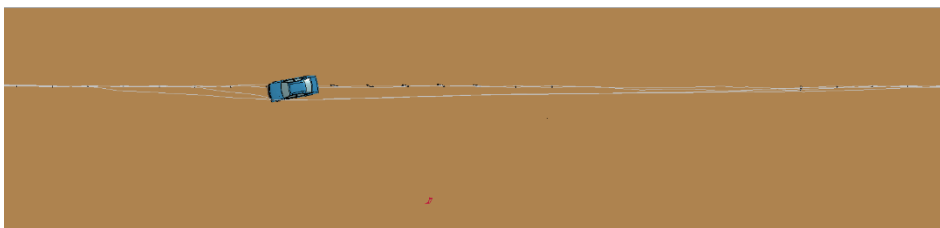
Figur 62: Fall 5 (10 borttagna stolpar) vid tidpunkt 0.45 s.



Figur 63: Fall 5 (10 borttagna stolpar) vid tidpunkt 0.80 s.

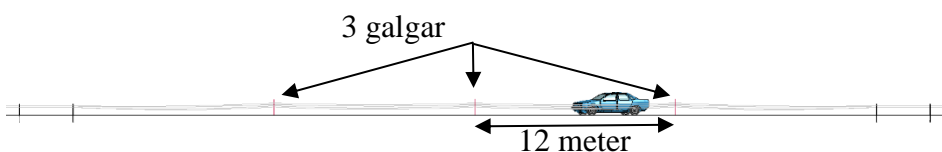


Figur 64: Fall 5 (10 borttagna stolpar) vid tidpunkt 1.30 s.

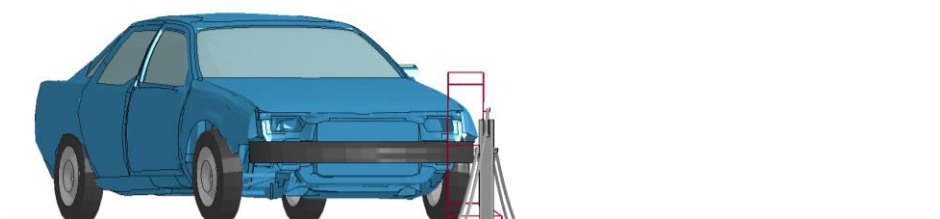


Figur 65: Fall 4. Bilen styrs nästan tillbaka till körbanan, men hamnar i en position där den ligger mitt i räcknet och mejar ner stolpar.

För fall 6 med 14 borttagna stolpar och en galge placerad mitt i den skadade sektionen så körde bilen över alla fyra linor och penetrerade därmed räcknet. Den skadade sträckan är i detta fall 48 m, se Figur 57, vilket innebär att det är 24 meter av fritt hängande linor före och efter räcknet. Detta är en relativt lång ”fri” sträcka varför en extra simulering utfördes där tre galgar användes istället för en. Sträckan med fritt hängande linor blir då reducerad till 12 meter, se Figur 66. Som Figur 67 till Figur 71 visar så fångas bilen upp av räcknet och dirigerar tillbaka bilen till körbanan. Bilen kör över två linor och arbetsbredden blir stor, dvs. 2.99 meter (galgen ej medräknad i beräkningen av arbetsbredden).



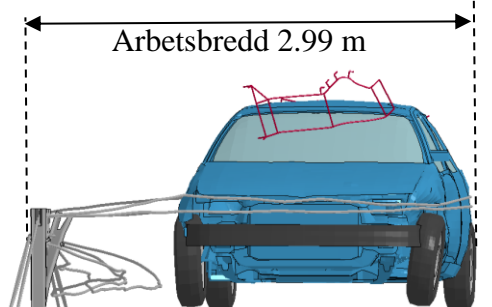
Figur 66: Fall 6, 14 stolpar borttagna, med tre galgar istället för en galge.



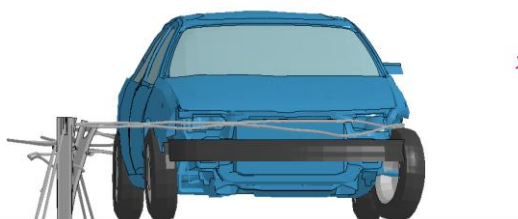
Figur 67: Fall 6 (14 borttagna stolpar), med tre galgar istället för en galge, vid tidpunkt 0.00 s.



