

Väylävirasto
Trafikledsverket

Törmäyssiinuloinnit ja -kokeet törmäyseyseisiin

Väyläviraston julkaisu 80/2022

Olli Leino, DynaPredict Oy

Sisällysluettelo

Projektikuvaus

Kaksoispaalu- ja Betonilaatikkojärjestelyt

A1. Törmäyskoe, 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x GU21N ponttilankku, epäsymm. Törmäys

A2. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x GU21N, symmetrinen törmäys

A3. 10tn 48km/h, 2 x HEB

A4. 10tn 40km/h, 2 x HEB

A5. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x Suora Levy

A6. 10tn 48km/h 2 x HEB + 2 x GU21N + Ketju

A7. 10tn 48km/h 2 x HEB + 2 x Lyhyt GU21N + Ketju

B1/1-3. Törmäyskoe, 30tn 64km/h, 4 x HEB + 4 x GU21N

B2. 30tn 64km/h, Betonilaatikko + 4 x HEB

B3. 30tn 64km/h, Betonilaatikko + 4 x HEB + 4 x suora levy

B4. 30tn 56km/h, Betonilaatikko + 4 x HEB + 4 x suora levy

B5. 30tn 64km/h, Betonilaatikko Optio 2 + 4 x HEB + 4 x GU21N

B6. 30tn 64km/h, Betonilaatikko Optio 3 + 4 x HEB + 4 x GU21N

Johtopäätökset

Spesifikaatiot

Projektikuvaus

Projekti

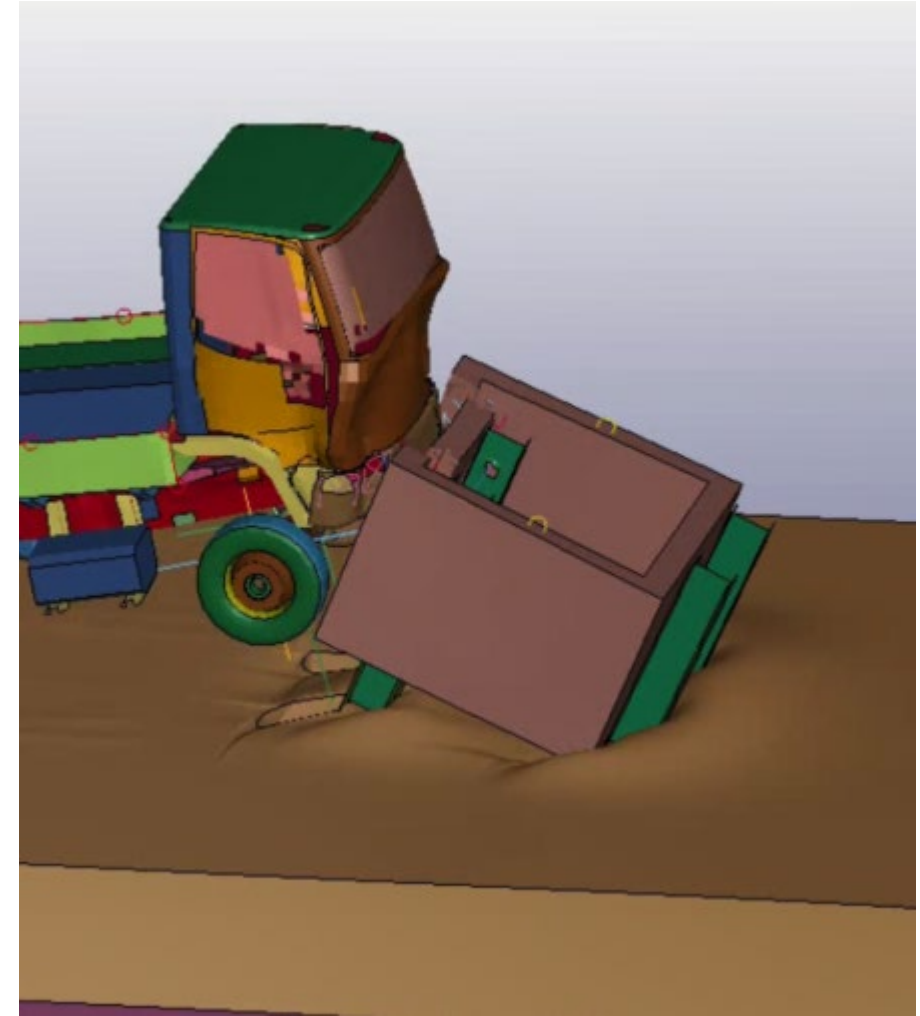
Tässä esityksessä ovat simulaatiotulokset liittyen kaksoispaalun sekä raskaan ajoneuvon pysäyttämiseen tarkoitetun törmäysesteen (=betonilaatikon+teräspaalut+kiinnikerakenne+lisäpainot) mitoitus ja FEM-laskenta LS-Dyna ohjelmistolla

Projektikuvaus

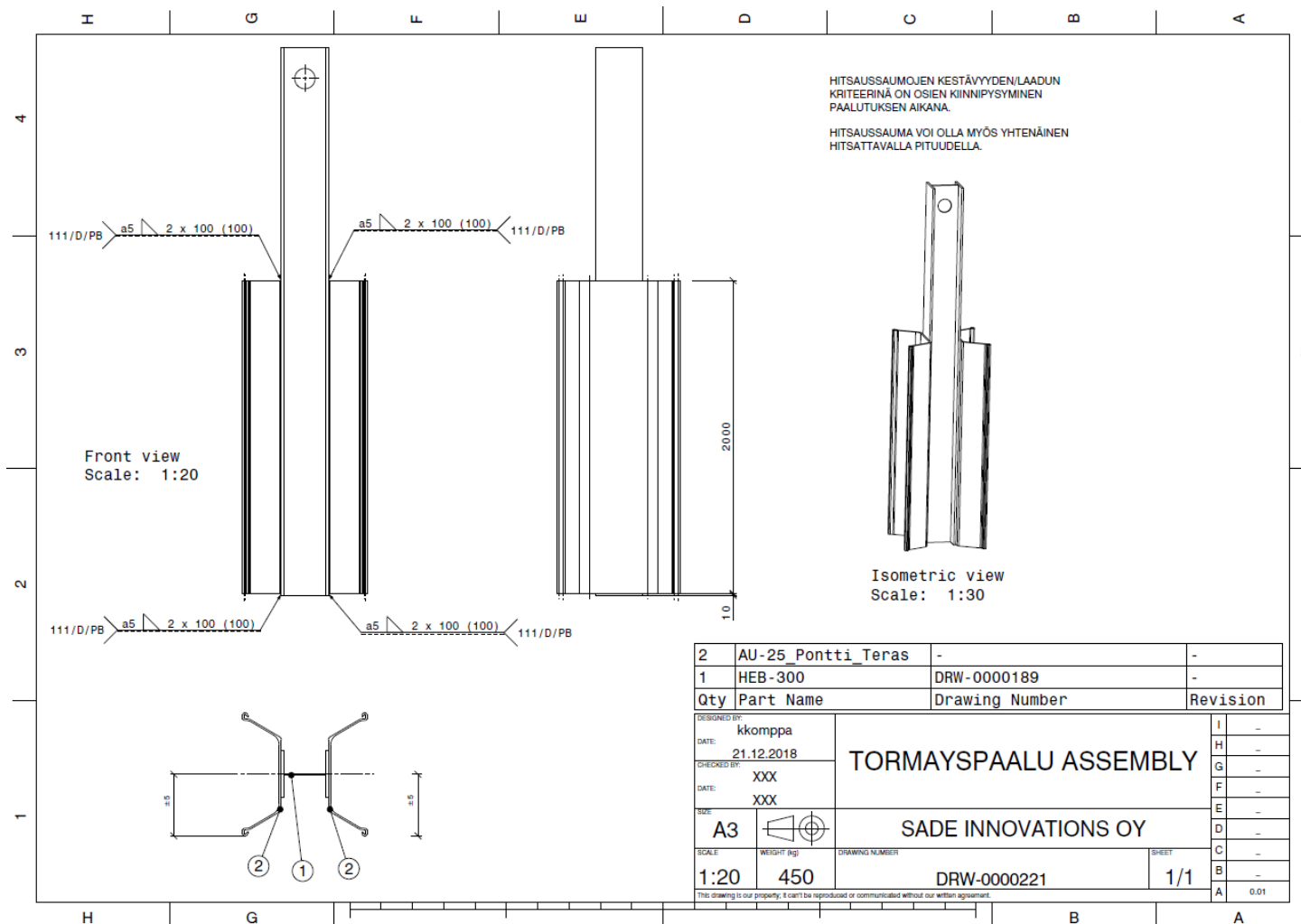
Nämä laskelmat on yksi osavaihe Liikenneviraston tutkimusta *Betonikaiteen ja törmäysesteen paaluankkurin kehittäminen*. Siinä kehitetään keinoja vähentää betonikaiteen liikkumista törmäyksissä ja keinoja pysäyttää raskas ajoneuvo paalulla ankkuroidulla rakenteella.

Menetelmä

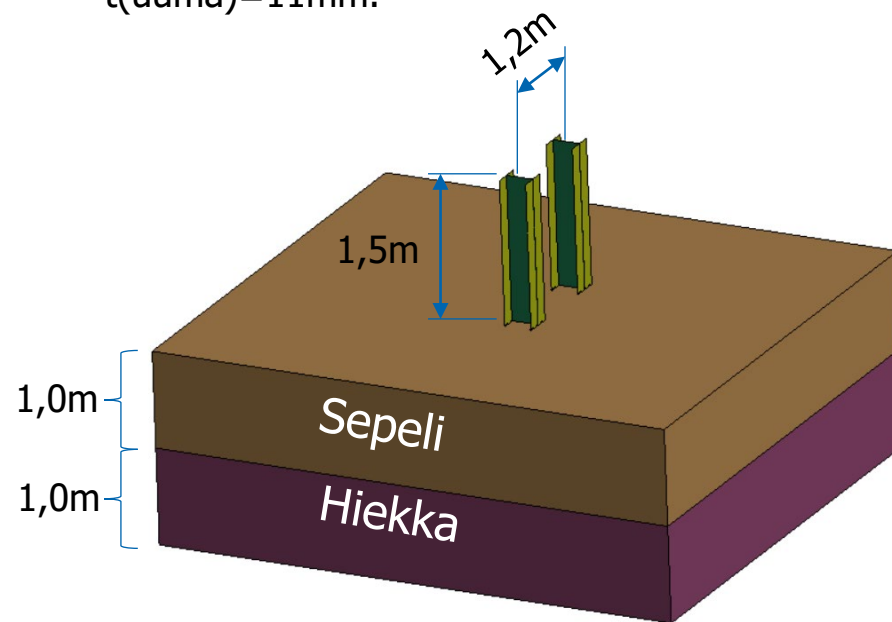
Törmäyskoesimuloinnit suoritettiin FEM-menetelmällä LS-Dyna ohjelmistoa käyttäen.



