

Virtuell Stabilitetsprovning

Camilla Carlsson

EXAMENSARBETE

Virtuell Stabilitetsprovning

Camilla Carlsson

Sammanfattning

Det här examensarbetet har utförts på Atlet AB i Mölnlycke under början av 2005. Atlet AB är ett familjeägt företag som utvecklar och tillverkar el-truckar för lageranvändning.

Truckar måste uppfylla stabilitetskrav enligt prov som specificeras i ISO-standrad 3184. Proven kräver mycket tid och resurser vilka skulle sparas om stabiliteten istället kunde beräknas med hjälp av en matematisk modell. Ett steg i riktning mot det målet är att genomföra virtuella stabilitetsprov med hjälp av ett mekaniksimuleringsprogram. I detta arbete undersöks möjligheten att utföra provningen med hjälp av programvaran MSC.ADAMS från MSC.Software. MSC.ADAMS är ett mycket kompetent verktyg för framtagning och genomförande av virtuella simuleringar inom många mekaniska områden.

För att avgränsa arbetet har endast truckar av modell UNS TERGO 140 160 simulerats enligt två av proven i ISO 3184 (prov 1 och prov3). Då det ej fanns kompletta CAD-modeller av trucktypen modellerades en förenklad truck i ADAMS. Truckens stativ utformades genom att extrudera förenklade profiler med ett tvärsnitt som liknar det verkliga stativet. Stativet gjordes även i en flexibel version och simuleringar med både stelt och flexibelt stativ genomfördes.

De förenklade, virtuella prov som genomförts i detta arbete visar att simuleringar är en möjlig metod för stabilitetsprov av prov 1 och 3. Resultatkurvor från simuleringar och verkliga prov visar på liknande samband i fråga om stabiliteten. För att kunna genomföra noggrannare virtuella simuleringar krävs dock att ett fullständigt CAD-underlag tas fram och att stativets utböjning granskas.

Utgivare:	Högskolan Trollhättan/Uddevalla, Institutionen för teknik, matematik och datavetenskap, Box 957, 461 29 Trollhättan Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99 Web: www.htu.se		
Examinator:	Niklas Järvstråt		
Handledare:	Sten Lindström, Atlet AB Tomas Beno, HTU		
Huvudämne:	Maskinteknik	Språk:	Svenska
Nivå:	Fördjupningsnivå 1	Poäng:	10
Rapportnr:	2005:M28	Datum:	2005-05-23
Nyckelord:	Stabilitetsprovning, MSC.ADAMS, Simulering, Stabilitet, Provning		

DEGREE PROJECT

Virtual Stability testing

Camilla Carlsson

Summary

This bachelor thesis was conducted in the beginning of year 2005 at Atlet AB in Mölnlycke, Sweden. Atlet AB is a family owned company that develops and manufactures electric power-driven forklift trucks for storage applications.

Forklift trucks must fulfil stability standards according to ISO 1384. The tests are time-consuming and requires much recourses, these would be saved if the results could be acquired by using a mathematical model. One step closer to that goal is to make virtual stability testing using a mechanical simulation program. What has been evaluated in this project is the ability to simulate the tests using the simulation program MSC.ADAMS developed by MSC.Software. MSC.ADAMS is a very competent tool for preparing and performing virtual simulations of many different types of mechanical problems.

To limit the project only forklift trucks of model UNS TERGO 140 160 and test no 1 and 3 will be simulated. Since no full-scale CAD-models of the truck existed was a simple model created in ADAMS. The mast was extruded using a simplified cross section of the actual one. A flexible version of the mast was made and simulations with both versions were conducted.

The simplified virtual tests made in this project shows that simulation is a possible method for stability testing of test 1 and test 3 (ISO 3184). A plot of the results from simulations and real tests gives similar relation regarding the stability. To be able to perform more accurate virtual simulations complete CAD models and an investigation of the mast bending is accuired.

Publisher:	University of Trollhättan/Uddevalla, Department of Technology, Mathematics and Computer Science, Box 957, S-461 29 Trollhättan, SWEDEN Phone: + 46 520 47 50 00 Fax: + 46 520 47 50 99 Web: www.htu.se		
Examiner:	Niklas Järvstråt		
Advisor:	Sten Lindström, Atlet AB Tomas Beno, HTU		
Subject:	Mechanical Engineering	Language:	Swedish
Level:	Advanced	Credits:	10 Swedish, 15 ECTS credits
Number:	2005:M28	Date:	May 23, 2005
Keywords	Stability testing, MSC.ADAMS, Simulation, Stability, Testing		

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Summary	ii
1 Inledning	1
1.1 Företagspresentation.....	1
1.2 Bakgrund till arbetet.....	2
1.3 Syfte och mål.....	2
1.4 ISO-standard 3184.....	3
1.5 Avgränsningar	4
1.6 Stabilitetsprovning på Atlet	5
2 Mekaniksimuleringsprogrammet MSC.ADAMS	6
2.1 Allmänt om ADAMS.....	6
2.2 Att modellera i ADAMS	7
2.3 Att genomföra simuleringar med ADAMS.....	7
2.4 Vad kan gå fel vid användning av ADAMS?	8
3 Uppbyggnad av simuleringsmodeller	9
4 Beskrivning av simuleringar	12
4.1 Prov 1.....	13
4.2 Prov 3.....	13
5 Resultat	14
5.1 Från tidigare stabilitetsprov.....	14
5.2 Från simuleringar.....	14
5.2.1 Resultat beroende på val av steglängd	14
5.2.2 Prov 1.....	15
5.2.3 Prov 3.....	18
6 Analys av resultat.....	20
6.1 Analys av resultat från simulering av prov 1.....	21
6.2 Analys av resultat från simulering av prov 3.....	22
7 Slutsatser.....	23
8 Diskussion och fortsatt arbete.....	23
8.1 Simuleringsmodellerna.....	23
8.2 Val av mekaniksimuleringsprogram.....	24
8.3 Rekommendationer till fortsatt arbete	25
Källförteckning.....	26

Bilagor

- A Beräkning av trucktyngdpunkt med olika batteripaket
- B Resultat från tidigare, verkliga stabilitetsprov
- C Simuleringsresultat från prov 1
- D Simuleringsresultat från prov 3
- E Simuleringsmodeller och resultat från dessa

1 Inledning

För att få avlägga ingenjörsexamen om 120 poäng krävs ett utfört examensarbete på 10 poäng inom relevant ämnesinriktning. Arbetet skall visa på studentens förmåga att lösa problem med hjälp av kunskaper som studietiden givit [1]. Denna rapport redogör för ett tioveckors examensarbete som utförts på Atlet AB i Mölnlycke under första delen av år 2005.