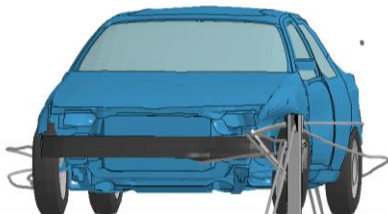
Figur 68: Fall 6 (14 borttagna stolpar), med tre galgar istället för en galge, vid tidpunkt 0.40 s.



Figur 69: Fall 6 (14 borttagna stolpar), med tre galgar istället för en galge, vid tidpunkt 0.50 s.



Figur 70: Fall 6 (14 borttagna stolpar), med tre galgar istället för en galge, vid tidpunkt 0.80 s.



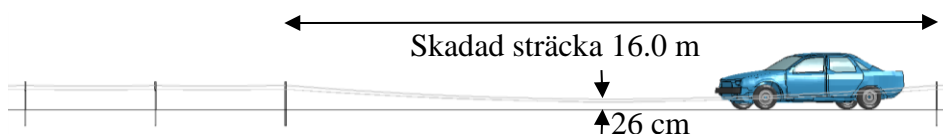
Figur 71: Fall 6 (14 borttagna stolpar), med tre galgar istället för en galge, vid tidpunkt 1.20 s.

5.5.1 En extra simulering med endast 4 borttagna stolpar

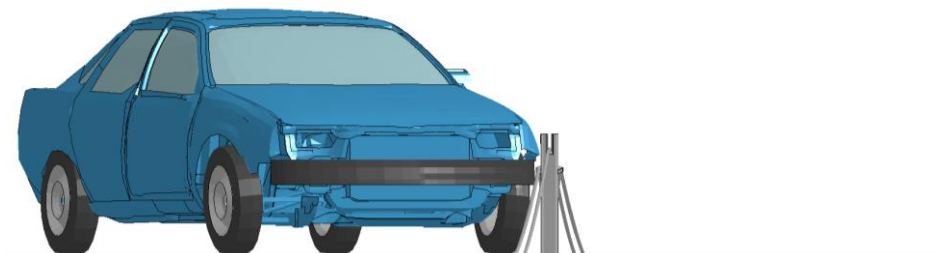
En ytterligare simulering utfördes med en variant på fall 1 (6 borttagna stolpar utan galge) i Tabell 7 fast nu med endast 4 borttagna stolpar. Det är samma häng i denna simulering som i fall 1. Med det menas att två stolpar har lagts till befintlig räcketmodell, en från var sida om det skadade området, vilket gör att linorna höjts ca 10 cm i lägsta läget (från 16 cm till 26 cm). Figur 72 och Figur 73 visar krockpunkten i föregående simulering (fall 1) och i denna simulering. Den är samma i betydelsen att avståndet till närmaste stolpe uppströms är lika. Trots två extra stolpar så åker bilen över räcket, se Figur 74, Figur 75 och Figur 76



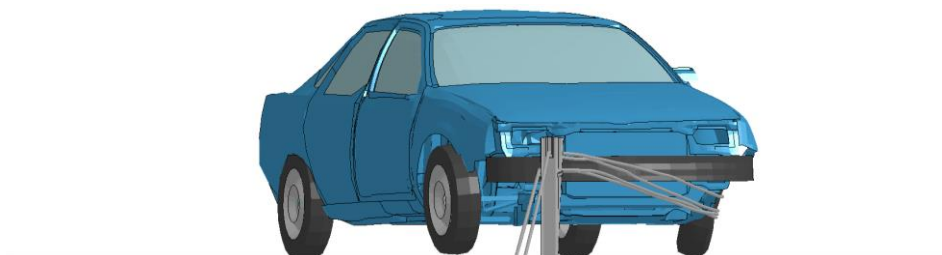
Figur 72: Fall 1 i Tabell 7. Här är 6 stolpar borttagna.



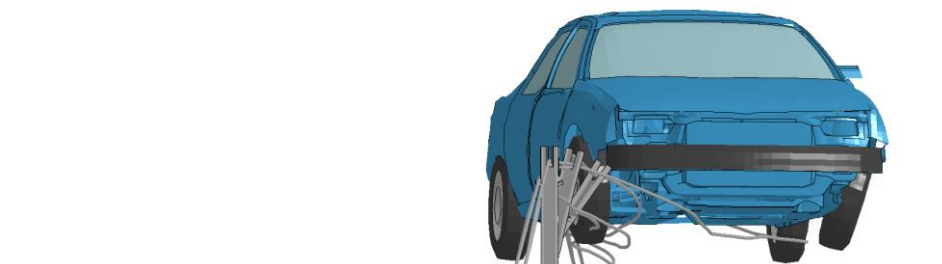
Figur 73: I denna simulering är 4 stolpar borttagna.