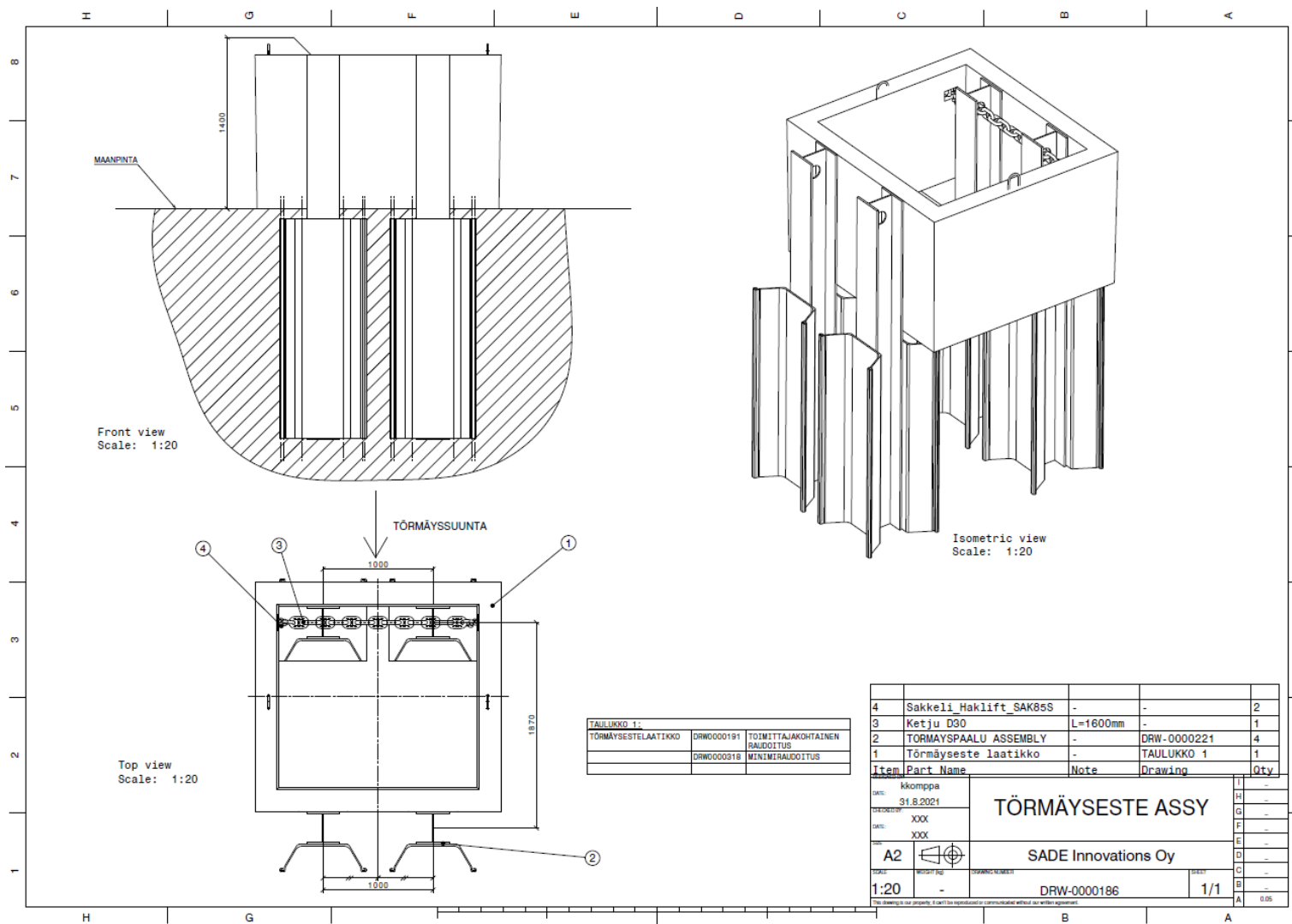
Kaksoispaalujärjestely



HEB-profiilit (2kpl):
300mm x 300mm
t(laippa)=19mm
t(uuma)=11mm.



Törmäysestejärjestely

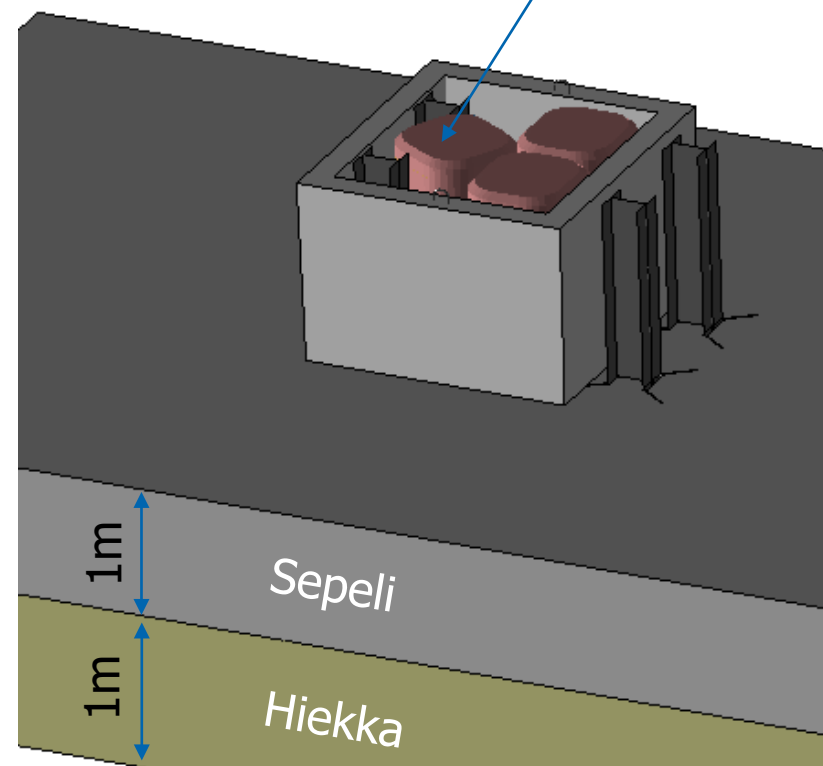


HEB-profiilit (4kpl):

300mm x 300mm
t(laippa)=19mm
t(uuma)=11mm.

Lisäpainot:

Hiekkasäkit
3kpl, 1000kg/kpl





TULOKSET: 10tn törmäyssimuloinnit

Yhteenveto 10tn Törmäyksistä

Parametri	Vertailu- taso A2	A3	A4	A5	A6	A7
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
HEB-paalun siirtymä, ylä	714mm 0%	985mm +38%	960mm +34%	952mm +33%	758mm +6%	742mm +4%
HEB-paalun siirtymä, maa	332mm 0%	455mm +37%	440mm +33%	448mm +35%	355mm +7%	342mm +3%

A2. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x GU21N

A3. 10tn 48km/h, 2 x HEB

A4. 10tn 40km/h, 2 x HEB

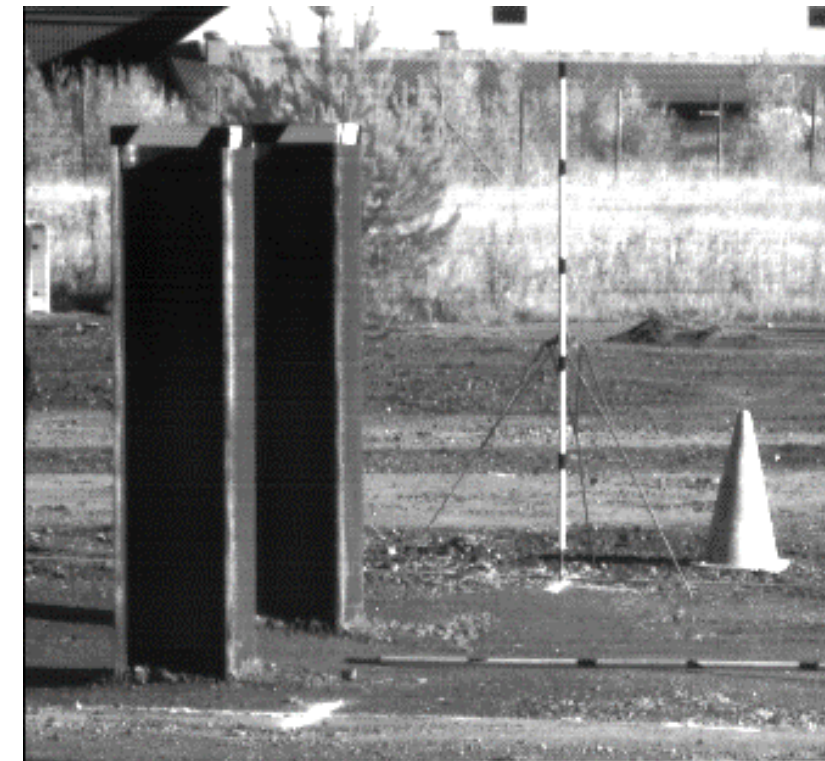
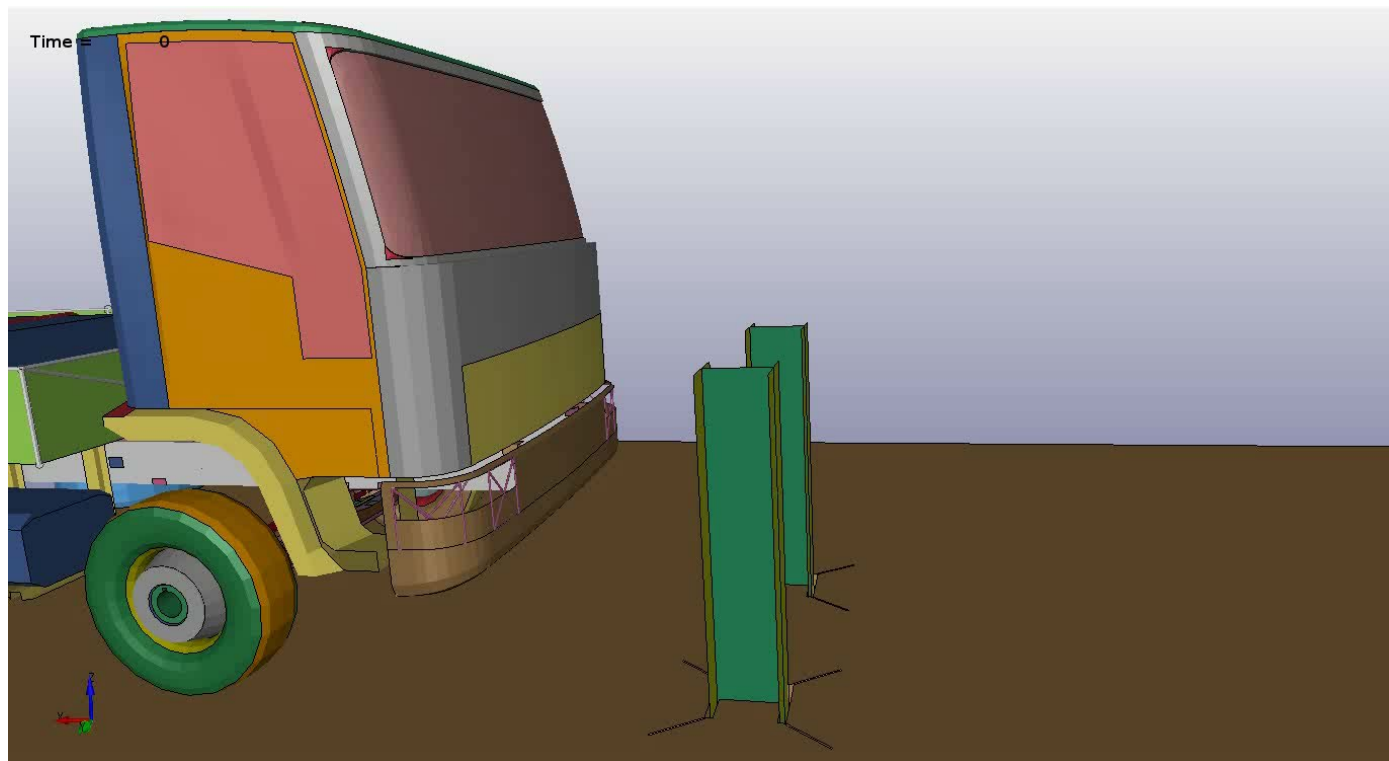
A5. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x Suora Levy