1.1 Företagspresentation

Atlet AB grundades av Knut Jacobsson 1958 i en tvårumslägenhet i centrala Göteborg. Första året levererades en serie om tre handstaplare. Allt eftersom företaget expanderade sin utveckling och försäljning flyttades verksamheten till allt större lokaler och sedan 1972 finns Atlets huvudkontor och tillverkning i Mölnlycke. Familjen Jacobsson är ensam ägare av koncernen Atlet AB som har dotterbolag i åtta länder världen över.

Atlet utvecklar el-truckar för lageranvändning som de själva tillverkar, marknadsför och säljer. Innovationer som miniratten, smalgångsstaplare och teleskoperande gafflar är deras egna. Företaget innehar också generalagenturen för Caterpillar motviktstruckar i Sverige, Norge och Nederländerna, samt Mitsubishi motviktstruckar i Danmark.

Att ”förbättra lönsamheten i kundens interna materialhantering genom att erbjuda användarvänliga och ergonomiska produkter inklusive eftermarknadsstöd och tillhörande tjänster” är Atlets affärsidé. [2]

Atlet marknadsför sitt produktsortiment som ett ”komplett program för intern materialhantering” [3]. I sortimentet finns sex olika chassier som utvecklas till hundratals truckvarianter utifrån vilka modulsystem som väljs till. Modulsystemet gör det möjligt att tillgodose kundens specifika krav på ett sätt som kräver minimal omkonstruktion men ändå säkrar kvaliteten. De trucksorter som tillverkas fyller bland annat funktioner inom lastning och lossning av transporter, djupstapling, plockning samt stapling.

Företaget omsätter ca 1500 msek årligen och har drygt 1000 anställda. [2]

1.2 Bakgrund till arbetet

Atlets behov att minska antalet fysiska prov under produktutvecklingen ökar i samma takt som allt fler kunder beställer truckar utformade efter just deras behov. Kundens val av de ingående delarna påverkar bland annat hur mycket last och hur högt trucken kan lyfta den utan att välta. Varje truck utrustas därför med en maskinskyld där tillåtna värden och egenskaper är angivna för den truck som skylten sitter i. För att ta fram skylten krävs indata om lyftkapacitet vilket dels fås genom stabilitetstester enligt ISO standard 3184, se kapitel 1.4.

En matematisk beräkningsmetod för stabilitet skulle tillföra Atlets produktutveckling mycket. Om metoden införs i den befintliga truckdatorn kan till exempel automatiska varningar ges truckföraren vid olämpliga lastfall. En sådan matematisk formel skulle även underlätta säljarnas arbete vid ordermottagning då kundens val av ingående komponenter kan utvärderas omgående. Ett steg på väg mot målet med de matematiska formlerna är att utvärdera möjligheten att genomföra virtuella stabilitetsprov där många ingående variabler kan bestämmas och utvärderas. Att virtuellt simulera ett system av detaljer eller en konstruktion ger även stora möjligheter till utvärdering av vad som sker då rörelse och kraft påverkar systemet. Tidigt i produktutveckling är detta väldigt viktigt, dels för att möjliggöra optimering av ingående parametrar till exempel höjd, längd, vikt och utrymme, och dels försäkra att rörelsen är effektiv. Denna typ av tidig, analytisk information reducerar behovet av kostsamma prototyper och tester under förutsättningen att metoden är väl kvalitetssäkrad.

1.3 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att utvärdera om programmet MSC.ADAMS lämpar sig för stabilitetsprov av UNS truckar för att på sikt minska arbetsinsatsen vid dessa prov. Eftersom Atlet använder sig av CAD-programmet Autodesk Inventor vore det önskvärt att använda befintliga filer och modeller för de virtuella simuleringarna.

Målet är att utföra grundläggande simulering och designoptimering för att visa på programmets lämplighet eller olämplighet samt redovisa utfallet.

1.4 ISO-standard 3184

Den internationella standarden ISO 3184:1998 gäller även som svensk standard och avser ”Truckar och lyftvagnar – Skjutstativtruckar och bredspåriga stödbenstruckar – Stabilitetsprovning” [4]. Standarden specificerar de grundläggande prov som skall genomföras för att verifiera en gaffeltrucks stabilitet. Proven är utformade för vad en truck skall klara vid ett dynamiskt prov men är omräknade till statistiska motsvarigheter. Trucken kan vara utrustad med stativ- eller gaffeltilt och skall vara av viktklass under 5000 kg. Laster som svänger fritt från truckens gafflar omfattas ej av denna standard.

De grundläggande prov som standarden beskriver skall försäkra att trucken uppvisar godkänd stabilitet då den används i normal arbetsmiljö. Med normal arbetsmiljö menas:

- a) lastning med approximativt vertikalt stativ och horisontella gafflar på fasta, släta och platta underlag;
- b) transport med stativet eller gafflarna bakåtlutade och lasten sänkt i transportläge på fasta, släta underlag;
- c) vid arbete med lastens tyngdpunkt approximativt på truckens längsgående centrumplan.

Stabilitetsproven genomförs antingen genom att lutningen på truckplattformen ökas efterhand från horisontell position eller att en fast lutning på plattformen används, varpå gafflarnas och lastens position istället ändras försiktigt. Trucken anses som stabil om den klarar alla prov utan att välta. Chassiet får beröra marken vilket innebär att trucken kan bli stående på underredet och två hjul.

Testerna skall genomföras på en fungerande truck som är färdig för leverans till kund. I de fall då en förare försämrar testets utfall skall en sådan finnas representerad i form av vikter. Samma sak gäller bränsletankar, om sådana finns skall de vara fulla ifall det försämrar resultatet från ett stabilitetstest. Att alltid prova trucken med dess sämsta egenskaper motverkar att för låga stabilitetsvärden bestäms.

I ISO 3184 finns åtta olika prov definierade. För varje prov finns angett hur trucken skall placeras på plattformen, var lastens tyngdpunkt skall verka på gafflarna, hur stativet får lutas, och, det nästan viktigaste, vilken lutning som trucken måste tåla. Hur trucken skall placeras, det vill säga runt vilken axel som trucken skall lutas visas med bilder och förklaringstexter. Vissa justeringar av stativet för göras då lasten är i upphöjt läge för att kompensera mot utböjningar i materialet.

Säkerhetsåtgärder skall vara tagna för att förhindra att trucken verkligen välter eller att lasten ändrar läge. Sådana åtgärder får dock inte påverka resultat från proverna varför eventuella kedjor, vajrar, byglar och klossar skall vara placerade på sätt som medger rörelse.

1.5 Avgränsningar

Arbetet avgränsas genom att koncentrera det på en typ av truck och två av proven i ISO-standarderna. Även de lyfthöjder som simuleras begränsas.

Trucken som kommer att studeras är av modell UNS TERGO 140 160, se figur 1-1. Det är en skjutstativtruck vilket innebär att trucken kan ses både som en stöbtruck och en motviktstruck, beroende på om stativet är indraget respektive utskjutet. Det finns fyra olika batteristorlekar att välja mellan när en truck av denna modell beställs. Två val av batteripaket kommer att utvärderas virtuellt.