Figur 74: Simulering vid tidpunkt 0 s.



Figur 75: Simulering vid tidpunkt 0.13 s.



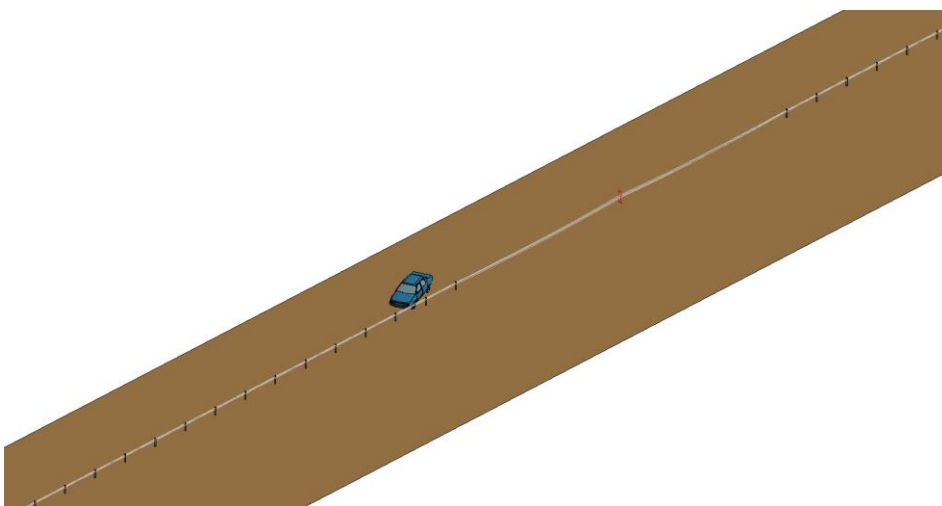
Figur 76: Simulering vid tidpunkt 0.26 s.

5.5.2 En extra simulering med träffpunkt efter skadat området

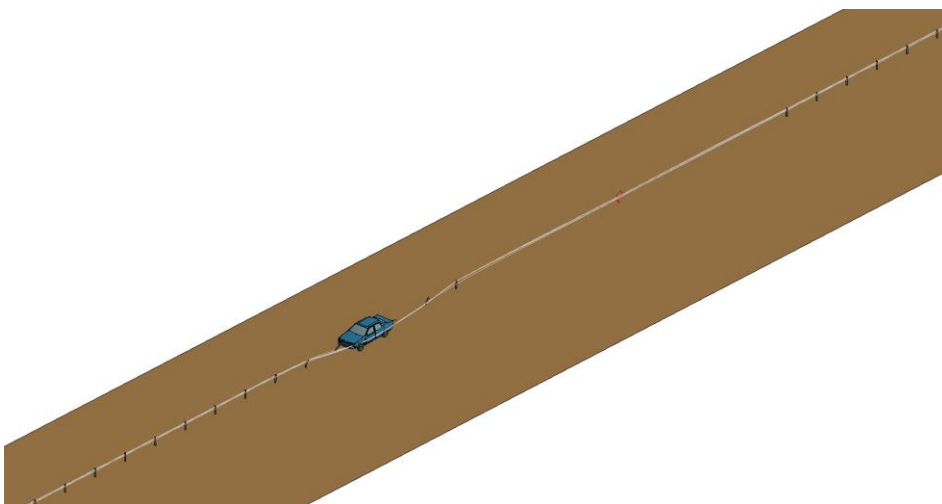
En ytterligare simulering utfördes enligt fall 5 i Tabell 7 (10 borttagna stolpar med galge) fast nu med en annan träffpunkt. Träffpunkten är i denna simulering belägen efter det skadade området, se Figur 77. Räckesmodellen har i denna simulering förlängts (medströms) med 9 stolpar (28.8 m) för att minska randeffekterna när bilen närmar sig räckets slut. Figur 78 till Figur 82 visar att bilen fångas upp av räckets och styrs tillbaka. Arbetsbredden blev i denna simulering 1.69 m.