A6. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x GU21N + Ketju

A7. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x Lyhyt GU21N

A1. Simuloinnin validointi, 10tn 48km/h, 2xHEB + 2xGU21N ponttilankku, epäsymmetrinen törmäys testin mukaisesti

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnin validointi

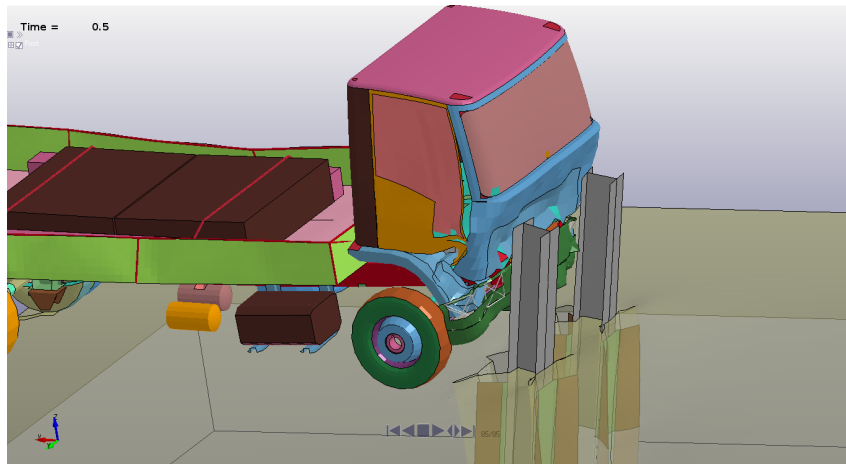
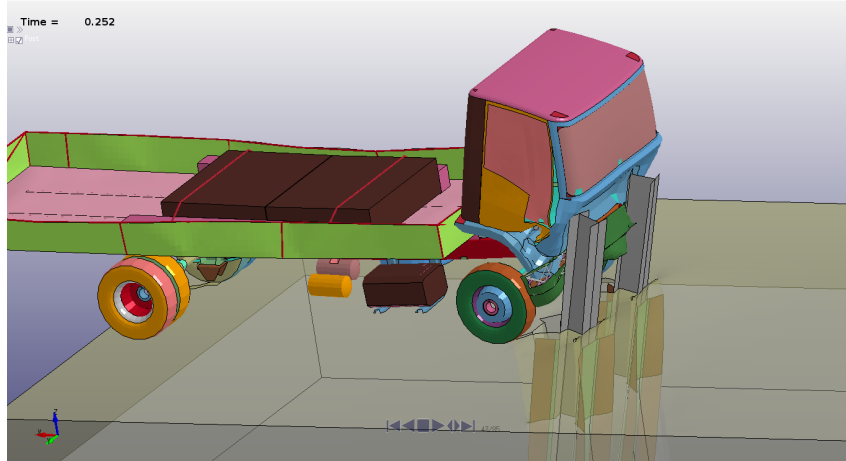


Taipuma vasen: 760mm/650mm (ylä); 357mm/310mm (maataso)
Taipuma oikea: 333mm/266mm (ylä); 150mm/124mm (maataso)

Taipuma vasen: 740mm/610mm; 330mm
Taipuma oikea: 290mm/230mm; 130mm

A2. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x GU21N

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla toistettiin testitilanteen mukainen tapaus symmetrisenä törmäyksenä ja tarkoituksena oli muodostaa perustaso vertailukohtaksi muille 10tn simuloinneille.

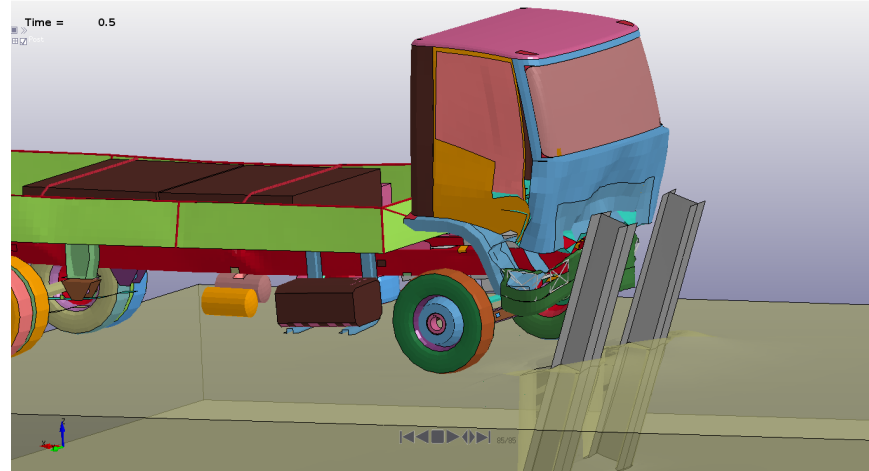
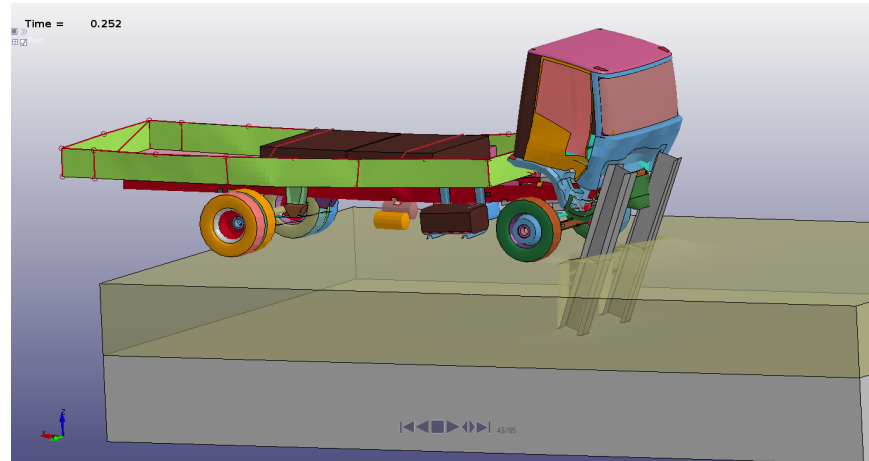


Parametri	Arvo	Vertailutaso*
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	NA
HEB-paalun siirtymä, ylä	714mm	NA
HEB-paalun siirtymä, maa	332mm	NA

Simuloinnin tulos: HEB-paalujen siirtymät ovat linjassa testitilanteen kanssa eli molemmissa paaluissa nyt sama siirtymä asettuen testitilanteen paalusiirtymien välimaastoon

A3. 10tn 48km/h, 2 x HEB

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin hitsattujen GU21N ponttilankkujen poisjättämisen vaikutus