Figur 1-1 Truck av modell UNS TERGO [2]

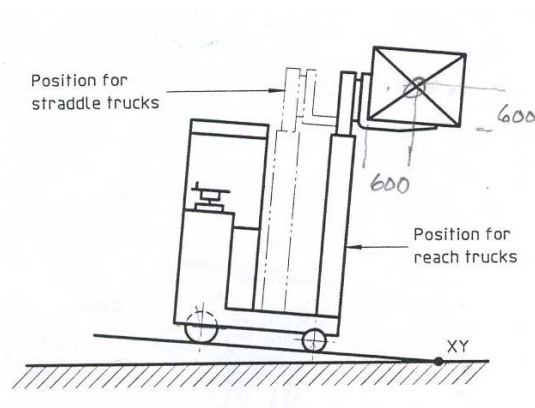
Atlets skjutstativtruckar kan utrustas med stativ som lyfter gods till 12 meters höjd. Det minsta stativalternativet har en högsta räckvidd på 4,8 meter. Avståndet mellan marken och översidan på truckens gafflar benämns på Atlet som ett H4-mått. De lyfthöjder som kommer att simuleras begränsas till H4-värden mellan 3000 mm och 12000 mm. Lägre lyft än 3 meter undantas från analysen eftersom det, stabilitetsmässigt, är mer intressant att undersöka vad som händer då laster lyfts högt. Gränsen 3 meter valdes för att alla stativs maximala H4-mått skall kunna utvärderas.

De stabilitetsprov i ISO 3184 som är viktigast att utvärdera för skjutstativtruckar är prov nummer 1 och 3 (prov 1 och prov 3). Därför är arbetet fokuserat på just dessa prov som finns sammanfattade i tabell 1-1.

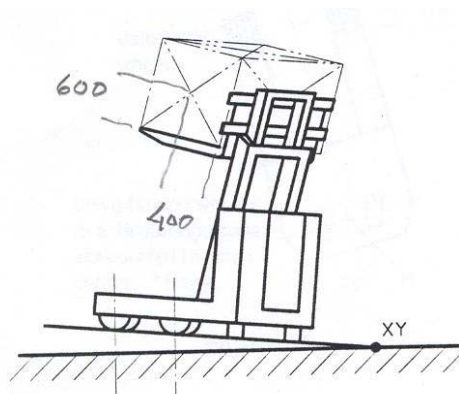
Prov	1	3
Arbetsmoment	stapling	stapling
Last	provlast	provlast
Placering av lasttyngdpunkt	600 mm	400 mm
Lyfthöjd	maximal	maximal
Stativplacering	utskjutet, vertikalt	tillbakadraget, bakåtlutat
Lutning av plattform	4%	6%
Truckens placering på plattform	se figur 1-2	se figur 1-3 och 3-3

Tabell 1-1 Sammanfattning av prov 1 och 3 [4]

I prov 1 är stativet utskjutet och trucken lutar framåt kring stödhjulens centrumaxlar, se figur 1-2. Lastens tyngdpunkt är placerad 600 mm ut från och 600 mm ovanför gaffelhälen. Trucken skall klara en lutning på 4 % vilket motsvarar cirka 2,29 grader. I prov 3 är stativet indraget och trucken välts snett bakåt, kring en tänkt linje mellan centrum på drivhjul och ett av stödhjulen, se figur 1-3 och stömlinjen i figur 3-3. Lastens tyngdpunkt placeras nu 400 mm ut från och 600 mm ovanför gaffelhälen. Trucken skall här klara en lutning på 6 % vilket motsvarar cirka 3,43 grader. [3]



Figur 1-2 Prov 1 - placering på plattform [4]



Figur 1-3 Prov 3 - placering på plattform [4]

1.6 Stabilitetsprovning på Atlet

Idag genomför Atlet sina stabilitetsprov på en provplattform som uppfyller de krav som ställs i gällande ISO-standard. Plattformen går att tilla runt en axel genom att höja en sida med hjälp av en domkraft som pumpas manuellt. En procentskala anger den aktuella lutningen. För att kunna placera trucken rätt på plattformen, så att trucken vinklas kring rätt axel, är en liten ”balk” fastsvetsad. Truckens hjul placeras på olika sätt mot ”balken” beroende på vilket prov som avses. Enligt standarden får hjulen gå mot ett stöd (här ”balk”) som är mindre än ett visst angivet tvärsnitt utan att provet anses påverkas.

Som nämndes i avsnitt 1.4 får truckens chassi vila mot marken utan att den anses ha välts. På Atlet avbryts dock proven innan truckens chassi når plattformen eftersom truckföraren troligen aldrig skulle låta trucken välta så långt på grund av obehaget som uppstår i en sådan situation.

Trucken säkras genom att stöd, spännband och vajrar fästes före provet genomförs. Vilka säkerhetsåtgärder som skall tas finns specificerat i ett styrdokument vid provplattformen. Säkringarna skall förhindra okontrollerade fall utan att påverka resultatet.

Vid provning med plattformen används den metod där lasten är vid en bestämd höjd med en bestämd vikt och plattformen sedan välts mer och mer tills överslag inträffar.

Vikten som används är aldrig mer än den vikt som specificerats att stativet klarar. Det är stabilitetsprov som genomförs, ej hållfasthetsprov.

De stabilitetsprov som Atlet genomför idag håller god standard och kvalitet gällande resultat och reproducerbarhet. Problemet är att de är resurskrävande och till viss del en säkerhetsrisk att genomföra manuella prover.

2 Mekaniksimuleringsprogrammet MSC.ADAMS

Det finns många olika typer av simuleringsprogramvaror, inom en mängd olika tekniska områden till exempel flöden, ekonomi, mikrobiologi, elektronik, mekanik, med flera. Programmen kan vara inriktade mot ett användningsområde som till exempel FEM (finita elementmetoden) eller kombinationer av områden där FEM, rörelse och resulterande krafter kan simuleras samtidigt.

Ett datorbaserat mekaniksimuleringsprogram är till stor hjälp vid optimering av de ingående delarna i en produkt. Det finns många olika programvaror inom detta område i denna undersökning används MSC.ADAMS (ADAMS).

2.1 Allmänt om ADAMS

Mekaniksimuleringsprogrammet ADAMS som är en förkortning av Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems utvecklades först av företaget Mechanical Dynamics Inc. År 2002 köpte MSC.Software Corporation upp företaget och fortsatte utvecklingen av programvaran som efter upphandlingen fick namnet MSC.ADAMS.

MSC.Software grundades redan 1963. Deras första program var en förlaga till MSC.Nastran som är en programvara vars huvudfunktion är beräkningar med Finita Element Metoden (FEM). MSC.Nastran är fortfarande ett av företagets mest framgångsrika mjukvaror.