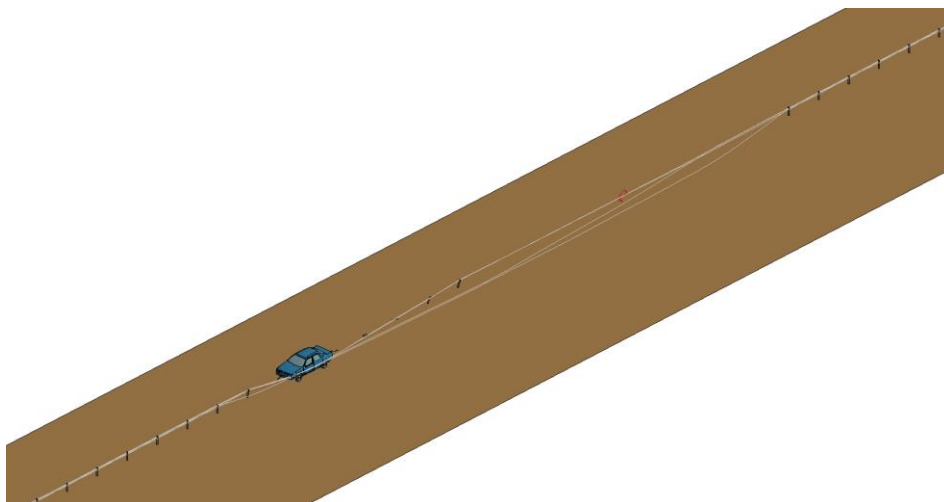
Figur 77: Träffpunkt belägen efter det skadade området.



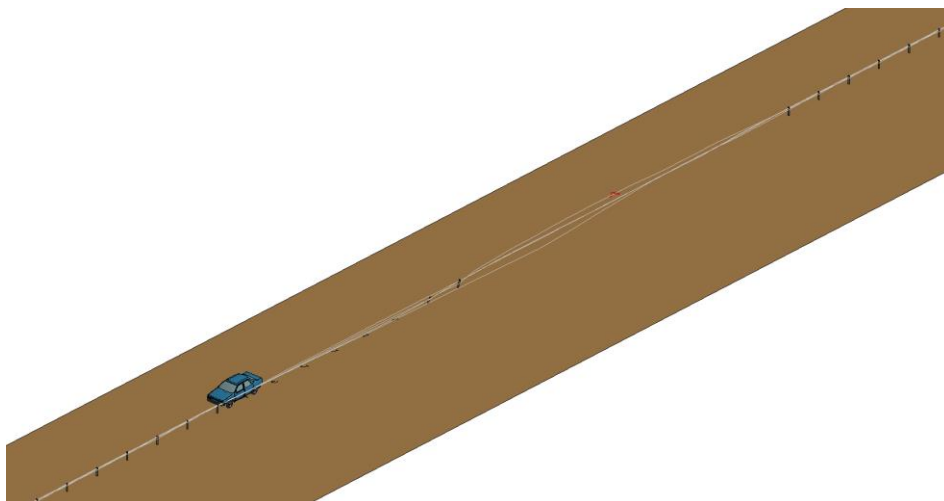
Figur 78: Simulering vid tidpunkt 0.0 s.



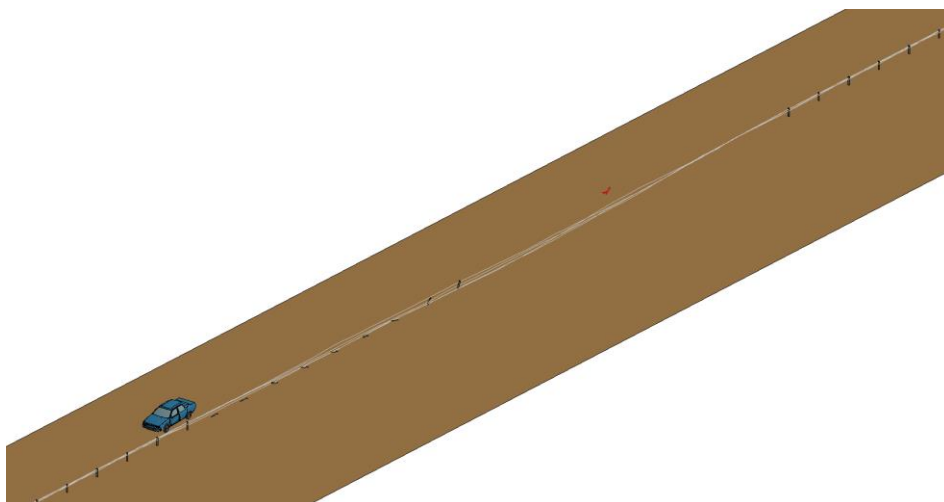
Figur 79: Simulering vid tidpunkt 0.25 s.