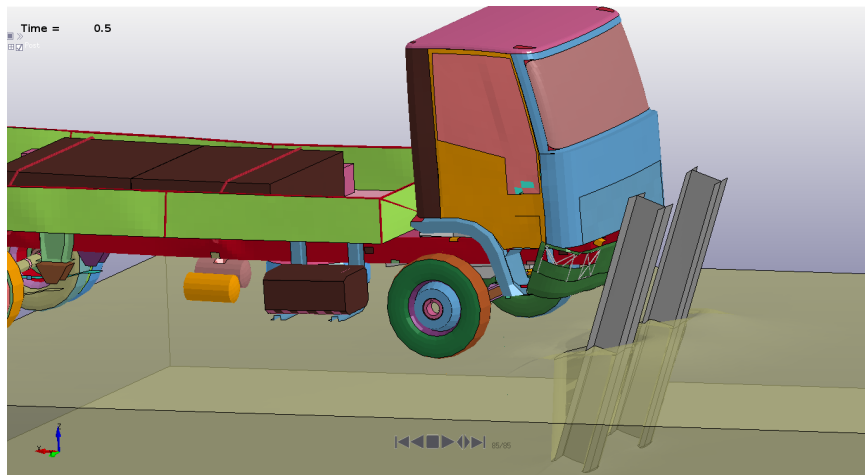
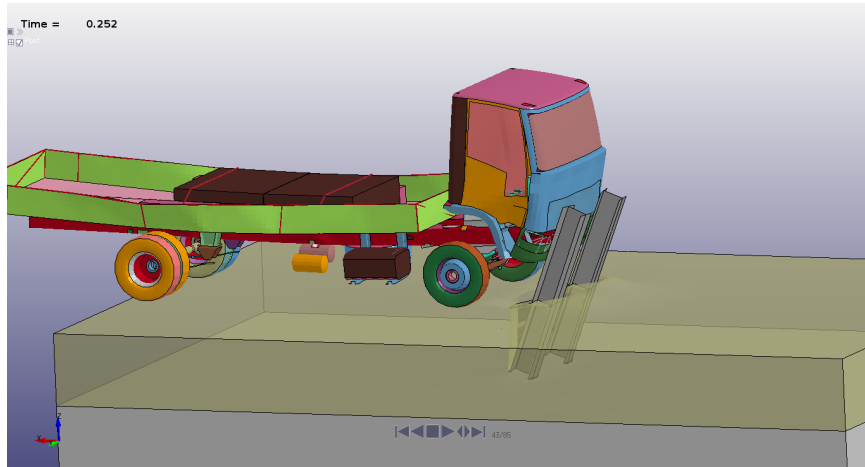


Parametri	Arvo	Vertailutaso A2	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä	985mm	714mm	+38%
HEB-paalun siirtymä, maa	455mm	332mm	+37%

Simuloinnin tulos: Hitsattujen GU21N ponttilankkujen poisjättäminen kasvattaa HEB-paalujen siirtymää selkeästi ja näin ollen alentaa törmäyssuojaa.

A4. 10tn 40km/h, 2 x HEB

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin nopeuden alentamisen vaikutus törmäyksessä kahteen HEB-paaluun.

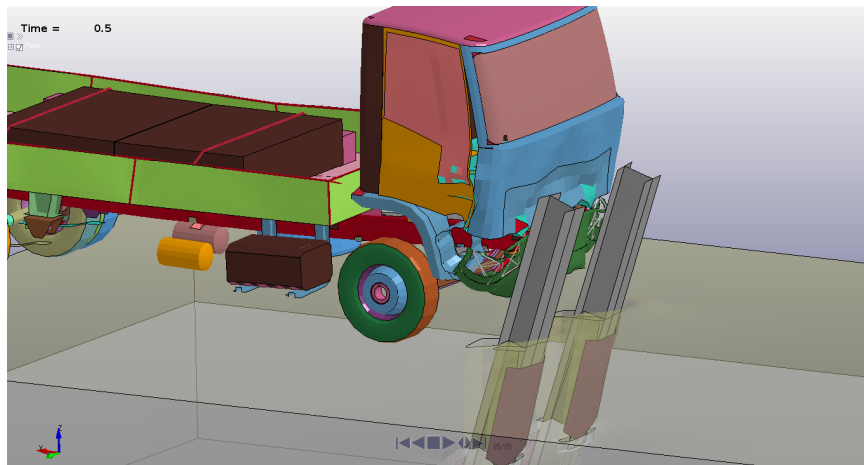
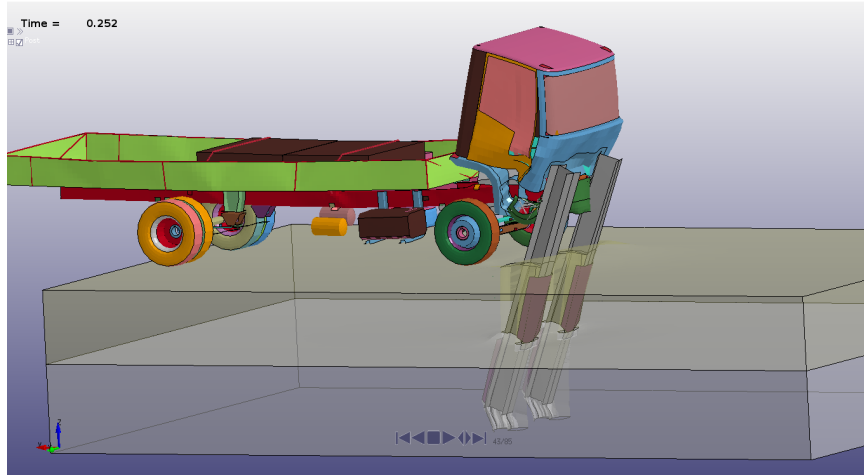


Parametri	Arvo	Vertailutaso A2	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä	960mm	714mm	+34%
HEB-paalun siirtymä, maa	440mm	332mm	+33%

Simuloinnin tulos: Nopeuden alentaminen vähentää siirtymiä vain lievästi, ero 48km/h tapaukseen vain olematon.

A5. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x Suora Levy

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin voidaanko GU21N ponttilankku korvata 8kpl 1000mm x 600mm x 12mm HEB-paaluihin kahdenpuolin hitsatulla suoralla levyllä.

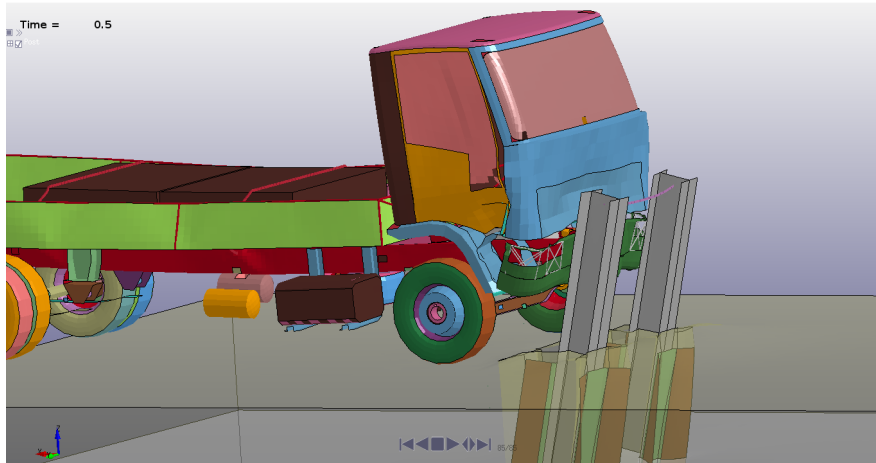
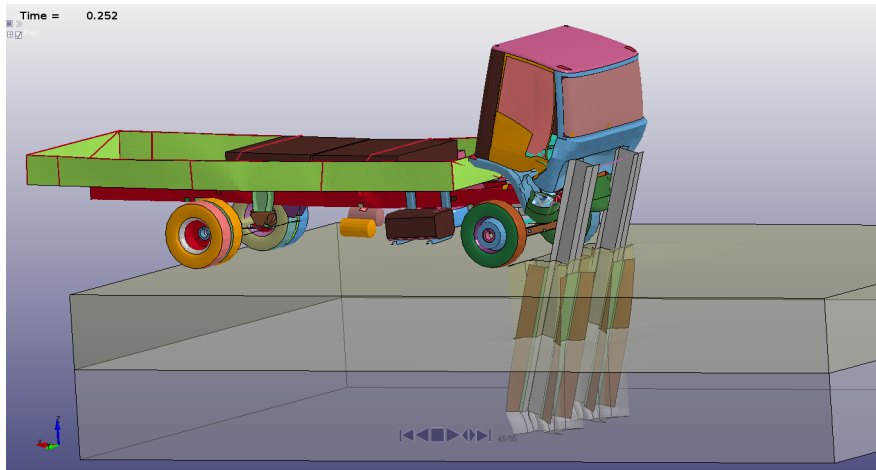


Parametri	Arvo	Vertailutaso A2	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä	952mm	714mm	+33%
HEB-paalun siirtymä, maa	448mm	332mm	+35%

Simuloinnin tulos: Hitsattujen GU21N ponttilankkujen korvaaminen kasvattaa HEB-paalujen siirtymää selkeästi ja näin ollen alentaa törmäyssuojaa. Siirtymät ovat itse asiassa lähellä tapausta, jossa hitsattuja lisälevyjä ei ole lainkaan (tapaus A3) ja näin ollen tässä tapauksessa GU21N ponttilankut eivät suoraan ole korvattavissa suorilla levyillä.

A6. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x GU21N + Ketju

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin perustapaukseen, HEB-paalujen väliin kiinnitetyn ketjun vaikutusta.

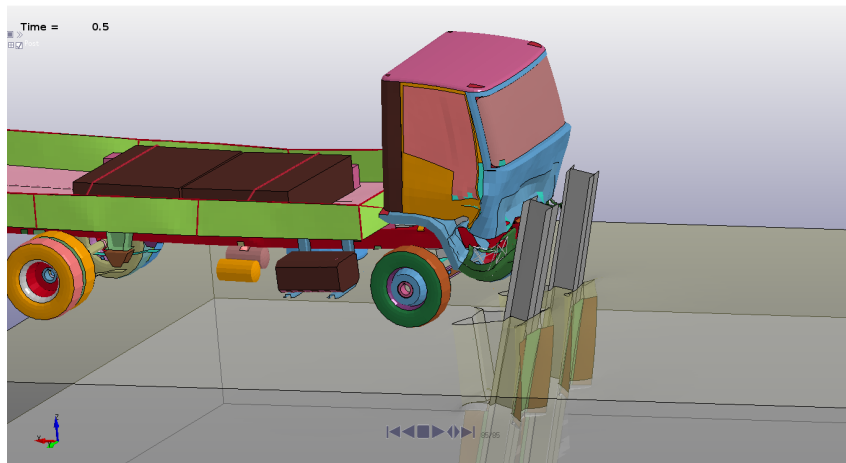
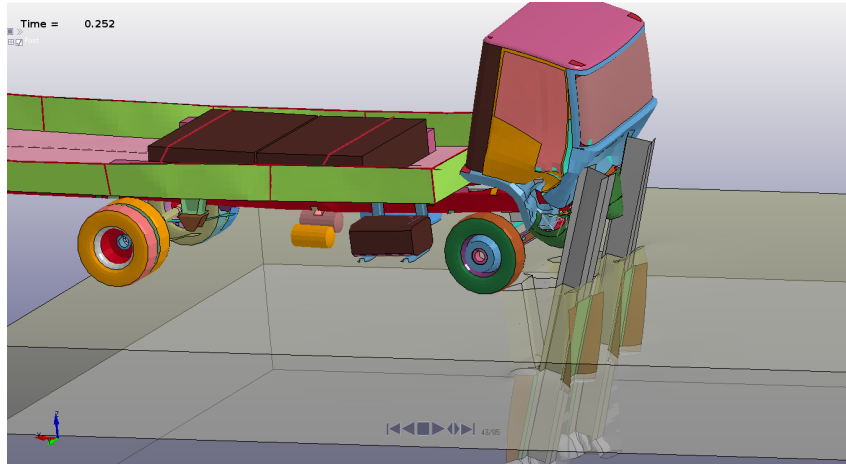


Parametri	Arvo	Vertailutaso A2	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä	758mm	714mm	+6%
HEB-paalun siirtymä, maa	355mm	332mm	+7%

Simuloinnin tulos: Ketjun lisääminen lievästi kasvattaa paalujen siirtymää. Tämä johtunee siitä, että HEB-paalujen välissä oleva ketju estää paalujen loitonemisen toisistaan pakottaen siirtymän ainoastaan eteenpäin. (Vertailutapauksessa A2 paalut erkanivat toisistaan)

A7. 10tn 48km/h, 2 x HEB + 2 x Lyhyt GU21N

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin GU21N ponttilankkujen lyhentämisen vaikutusta 2m -> 1m.