ADAMS marknadsförs som världens mest använda simuleringsprogram för mekaniska system [5], något som kan vara sant då många stora och framgångsrika industriföretag i olika branscher använder programvaran i sin produktutveckling. Bilföretag som BMW, Volvo Cars och Rover utnyttjar programmet för att utföra allt större delar av sitt konstruktions- och utvecklingsarbete med reduktion av total utvecklingskostnad som mål. [6] Även Nissan och Crown Forklifts använder sig av ADAMS [7].

ADAMS innehåller ett komplett spann av applikationer från modellering till analys. Kinematik, statik och dynamik är tillstånd som alla kan behandlas av programmet [8]. ADAMS/View och ADAMS/Solver är grundstenar i programmet som möjliggör visualisering respektive lösning av matematiken. Utöver dessa finns det ett 20-tal moduler som är specialanpassade för olika industriella områden. Exempel på dessa är ADAMS/car, ADAMS/aircraft, ADAMS/engine, ADAMS/rail och ADAMS/chassis vars namn avslöjar vilket användningsområde de lämpas för samt till exempel

ADAMS/Autoflex som utvärderar flexibiliteten i en konstruktion utan att föregås av en fullskalig FEM-analys.

För nya användare av ADAMS finns det många övningar och guider att ta del av på Internet. Bland andra Institutionen för maskinteknik vid Carnegie Mellon's engineering college i Pittsburgh, USA [9] och Institutionen för maskinteknik vid University of Texas i Austin [10] har mycket bra material på sina hemsidor. Även MSC.Software tillhandahåller övningar och hjälplänkar på sin hemsida [11].

MSC.Software har också ett forum på Internet [12] där frågor om deras programvaror och dess funktioner besvaras av experter och lekmän. Tips och idéer till lösningar av problem som uppstått delas gärna ut.

2.2 Att modellera i ADAMS

Modellering i ADAMS bygger på Parasolids-kärnan, som är en mycket använd modellstandard utvecklad av Unigraphics Solutions. I ADAMS byggs konstruktioner på samma sätt som i verkligheten. Först modelleras de ingående delarna som därefter monteras och ledas ihop. Krafter som fjädrar, friktion och laster tilldelas också på ett mycket enkelt sätt. Modelleringsverktygen är visuella och lätta att förstå. Att placera och dimensionera solider, leder och krafter kräver ingen träning om vana från andra CAD verktyg finns. ADAMS modeller kan parametreras så att mått och placeringar blir enkla att ändra. Variablerna kan även kopplas ihop till system där flera storheter beror på en och samma parameter.

MSC.Software rekommenderar att modelluppbyggnad sker enligt vad de kallar "crawl, walk, run approach" [13a]. De menar att modellering och simulering bör börja så enkelt som möjlig och att svårighetsgraden sedan skall ökas efterhand. Till exempel bör linjära leder väljas till grundläggande simuleringar innan olinjära leder appliceras. Fördelarna med detta arbetssätt är dels att det ger bättre förståelse för vad som händer då ingående förutsättningar ändras och dels att simulering av enklare modeller tar mindre tid och således kan göras om flera gånger.

Om det finns färdiga modeller från ett CAD-system kan dessa direktimporteras till ADAMS som stödjer de vanligaste, standardiserade filformaten. Exempel på överförbara filformat är Parasolid, Shell, Drawing, IGES och STEP. CAD-modeller kan även omvandlas till ADAMSkompatibla filer med hjälp av utbytesmodulen ADAMS/Exchange.

2.3 Att genomföra simuleringar med ADAMS

Det är vid simuleringen av en modell som alla beräkningar sker. ADAMS formulerar och löser automatiskt de matematiska uttryck som krävs för att återge rörelseförloppet. Endast vilken tid som simuleringen skall pågå och i hur stora steg som varje tidsenhet skall delas in i måste anges före simulering. Med alternativet "Integrator" kan den numeriska integrationen av rörelseekvationerna kontrolleras, men är ej nödvändigt.

”Integrator” används då de fördefinierade värdena för numeriska lösningsparametrar inte är optimala för en specifik simulering. Det finns många olika fördefinierade integratorer att välja mellan. [13b]

Kontinuerligt under funktionslösningen animeras modellen och efterfrågade mätningar redovisas i form av grafer. Att händelseförloppet återges under simuleringens gång gör det möjligt att snabbt utvärdera om modellen verkar som planerat. Simuleringen kan avbrytas med en knapptryckning om fel i modellen upptäcks och utvärdering av det felaktiga resultatet ej är aktuellt. Animationer gör även kommunikationen av en modells tänkta funktion lättare att förstå. Något som kan vara till stor hjälp vid redovisningar och föredrag inom ett företag eller till underleverantörer.

ADAMS ”design-of-experiments”- och designoptimeringsfunktioner gör det möjligt att genomföra en automatiserad undersökning av en modells känslighet för geometriförändringar. I grafer visas tydligt hur data reagerar på ändringar av specificerade variabler. Kurvorna som genereras under optimeringen sparas i samma graf vilket gör lösningarna lätta att följa. [13c]

Under en simulering sparas mängder av information automatiskt. Resultatet kan förtydligas i ADAMS/Postprocessor där användaren lätt lägger till animeringar och grafer efter sina behov. Från Postprocessorn är det även enkelt att framställa en html-rapport där all data från simuleringen är samlad. [13d]

2.4 Vad kan gå fel vid användning av ADAMS?

God förståelse för det problem som skall lösas är A och O för en lyckad simulering. Utan den insikten blir det svårt att få fram rätt resultat att utvärdera eller så fås inga resultat alls.

Fel i modellen kan medföra stora påverkningar av simuleringsresultaten. Risk för sådana fel uppstår till exempel då modellen importerats i ett standardformat som IGES och ej tilldelats materialegenskaper. Materialegenskaperna hos de ingående delarna är mycket viktiga för att simuleringen skall återge önskade värden. [13e]

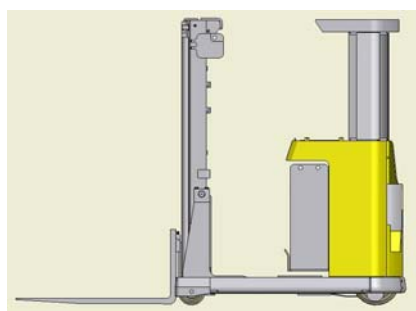
Val av stegstorlek (step size) vid simuleringen påverkar egentligen inte själva simuleringen vars lösning styrs av satta toleranser. Stegstorleken specificerar hur många gånger per tidsenhet som ADAMS skall visualisera lösningen för användaren. Väljs en väldigt gles steglängd finns risken att användaren missar viktiga data medan en väldigt tät steglängd ökar simuleringstiden då det tar datorkraft att visualisera lösningen. Återgivning av grafer och animation under simuleringen kan stängas av men lösningen tar ändå något längre tid.