Figur 80: Simulering vid tidpunkt 0.5 s.



Figur 81: Simulering vid tidpunkt 0.75 s.



Figur 82: Simulering vid tidpunkt 1.0 s.

6 Slutsatser från simuleringsresultaten

Simuleringsresultaten sammanfattas enligt följande:

1. ASI och THIV ligger på låga nivåer i simuleringarna, dvs. väl under gränsen för Skaderiskklass A. Detta är som förväntat för denna typ av räcke.
2. Simulering av krock mot linräcke med hängande linor visar att när ”hänget”, dvs. slacket i systemet, ökar så ökar arbetsbredden/utböjningen och även risken för att bilen kör över linorna och därmed penetrerar räcket. Simuleringarna visar att de övre parallella linorna har en benägenhet att lyftas upp och ur stolpslitsarna och därmed överlämna åt de nedre vävda linorna att göra det väsentliga jobbet att styra tillbaka bilen. Man kan spekulera att de vävda linorna inte lyfts av stolparna just p.g.a. vävningen som ger mer friktion. *För räcken som saknar vävda linor, eller annan funktion som håller linorna på plats, kan man därför gissa att det finns risk att alla linor lyfts av vilket troligen kan ge påtaglig försämring av funktion. Betydelsen av infästningen av linor mot stolparna har även uppmärksammats av andra, se litteraturstudien i avsnitt 3.*

En extra simulering utfördes med ”häng” endast i de övre parallella linorna. I den simuleringen fångades bilen upp av linorna och styrdes tillbaka, se kapitel 5.2.1. Det mer lyckade utfallet i denna simulering jämfört med motsvarande simulering med slack i samtliga fyra linorna beror på att de nedre flätade, uppsträckta, linorna hade möjlighet att jobba och ta last i krocken.

3. Simulering av krock mot lutande linräcke placerad i horisontell radie där påkörningen sker på den konvexa sidan av räcket visar att arbetsbredden/utböjningen ökar både på grund av radien (jämfört med ett rakt räcke) och på grund av att räckets lutning. När räcke-slutningen blir stor så är risken att räckets förmåga att fånga upp bilen och styra tillbaka den upphör helt. Simuleringarna visar att de övre parallella linorna har en benägenhet att lyftas upp och ur stolpslitsarna och därmed överlämna åt de nedre vävda linorna att göra jobbet att styra tillbaka bilen, se även punkt 2 angående vävda linor.
4. Simulering av krock mot lutande linräcke placerad i horisontell radie där påkörning sker på den konkava sidan av räcket visar att räcket generellt fungerar mycket bättre jämfört med när krocken sker mot den konvexa sidan. Arbetsbredden/utböjningen t.o.m. minskar jämfört med ett rakt räcke. En förklaring till detta är att de övre parallella linorna ligger kvar längre i stolpslitsarna och därmed mer effektivt hjälper till att fånga upp och styra ut bilen.

5. Simulering av krock mot linräcke med reducerad höjd visar att när räckeshöjden blir låg så riskerar bilen att åka över linorna och därmed penetrera räcket. En observation är att när räcket, och därmed linorna, är placerade på lägre höjd så lägger de sig längre ned mot bilen vilket riskerar att orsaka en ökad roll-rotation hos bilen i krocken. Simuleringar visade att detta beteende (roll-rotation) accentuerades när bilen gavs en högre tyngdpunkt. Roll av bilen medför betydande risk att tappa kontrollen över bilen.

Två extra simuleringar utfördes med annan större fordonstyp, dvs. en SUV (Ford Explorer) och en familjebuss (Dodge Caravan) se kapitel 5.4.1. Räcket var uppsatt enligt referenskonfigurationen. I de simuleringarna så fångades Ford Explorer upp av linorna och styrdes tillbaka medans Dodge Caravan, i och för sig fångades upp av linorna och styrdes tillbaka, men med en sådan roll-rotation att fordonet kommer ut voltandes. Två faktorer som troligen har betydelse för utfallen i dessa krockar är troligen fordonets tyngdpunkt (högre tyngdpunkt kan antas öka risken för roll-rotation och därmed voltning) samt fordonsgeometri (hur linorna lägger sig och ”fäster” mot fordonet).