Parametri	Arvo	Vertailutaso A2	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä	742mm	714mm	+4%
HEB-paalun siirtymä, maa	342mm	332mm	+3%

Simuloinnin tulos: Ponttilankkujen lyhentäminen puoleen mitastaan huononsi tulosta hyvin vähän vertailutasoon nähden. Tässä tapauksessa lyhennetyt paalut olivat sijoitettu niin, että törmäyspuolella paalut olivat 1-2m syvyydessä ja vastapuolella 0m-1m syvyydessä.



TULOKSET: 30tn törmäyssimuloinnit

Yhteenveto 30tn törmäyksistä



Väylävirasto
Trafikledsverket

Parametri	Vertailu- taso B1	B2	B3	B4 (B3 on vertailutas o)	B5	B6
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
HEB-paalun siirtymä, ylä etu	1730mm 0%	2150m +24%	1920mm +11%	1600mm -20%	1820mm +5%	2120mm +22%
HEB-paalun siirtymä, ylä taka	1470mm 0%	1570mm +7%	1480mm +1%	1330mm -10%	1480mm +1%	1320mm -11%
HEB-paalun siirtymä, maa etu	1040mm 0%	1370mm +32%	1150mm +10%	948mm -18%	1100mm +5%	1250mm +20%
HEB-paalun siirtymä, maa taka	694mm 0%	735mm +6%	657mm -5%	609mm -7%	706mm +2%	640mm -7%

B1. 30tn 64km/h, 4 x HEB + 4 x GU21N + Lisäpainot

B2. 30tn 64km/h, Betonilaatikko + 4 x HEB + Lisäpainot

B3. 30tn 64km/h, Betonilaatikko + 4 x HEB + 8 x suora levy + Lisäpainot

B4. 30tn 56km/h, Betonilaatikko + 4 x HEB + 8 x suora levy + Lisäpainot

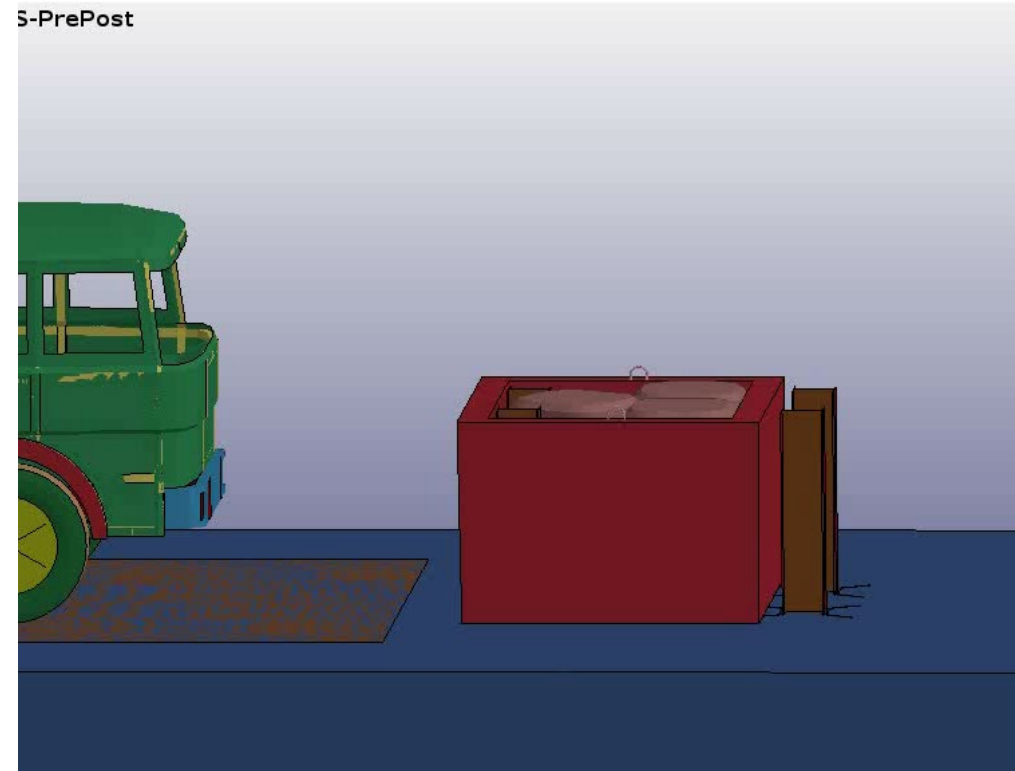
B5. 30tn 64km/h, Betonilaatikko Opt 2 + 4 x HEB + 4 x GU21N + Lisäpainot

B6. 30tn 64km/h, Betonilaatikko Opt 3 + 4 x HEB + 4 x GU21N + Lisäpainot

Taulukossa esitetyt siirtymäarvot ovat törmäyksen jälkeen esiintyviä arvoja

B1/1. Törmäyskoe, 30tn 64km/h Betonilaatikko + 4 x HEB + 4 x GU21N

Simuloinnin tarkoitus: Testitilanteen simulointi



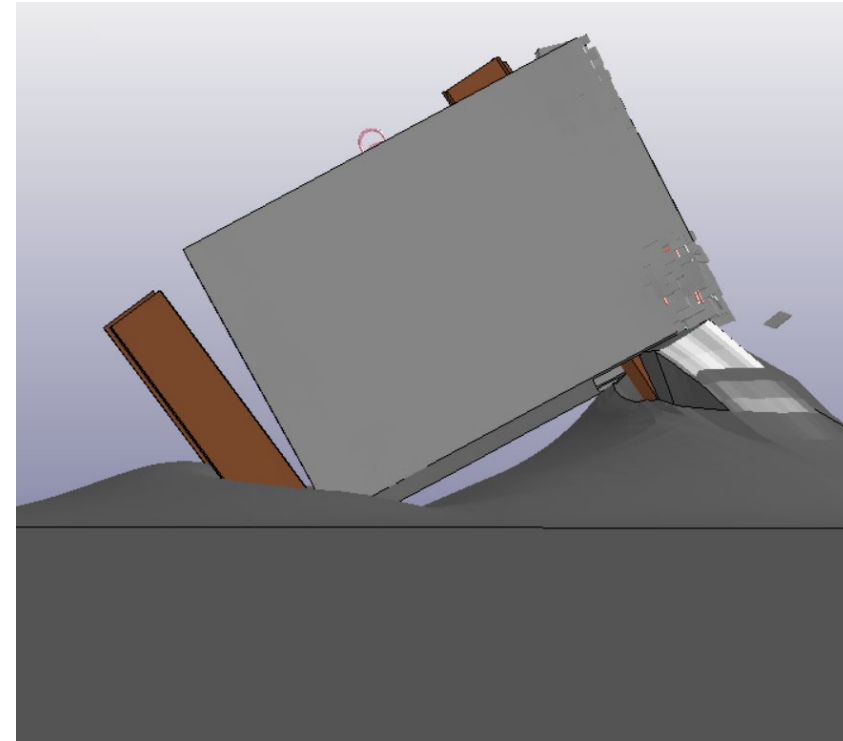
Video from the test provided by Kari Laakso

B1/2. Törmäyskoe, 30tn 64km/h Betonilaatikko + 4 x HEB + 4 x GU21N

Simuloinnin tarkoitus: Testitilanteen simulointi



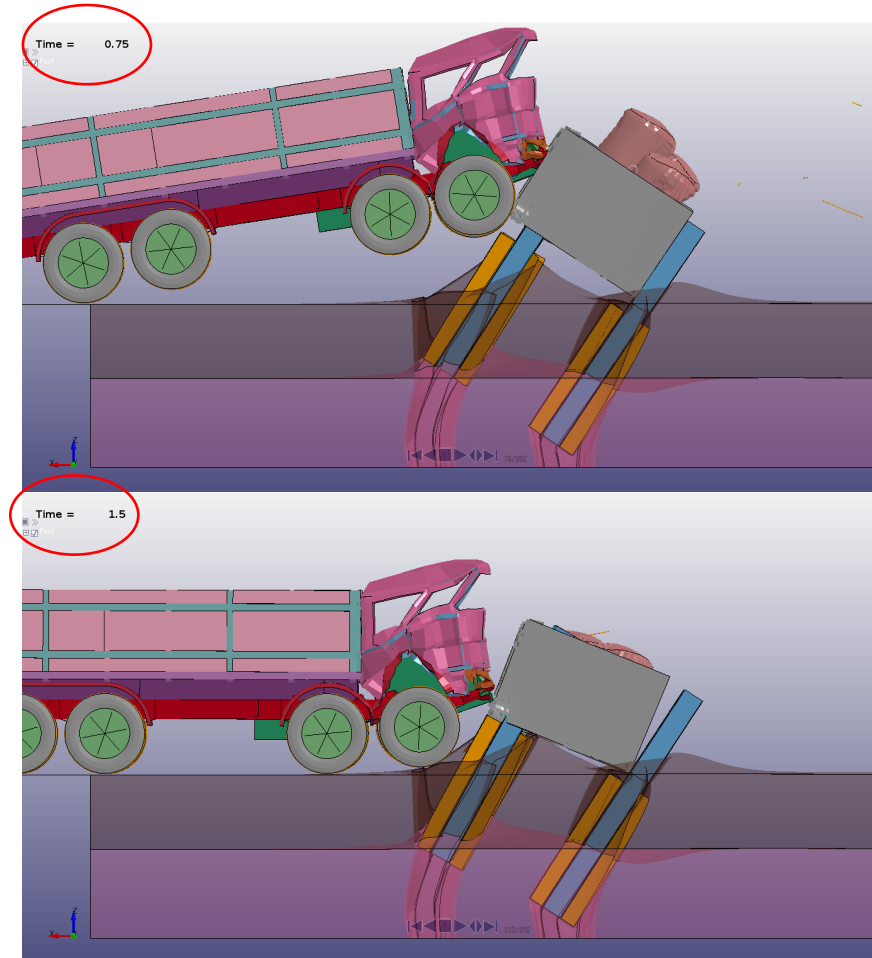
HEB-paalun siirtymä, maa taka: 600-700 mm
Valokuva fyysisestä testistä/Kari Laakso