Integrerings- och korrigeringsfel kan uppstå då funktionslösaren gör stora fel i predikteringarna. Risk för detta finns då modellens egenskaper ändras snabbt som vid kontakt, friktion eller häftiga rörelseförändringar. Oftast klarar integratorn att göra om beräkningarna och då hitta ett svar men genom att ändra feltoleransen för integratorn undviks felen. [14]

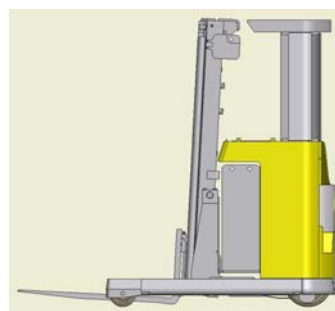
3 Uppbyggnad av simuleringsmodeller

Då det ej fanns kompletta CAD-modeller av aktuell trucktyp modelleras en förenklad truck direkt i ADAMS/view. Solidmodeller med massor och tyngdpunkter som representerar en verklig UNS-truck av modell 140 160 togs fram utifrån ritningsunderlag och CAD-modeller från Autodesk Inventor. Samma placering av origo och koordinatsystem som i Autodesk Inventor har använts vid modelleringen i ADAMS.

Samma truckmodell används för simulering av prov 1 och 3 genom att gruppera stativets delar så att de lätt flyttas till önskat läge, utskjutet i prov 1 (figur 3-1) och tillbakadraget och lutat bakåt i prov 3 (figur 3-2).

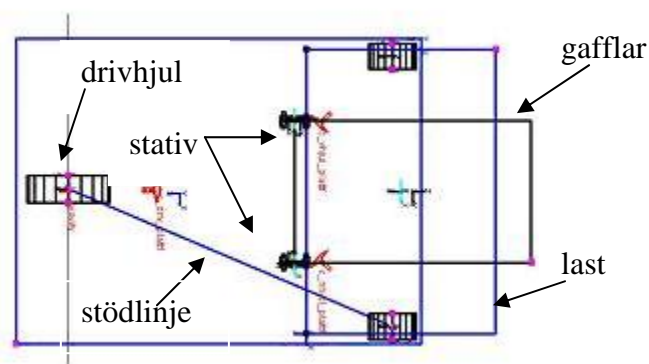


Figur 3-1 Stativets läge vid prov 1



Figur 3-2 Stativets läge vid prov 3

Vid genomförande av de olika proven skall trucken lutas åt olika håll, framåt i prov 1 och snett bakåt i prov 3. En stömlinje krävs för att rotation enligt prov 3 skall göras möjlig. Linjen går igenom drivhjulets och höger stödhjuls kontaktytor med plattformen, se figur 3-3. Stömlinjen tas bort före simulering eftersom ADAMS ej kan simulera modeller som innehåller masslösa delar.

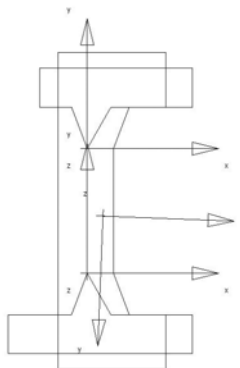


Figur 3-3 Simuleringsmodell för prov 3 sedd från ovan.

För enkel ändring av truckens tyngdpunktsläge och vikt, beroende på vilket batteripaket som truckmodellen utrustats med, beräknades de olika alternativen fram, se bilaga A.

Provplattformen är modellerad som en del av ”ground” vilket betyder att den sitter fast i den virtuella marken. Solider som ej påverkar resultatet från simuleringar, har samma position genom simuleringen, till exempel en virtuell bilbana bör göras till en del av ”ground” då det minskar behovet av låsningar i systemet. [13f]

Ett verkligt truckstativ består av ett par yttre och två par inre profiler som tillsammans med hydraulcylindrar, kedjor, lager etc. monteras ihop till ett komplext system. Profilerna överlappar varandra ända tills gafflarna höjts till maximalt H4-mått. För att göra om de stela stativen till flexibla används modulen ADAMS/Autoflex. Autoflex är en funktion som möjliggör modellering av förenklade flexibla kroppar utan att en fullskalig FEM-analys krävs. [13g] I ADAMS går det tyvärr inte att låsa flexibla delar mot varandra [7] vilket hindrar modelleringen av stativet. Truckens stativ modellerades i ADAMS genom att extrudera förenklade profiler med ritningar av det verkliga stativet som förlaga. Därför består stativet istället för flera profiler endast av två balkar med ett tvärsnitt som först liknar de yttre profilerna och sedan övergår till de inre profilernas tvärsnitt med 500 mm överlapp, se figur 3-4.



Figur 3-4 Tvärsnitt av modellerad stativprofil. Pilarna markerar startposition för extrudering och placering av tyngdpunkt.

De två balkarna kopplas ihop med gafflarna, representerade av en solid platta, som har möjlighet att förflyttas upp och ner längs stativet. Lasten representeras av ett block med längden 1200 mm, bredden 800 mm och höjden 1200 mm som kan vridas till rätt läge på gafflarna beroende på vilket prov som skall genomföras. Lasten låses ”fixed” fast i gafflarna så att den ej glider av under simulering.

Kontakt mellan truckens hjul och plattformen skapas genom att använda funktionen ”contact” [13h]. Utan denna låsning kommer trucken att falla rakt igenom plattformen vid en simulering. Mycket stora friktionskrafter applicerades i kontaktorna för att förhindra trucken från glidning längs plattformen då lasten läggs på gafflarna. ”Contacts” fungerar generellt sett på samma vis som verkligheten där krafter uppstår då objekt kolliderar och det finns inte några krafter mellan kroppar som ej är i kontakt [13i].

Truckens alla hjul, gafflarna och stativet tilldelades massan 1 kg/styck eftersom deras riktiga massa representeras av truckens totala vikt och simuleringar kan misslyckas om delarna är helt masslösa.

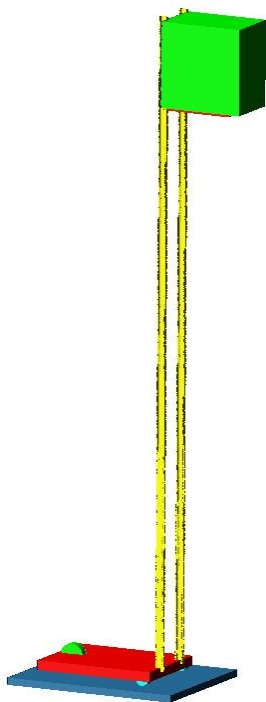
Modellerna parametriserades vilket innebär att storheter som skall kunna ändras lätt, tilldelas en betäckning istället för ett konstant värde. I tabell 3-1 redogörs för vilka mått som parametriserats och dess innebörder.