6. Simuleringar av krock mot linräcke där stolpar fattas efter en tidigare påkörning visar att, åtminstone i de fall där linorna hänger lågt över marknivån, bilen riskerar att åka över linorna och därmed penetrera räcket. Simuleringar där en så kallad ”galge” placerats mitt i den skadade sektionen för att hålla upp linorna visar att den kan ha en positiv inverkan och i bästa fall se till att linorna fångar upp och styr tillbaka fordonet (även om arbetsbredden/utböjningen blir avsevärt större jämfört med oskadat räcke). Det finns dock en gräns för när en skada blir så stor att en galge inte hjälper. En simulering visade att det kan hjälpa att sätta upp flera galgar så att sträckan med fritt hängande lina inte blir för stor. Man kan spekulera i hur pass gles man bör sätta galgarna men rimligtvis bör man inte sätta dem glesare än det att man får ett maximalt nedhäng på 10 cm baserat på den studie som gjordes på hängande linor, se avsnitt 5.2. Med den, fiktiva, galge som användes i simuleringarna så kastades galgen iväg på ett sådant sätt att den utgör en fara för mötande trafik, tex genom att den träffar vindrutan.

En extra simulering utfördes där endast 4 stolpar fattades sedan en tänkt tidigare påkörning. I den simuleringen körde bilen över linorna/räcket, se kapitel 5.5.1. Dessutom utfördes en extra simulering där träffpunkten flyttats fram (uppströms) till ett fack efter det skadade området. I den simuleringen så fångades bilen upp av linorna och styrdes tillbaka, se kapitel 5.5.2.

7. Utfallet av litteraturstudien var att det finns en del publicerats i ämnet som är relevant. Den i särklass mest omfattande och som vi

också bedömer ha hög trovärdig är NCHRP Report 711 [8], publicerad 2012, som anger följande målsättning: "The objective of this NCHRP project was to develop guidelines for the selection, use, and maintenance of cable barrier systems" [8]. Denna rapport behandlar i mångt och mycket samma saker som i projektet "När behöver ställinor bytas? Kontroll av ställinor till vajerräcken i driftskedet" fast för förhållandena i USA. Den är väl värd att läsa.

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] LS-DYNA Keyword User’s Manual, version 971, R7.1.2, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, 2015.
- [3] ANSA v16.1.0, BETA CAE Systems SA, Thessaloniki, 2015.
- [4] LS-PrePost v4.1, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, 2014.
- [5] Svensk Standard SS-EN 1317-2, Swedish Standards Institution (SIS), Stockholm, 1998.
- [6] European Standard EN 1317-1:2010, European Committee For Standardization (CEN), Brussels, 2010.
- [7] European Standard EN 1317-2:2010, European Committee For Standardization (CEN), Brussels, 2010.
- [8] D. Marzougui; U. Mahadevaiah et al, NCHRP Report 711, ”Guidance for the Selection, Use, and Maintenance of Cable Barrier Systems”, NCHRP, USA, 2012.
- [9] RDN 06-02 C /Amdt 1 – November 2015, Road Design Note “The use of Wire Rope Safety Barrier” (WRSB), VicRoads, Australia, 2015.
- [10] ”Instruktions- och säkerhetshandbok Brifen”, Utgåva 2015:01, ATA Traffic Safety Solutions, 2015.
- [11] A. Scott; K. Yatin et al, “Development of guidelines for cable median barrier systems in Texas”, Texas Transportation Institute, USA, 2009.
- [12] “Product and Install Manual: Brifen Wire Rope Barrier Safety Barrier TL-3 and TB-4”, CSP Pacific, New Zealand, 2012.
- [13] NCHRP Synthesis 493: Practices for High-Tension Cable Barriers”, USA, 2016.
- [14] D. Alberson; R. Bligh et al, “A review of cable/wire rope barrier design considerations”, USA, 2003.
- [15] J. Wenäll, “Konvexa vägräcken: Tre krockprov utförda 2003”, Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI), Linköping, 2006.

8 Record of updated revisions

Rev. no	Release date	Author	Comment
2	2016-11-24	Klas Engstrand	Fyra ytterligare simuleringsfall, se kapitel 5.2.1, 5.4.1, 5.5.1, 5.5.2 och 6.