HEB-paalun siirtymä, maa taka: 640-720 mm

B1/3. Törmäyskoe, 30tn 64km/h Betonilaatikko + 4 x HEB + 4 x GU21N + Lisäpainot

Simuloinnin tarkoitus: Testitilanteen simulointi

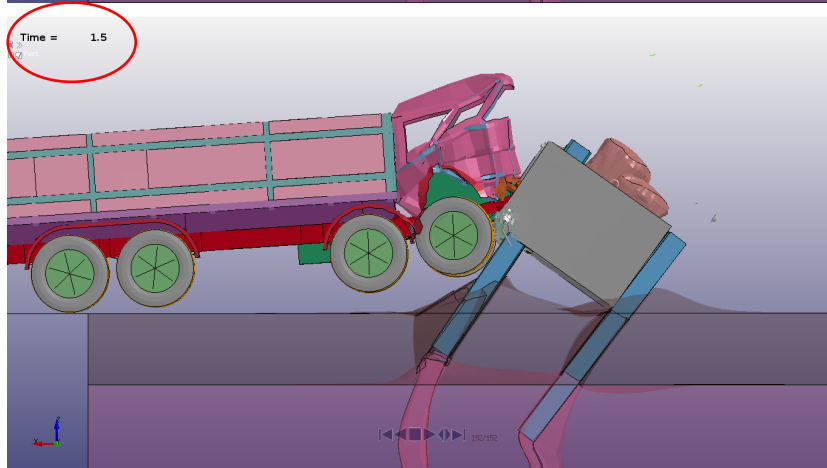
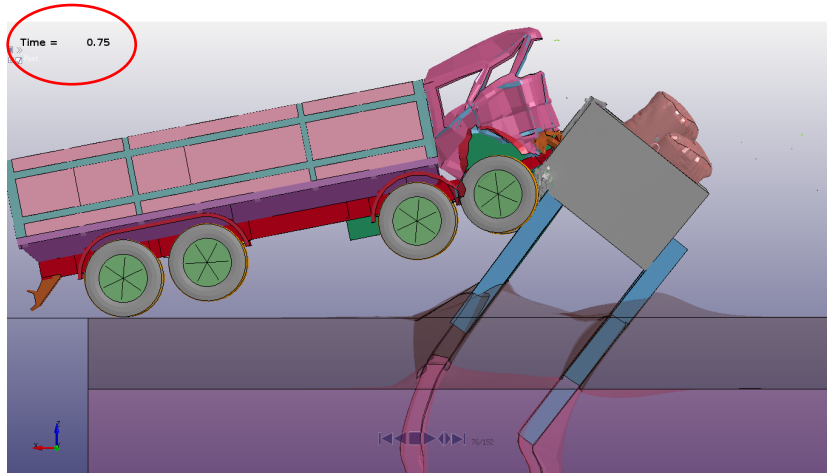


Parametri	Arvo	Vertailutaso*
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	NA
HEB-paalun siirtymä, ylä etu	2060mm (1730mm)	NA
HEB-paalun siirtymä, ylä taka	1600mm (1470mm)	NA
HEB-paalun siirtymä, maa etu	1230mm (1040mm)	NA
HEB-paalun siirtymä, maa taka	731mm (694mm)	NA

Ensimmäinen arvo on maksimiarvo, törmäyksen jälkeen suluissa.

B2. 30tn 64km/h, Betonilaatikko + 4 x HEB + Lisäpainot

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin hitsattujen GU21N ponttilankkujen poisjättämisen vaikutus

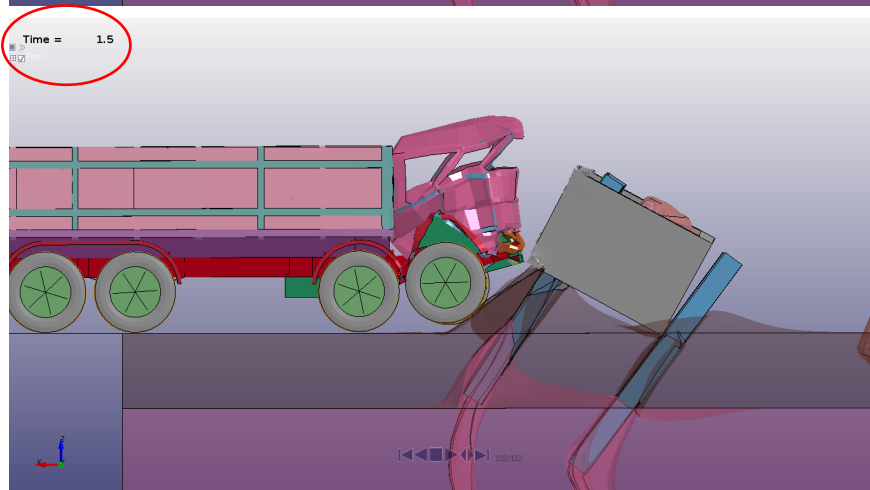
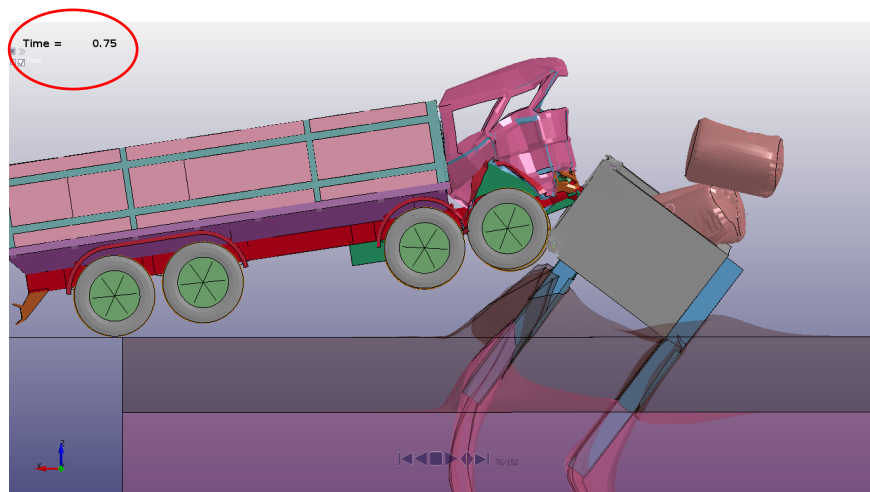


Parametri	Arvo	Vertailu- taso B1	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä etu	2630mm (2150mm)	2060mm (1730mm)	+28% +24%
HEB-paalun siirtymä, ylä taka	1680mm (1570mm)	1600mm (1470mm)	+5% +7%
HEB-paalun siirtymä, maa etu	1800mm (1370mm)	1230mm (1040mm)	+46% +32%
HEB-paalun siirtymä, maa taka	819mm (735mm)	731mm (694mm)	+12% +6%

Simuloinnin tulos: Hitsattujen GU21N ponttilankkujen poisjättäminen kasvattaa HEB-paalujen siirtymää selkeästi ja näin ollen alentaa törmäyssuojaa. Ajoneuvo ja betonilaatikko myös nousevat selvästi vertailutasoa korkeammalle.

B3. 30tn 64km/h Betonilaatikko + 4 x HEB + 8 x suora levy + Lisäpainot

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin voidaanko GU21N ponttilankku korvata 8kpl 1000mm x 600mm x 12mm HEB-paaluihin kahdenpuolin hitsatulla suoralla levyllä.

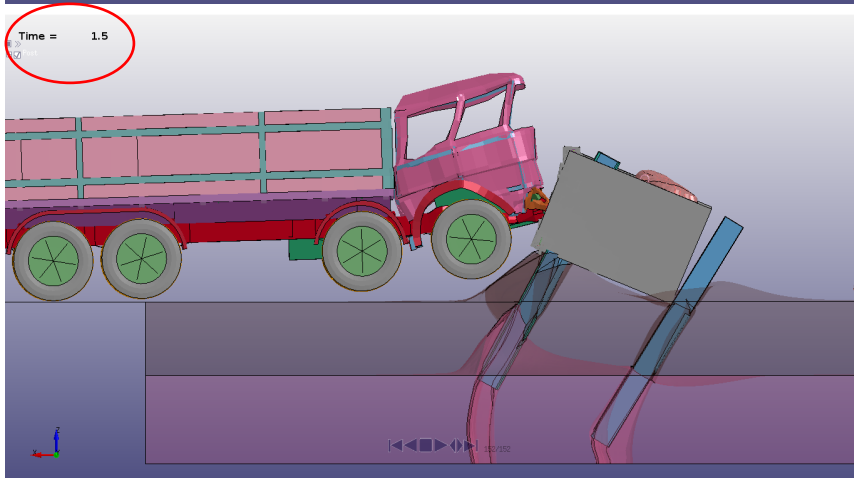
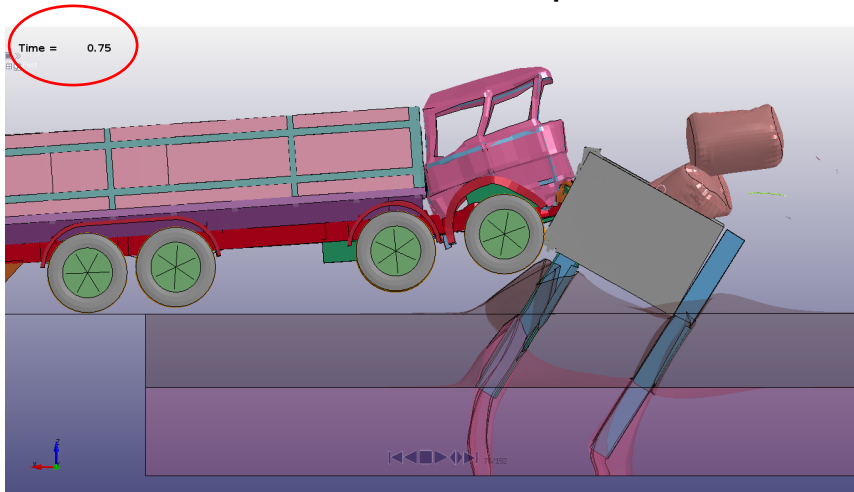