Beteckning:	Reprenterar:
(DV_1)	H4-måttet, måttet från plattform till ovansidan av gafflarna.
(DV_2)=(DV_1)-50	Gafflarnas höjdplacering.
(DV_3)	Lastens massa.
(DV_4)=(DV_1)+600	Lastens tyngdpunktsplacering.
(DV_5)=(DV_1)-25	Gafflarnas tyngdpunktsplacering.

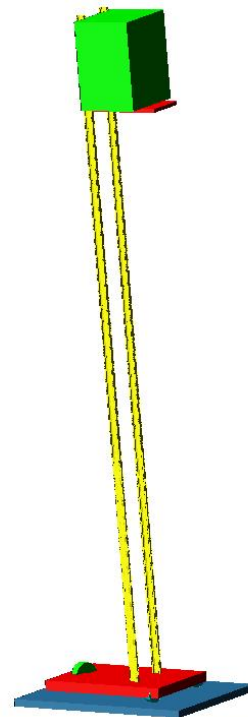
Tabell 3-1 Beteckningar på använda parametrar

Lastens tyngd (DV_3) och H4-måttet (DV_1) är de variabler som kommer att ändras mycket under simuleringarna. För att det skall gå smidigt att ändra höjden på gafflarna, lasten och låsningar är (DV_2), (DV_4) och (DV_5) uttryck av (DV_1).

Modellerna för de virtuella simuleringarna visas i figur 3-5 och 3-6.



Figur 3-5 Simuleringsmodell till prov 1



Figur 3-6 Simuleringsmodell till prov 3

4 Beskrivning av simuleringar

Studier kommer att genomföras där H4-måttet sätts till ett bestämt värde och ADAMS sedan automatiskt genomför tre till fem simuleringar med olika lastfall. H4-måttet kommer att varieras från 3000 mm till 12000 mm i steg om 500 mm. För att spara tid utesluts studier av H4-mått under 3000 mm eftersom högre höjder är mest intressanta ur ett stabilitetsperspektiv. Plattformen tilldelas en fast lutning av samma storlek som specificerats för de olika provfallen. Modellerna vinklas 2,4 grader i prov 1 och 3,5 grader i prov 3 vilket är ett litet överslag av de specificerade lutningarna som i standarden anges i procent. De något förhöjda lutningarna är en säkerhetsfaktor för att undvika att truckmodellen välter vid för stor lastvikt. Lastens vikt ökas successivt med 50 kg mellan varje simulering som kommer att ske automatiskt med hjälp av funktionen ”design optimization” [13j]. Denna funktion genomför ett spann av simuleringar som användaren specificerat och återger tydligt resultatet i en graf [13k].

Sensorer som stoppar simuleringen då ett visst värde uppnås är införda i modellerna. Vid prov 1 stoppas simuleringen då avståndet i y-led från plattformen till drivhjulet är större än 50 mm för stelt stativ och 100 mm för flexibelt. Vid prov 3 används samma typ av sensor fast då mäts avståndet i y-led från plattformen till höger stödhjul eftersom det är där trucken lättar från marken vid eventuellt överslag. Även här stannas simuleringen då avståndet överstiger 50 mm med stelt stativ och 100 mm med flexibelt. Sensorerna sattes till ett högre värde vid flexibla stativ eftersom utböjningen förmodas minska stabiliteten i modellen även om lastvikten ej orsakar att trucken till sist välter. Med andra ord antas modellen kunna ”studsa” högre på plattformen till följd av fjädereffekten som uppstår i det flexibla stativet. Modellen anses ha välvt då stabilitet ej uppnås inom det simulerade tidsspannet eller då simuleringen stoppas av sensorn.

De simuleringar som genomförs är alla dynamiska. Statiska prov lämpar sig inte för denna typ av frågeställning eftersom trucken förväntas att välta vid en viss last och i det fallet ej blir statiskt lösbart. Endast då lastens vikt är lägre än att trucken välter kan statiska simuleringar genomföras. Tyvärr gör kontakten mellan hjulen och plattformen det mycket svårt för ADAMS att genomföra statiska jämviktsberäkningar eftersom systemet genomgår hastiga tillståndsförändringar. [15]

Totalt genomförs fem olika simuleringstudier, vilka beskrivs i avsnitten nedan.

4.1 Prov 1

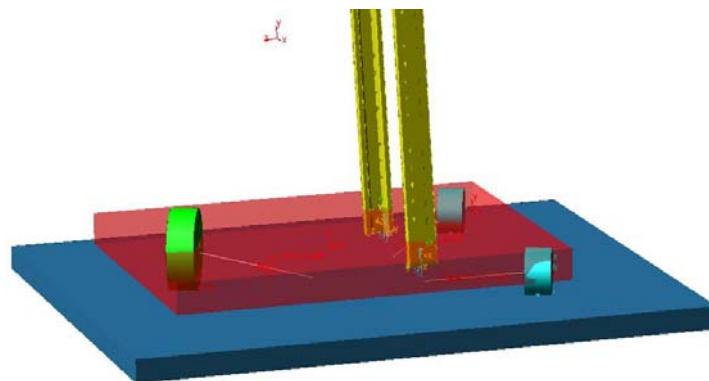
Tre olika varianter av truckmodellen simulerades enligt kraven i ISO 3184 för prov 1. En studie med stelt stativ med batteripaket C, en studie med flexibelt stativ och batteripaket C samt en studie med stelt stativ och batteripaket G genomfördes. Truckvarianterna med batteripaket C väger cirka 2700 kg och det med batteripaket G väger cirka 3200 kg samt har en tyngdpunktspacering närmare stativet på grund av det tyngre batteriet. Simuleringar av truckmodell med batteripaket G genomförs för att undersöka hur mycket batteripaketet påverkar den virtuella stabiliteten.

Lastens tyngdpunkt är framför stödhjulen i prov 1 vilket medför att simuleringar med alla tänkbara H4-mått, från marken och uppåt, kan utföras med resultatet att trucken välter.

4.2 Prov 3

Två olika varianter av prov 3 kommer att simuleras enligt kraven i ISO 3184, en med stelt stativ och en med flexibelt stativ. Båda sorterna kommer vara utrustade med batteripaket C och väga cirka 2700 kg. För att trucken skall välta måste lasten tyngdpunkt vara utanför stödytan vilket antagligen medför att resultat ej nås vid låga H4-mått.

Hjulen vrids före simulering så att de är vinkelräta mot vridningscentrum. I verkligheten kan stödhjulen ej vridas som i figur 4-1, men ADAMS påträffar ingen lösning vid simulering om rörelse i vridningsriktningen ej medges.