Parametri	Arvo	Vertailutaso B1	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä etu	2160mm (1920mm)	2060mm (1730mm)	+5% +11%
HEB-paalun siirtymä, ylä taka	1590mm (1480mm)	1600mm (1470mm)	-1% +1%
HEB-paalun siirtymä, maa etu	1310mm (1150mm)	1230mm (1040mm)	+7% +10%
HEB-paalun siirtymä, maa taka	727mm (657mm)	731mm (694mm)	-1% -5%

Simuloinnin tulos: Hitsattujen GU21N ponttilankkujen korvaaminen suorilla levyillä kasvattaa HEB-paalujen ja betonilaatikon siirtymää vain vähän eli tässä tapauksessa GU21N on korvattavissa suorilla levyillä

B4. 30tn 56km/h, Betonilaatikko + 4 x HEB + 8 x suora levy + Lisäpainot

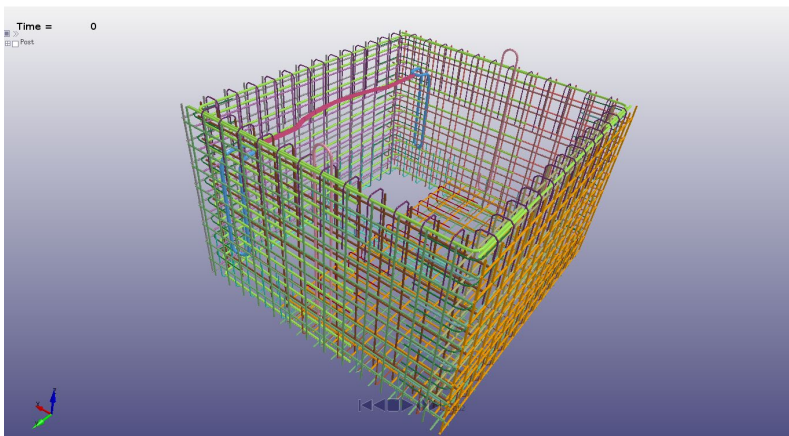
Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin nopeuden alentamisen vaikutus törmäyksessä betonilaatikkoon + 4 x HEB-paaluun + 8 x suoraan levyyn



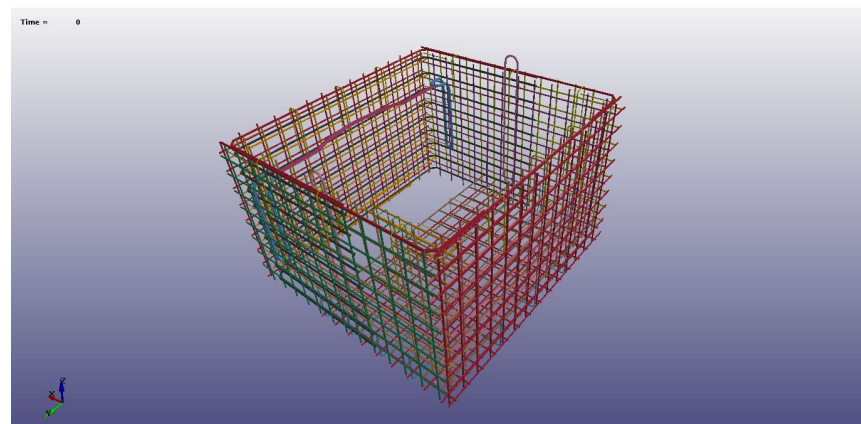
Parametri	Arvo	Vertailutaso B3	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä etu	1840mm (1600mm)	2160mm (1920mm)	-15% (-20%)
HEB-paalun siirtymä, ylä taka	1440mm (1330mm)	1590mm (1480mm)	-10% (-10)
HEB-paalun siirtymä, maa etu	1090mm (948mm)	1310mm (1150mm)	-17% (-18%)
HEB-paalun siirtymä, maa taka	674mm (609mm)	727mm (657mm)	-7% (-7%)

Simuloinnin tulos: Nopeuden alentamisen vaikutus näkyy betonilaatikon sekä HEB-paalujen siirtymissä 7-20% alemmina siirtymäarvoina

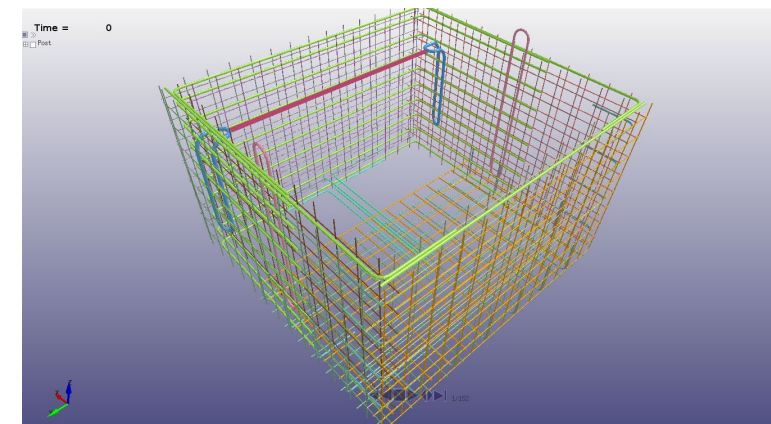
Betonilaatikon raudoitusvaihtoehdot



Optio 1 (referenssitaso = testeissä käytetty laatikko): vahvin laatikko



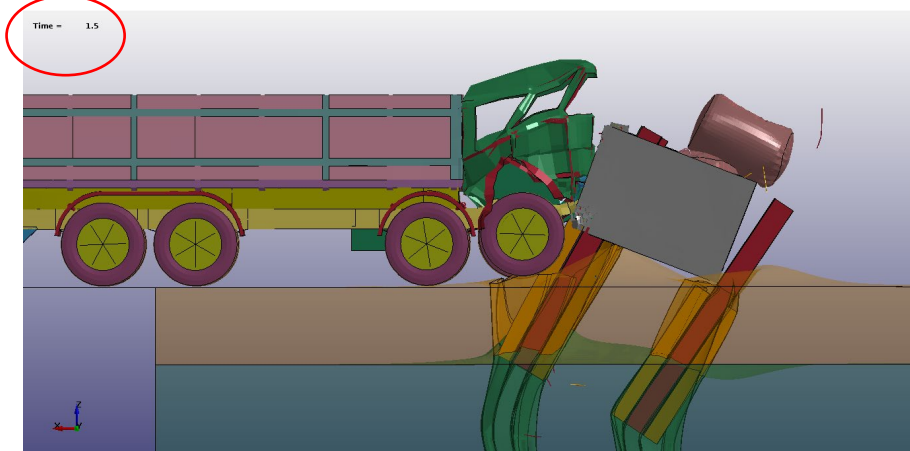
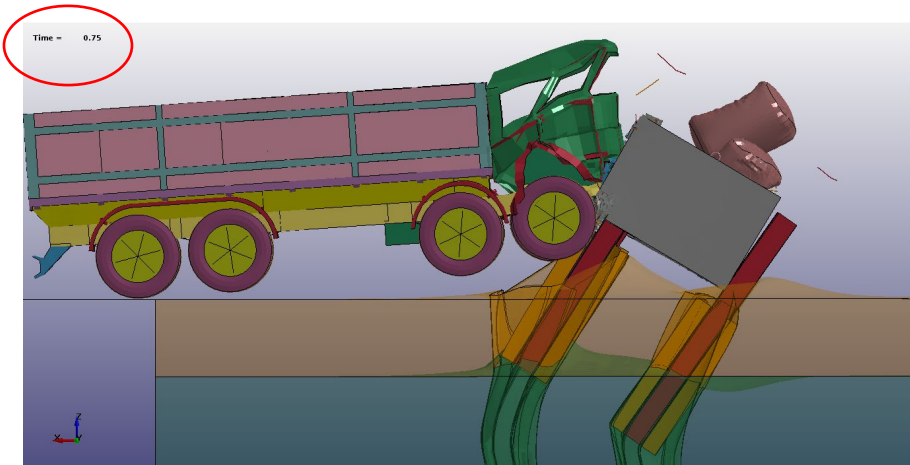
Optio 2: Betonilaatikko vähemmällä kulma- ja reunajäykisteillä



Optio 3: Betonilaatikko ilman kulma- ja reunajäykisteitä sekä 50% ohuemmilla vahvikkeilla

B5. 30tn 64km/h, Betonilaatikko Optio 2 + 4 x HEB + 4 x GU21N + Lisäpainot

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin betonilaatikon lievän heikennyksen vaikutusta törmäyssuojaukseen.