Figur 4-1 Stödhjulens vridning vid simulering av prov 3

5 Resultat

5.1 Från tidigare stabilitetsprov

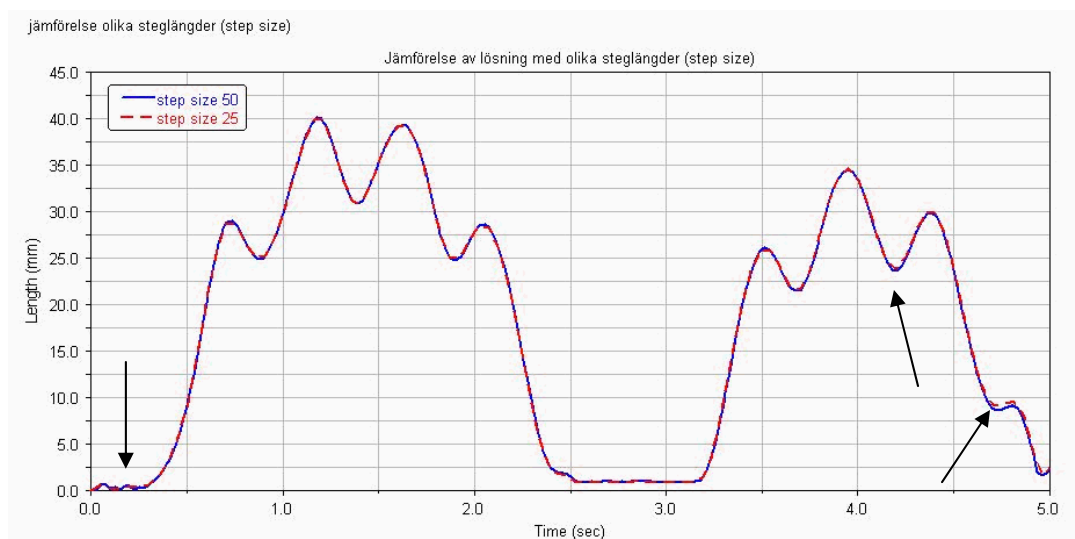
Från tidigare genomförda stabilitetsprov på Atlet har graferna i bilaga B tagits fram. Graferna är en sammanställning av många prov med olika trucktyper. Resultatkurvorna bygger på prov där enbart maximalt H4-mått utvärderats. Truckens totala vikt varierar längs resultatkurvorna eftersom de är utrustade med olika stora stativ beroende på hur högt de skall kunna lyfta lasten. Det är mot dessa kurvor samt protokoll från stabilitetstest [16] som simuleringsresultaten kommer att jämföras.

5.2 Från simuleringar

Vid dynamiska simuleringar i ADAMS appliceras lasten hastigt. Motsvarigheten är att lasten lyfts i ett pallställ på höjden som specificerats av det aktuella H4-måttet. Vid simuleringsstart uppstår svängningar i systemet till följd av den plötsliga tillståndsförändringen. Modellen stabiliseras efter cirka fem simulerade sekunder.

5.2.1 Resultat beroende på val av steglängd

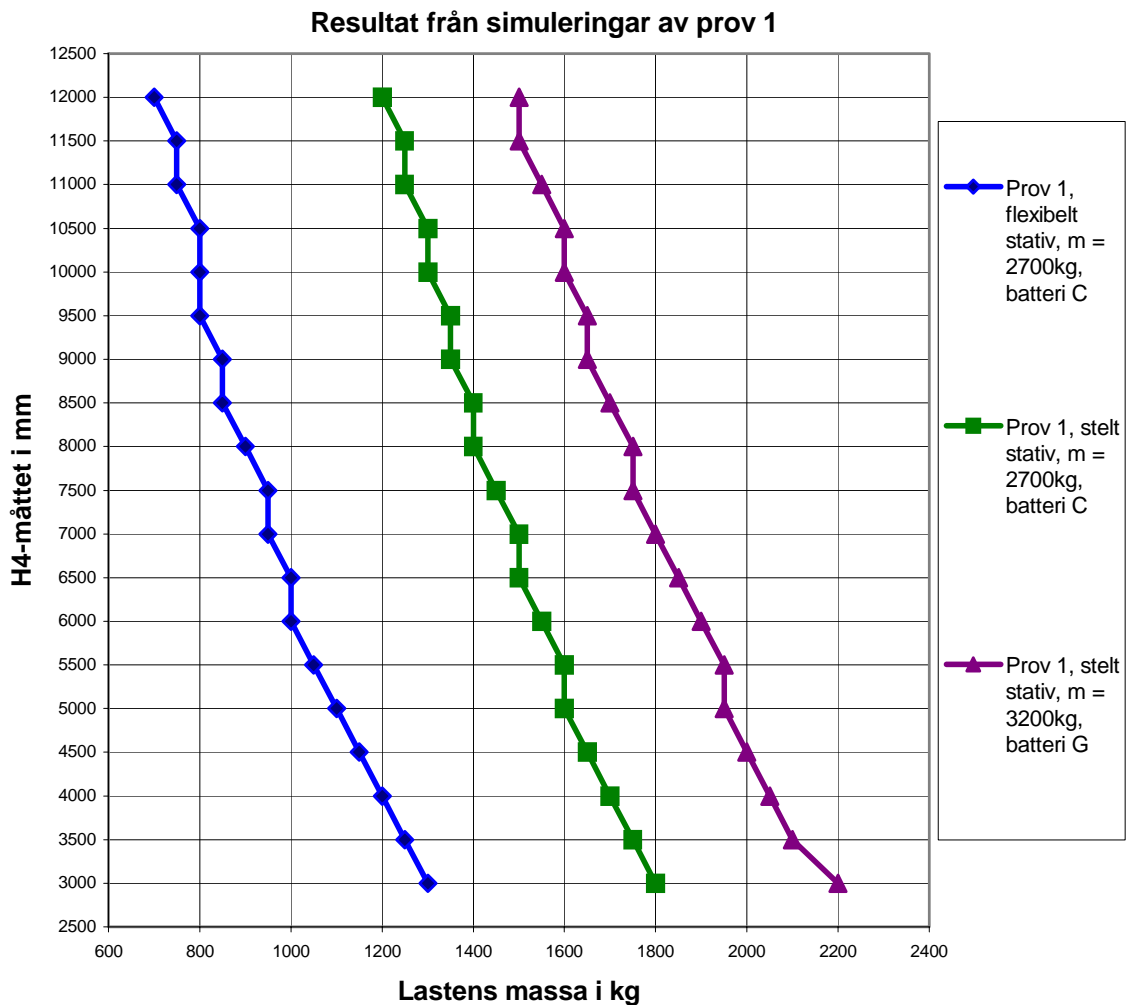
Efter jämförelse av noggrannhet vid användande av olika steglängder (step size) beslutades att de tidskrävande flexibla simuleringarna genomförs med steglängd 25 mot 50 som används vid simulering av stela stativ. Figur 5-1 visar hur lite resultatet varierar med valet av steglängd. Simuleringarna är utförda enligt prov 1 med flexibelt stativ. X-axeln visar simuleringstiden och y-axeln visar avståndet mellan drivhjulet och plattformen. Pilarna markerar var skillnader har iakttagits. Tidsåtgången minskades med en tredjedel för varje körning, från cirka 15 till cirka 10 minuter genom att välja den kortare steglängden.