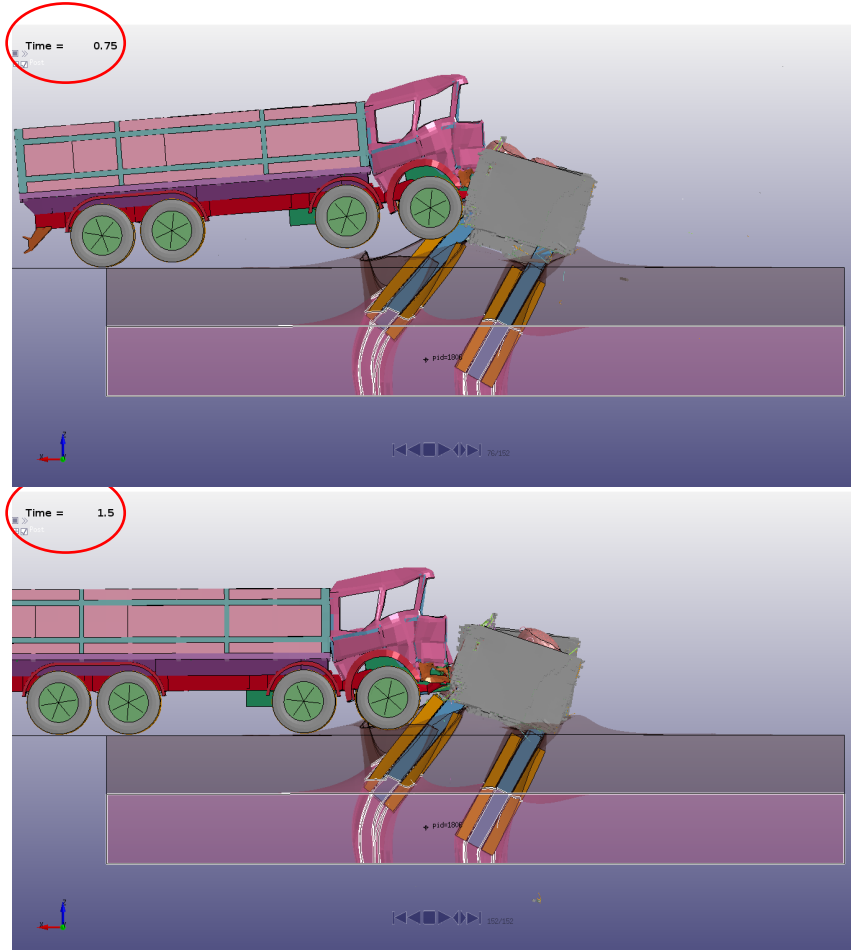


Parametri	Arvo	Vertailutaso B1	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä etu	2040mm (1820mm)	2060mm (1730mm)	-1% +5%
HEB-paalun siirtymä, ylä taka	1610mm (1480mm)	1600mm (1470mm)	+1% +1%
HEB-paalun siirtymä, maa etu	1220mm (1100mm)	1230mm (1040mm)	-1% +5%
HEB-paalun siirtymä, maa taka	717mm (706mm)	731mm (694mm)	-2% +2%

Simuloinnin tulos: Raudoituksen lievä keventäminen ei heijastu tuloksiin juuri ollenkaan ja näin ollen voidaan simulointien mukaan toteuttaa.

B6. 30tn 64km/h, Betonilaatikko Optio 3 + 4 x HEB + 4 x GU21N + Lisäpainot

Simuloinnin tarkoitus: Simuloinnilla tutkittiin betonilaatikon ison heikennyksen vaikutusta törmäyssuojaukseen.



Parametri	Arvo	Vertailutaso B1	Ero
Ajoneuvo pysähtyy	Kyllä	Kyllä	0
HEB-paalun siirtymä, ylä etu	2360mm (2120mm)	2060mm (1730mm)	+15% +22%
HEB-paalun siirtymä, ylä taka	1410mm (1320mm)	1600mm (1470mm)	-12% -11%
HEB-paalun siirtymä, maa etu	1370mm (1250mm)	1230mm (1040mm)	+11% +20%
HEB-paalun siirtymä, maa taka	653mm (640mm)	731mm (694mm)	-11% -8%

Simuloinnin tulos: Raudituksen voimakas keventäminen ei kovin suuresti heijastu betonilaatikon ja HEB-paalujen siirtymiin, mutta käyttäytyminen on muuttunut betonilaatikon hajoamisen myötä. Riskinä suuret betonin irtokappaleet => ei suositeltava.

Johtopäätökset

- Simuloinnein voidaan riittävällä tarkkuudella ennustaa maahan lyötyjen paalujen käyttäytyminen ajoneuvon dynaamisessa törmäystilanteessa. Tämä todennettiin kahdessa eri törmäystilanteessa 10tn ja 30tn ajoneuvoilla kahteen erilaiseen paalujärjestelyyn.
- 2kpl 2 metrin syvyydessä olevaan 300mm x 300mm HEB-paalua, joihin hitsattu GU21N lisäpaalut, selkeästi pysäyttävät 10tn ajoneuvon 48km/h nopeudesta.
- 30tn ajoneuvolle suunniteltu törmäyseste = betonilaatikko + 4 x HEB + 4 x GU21N + 3 hiekkäsäkkiä pysäyttää selkeästi 30tn ajoneuvon 64km/h nopeudesta.
- Paalulevikkeiden poisjätö huonontaa törmäyssuojaa melko selkeästi sekä kaksipaaluratkaisun että törmäysesteen tapauksessa, mutta simulointien mukaan edelleen riittää pysäyttämään sekä 10tn, että 30tn ajoneuvot testijärjestelyjen mukaisissa tilanteissa.
- GU21N paalujen korvaaminen suorilla levyillä huononsi tilannetta selkeästi kaksipaaluratkaisun tapauksessa, jopa lähelle kokonaan ilman lisäpaaluja-tilannetta, kun taasen törmäysesteen tapauksessa tilanne ei juurikaan huonontunut.
- Täysmittaisten GU21N paalujen korvaaminen puolet lyhyemmillä (1m) paaluilla ei juurikaan huonontanut törmäyssuojaa kaksipaaluratkaisussa. Törmäystä törmäysesteeseen ei tällä järjestelyllä simuloitu.
- Simulointien mukaan törmäysesteen betonilaatikkoa voidaan raudoituksen osalta keventää suorituskyvyn liikaa kärsimättä, mutta koska simulaatioissa käytetty maksiminopeus on vain 64km/h, kevennystä ei kuitenkaan suositella.

Spesifikaatiot

- Törmäyspaalun ja betonisen törmäysestelaatikon spesifikaatiot ([.zip](#))
- Spesifikaatioista löytyvät sekä törmäysestestissä käytetty laatikko että kevennetty laatikko (Optio 2 sivu 18).
- Kuvaus tiedostojen sisällöstä:
 - "HEB-300 pole_DRW-0000189_001"
simuloinnissa ja törmäyskokeessa käytetyn HEB-300 paalun rungon mitat.
 - "tormayspaalu_assembly_DRW-0000221_v001_211218"
Dia 4. Mittapiirustus: HEB-300 runkoon on hitsattu ponttilankut.
 - "tormayseste_laatikko_DRW-0000191_v003_211218"
Dia 23 Optio 1. Mitta- ja raudoituskuva betonilaatikosta. Pääasiallinen raudoite on teräsverkko 12/12-150/150, joita on kaksi kappaletta kuution jokaisella sivulla. Kaikissa reunoissa ja kulmissa on lisäraudotteet.
 - "Tormayseste_laatikko_reduced_DRW-0000318_v001_310821"
Dia 23 optio 2. Mitta- ja raudoituskuva betonilaatikosta, jossa on ensimmäistä versioita vähemmän raudoitusta. Joitakin reunavahvistuksia on jätetty pois.
 - "Tormayseste Assy_DRW-0000186_v005_310821"
Dia 5. Periaatepiirros betonilaatikon ja törmäyspaalun yhdistämisestä.

Simulaatioissa käytetyt ajoneuvomallit, 10tn ja 30tn

Parametri	10tn	30tn
Total height (mm)	2802	2682
Total width (mm)	2486	2500
Total Length (mm)	8320	8400
Width of the chassis (mm)	834	1080
Height from ground to bumper (mm)	489	642
Height from ground to chassis (mm)	751	637

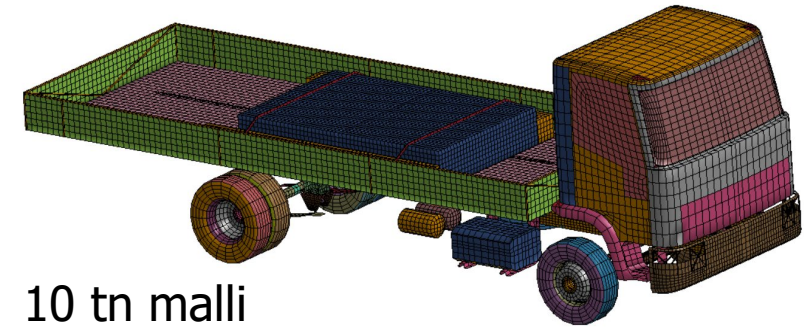
Referenssit simulaatiomalleihin

10tn malli

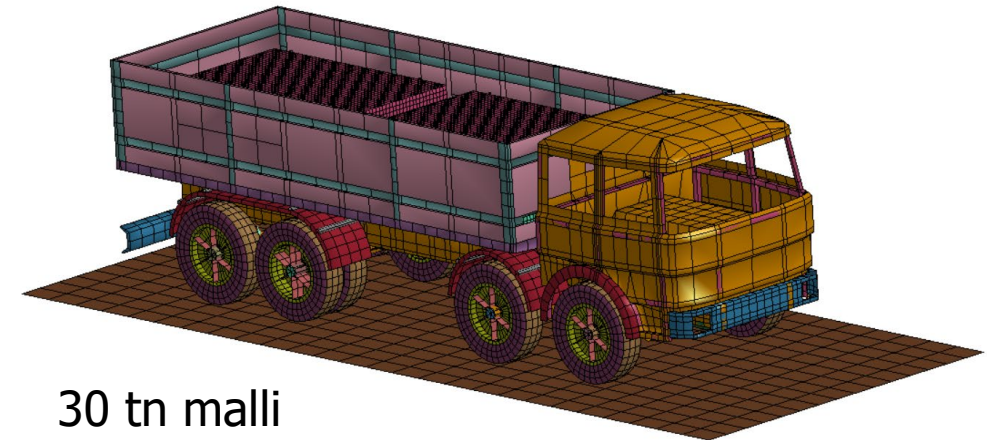
Prof. Atahan, Personal communication, May 2018

30tn malli

Atahan, A.O., Bonin, G. and Karacasu, M. (2007) 'Development of a 30,000 kg heavy goods vehicle for LS-DYNA applications', *Int. J. Heavy Vehicle Systems*, Vol. 14, No. 1, pp.1–19.



10 tn malli



30 tn malli



Verkkójulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-405-031-9



OLLI LEINO
DYNAPREDICT OY

olli.leino@dynapredict.com

Puh. 050-4821355

www.dynapredict.com