Figur 5-1 Jämförelse av lösningar med olika step size

5.2.2 Prov 1

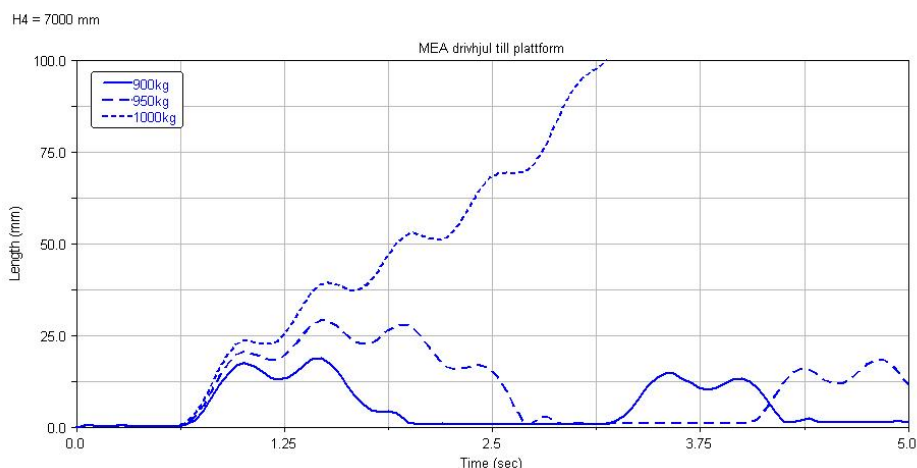
I figur 5-2 redovisas för resultaten från simuleringarna enligt prov 1.



Figur 5-2 Resultat från simuleringar av prov 1

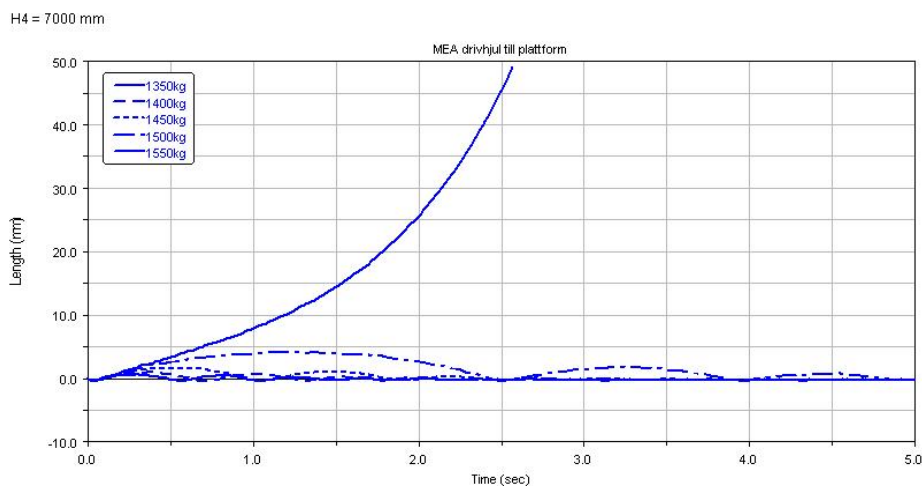
Underlaget till kurvorna finns i tabeller i bilaga C och rapporter från designstudierna finns samlade i html-format på den bifogade CD-skivan, bilaga E. Underlaget till varje införd punkt i figur 5-2 är en designoptimering. Med stel mast genomfördes fem iterationer på cirka 1 minut och med flexibelt stativ tog tre iterationer cirka 10 minuter.

Nedan följer exempel ur och förklaringar till html rapporterna för de olika simuleringfallen.



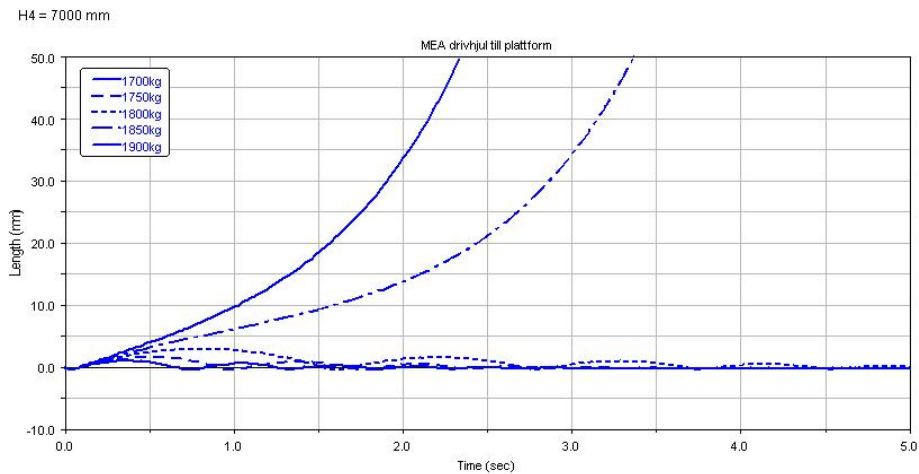
Figur 5-3 Simuleringar utförda på prov 1 med flexibel stativ och batteripaket C vid H4=7000mm. Modellen kan maximalt ta en last på 950kg.

I figur 5-3 visas resultatet från den automatiska designstudie som genomförts med H4 = 7000 mm för prov 1 med flexibel stativ. X-axeln visar simuleringstiden och y-axeln visar avståndet mellan drivhjulet och plattformen som förändras allt eftersom truckmodellen stabiliseras när lasten applicerats. I den övre kurvan, då lasten väger 1000 kg, bryter sensorn simuleringen eftersom avståndet till plattformen överstiger 100 mm. De övriga kurvorna visar en tendens till stabilisering under de fem sekunder som simuleringen motsvarar. Ur figur 5-3 fås således resultatet att modellen, med flexibel stativ, vid prov 1 klarar en last på 950 kg vid H4-måttet 7000 mm.



Figur 5-4 Simuleringar utförda på prov 1 med stelt stativ och batteripaket C vid H4=7000mm. Modellen kan maximalt ta en last på 1500kg.

Då en automatisk designstudie av truckmodellen med stelt stativ och batteripaket C genomfördes enligt utförandet för prov 1 vid H4 = 7000 mm genererades grafen i figur 5-4. Vid en last på 1550 kg stannar sensorn simuleringen vilket tolkas som att trucken då välter. Modellen bedöms därför kunna lyfta 1500 kg till H4 = 7000 mm.



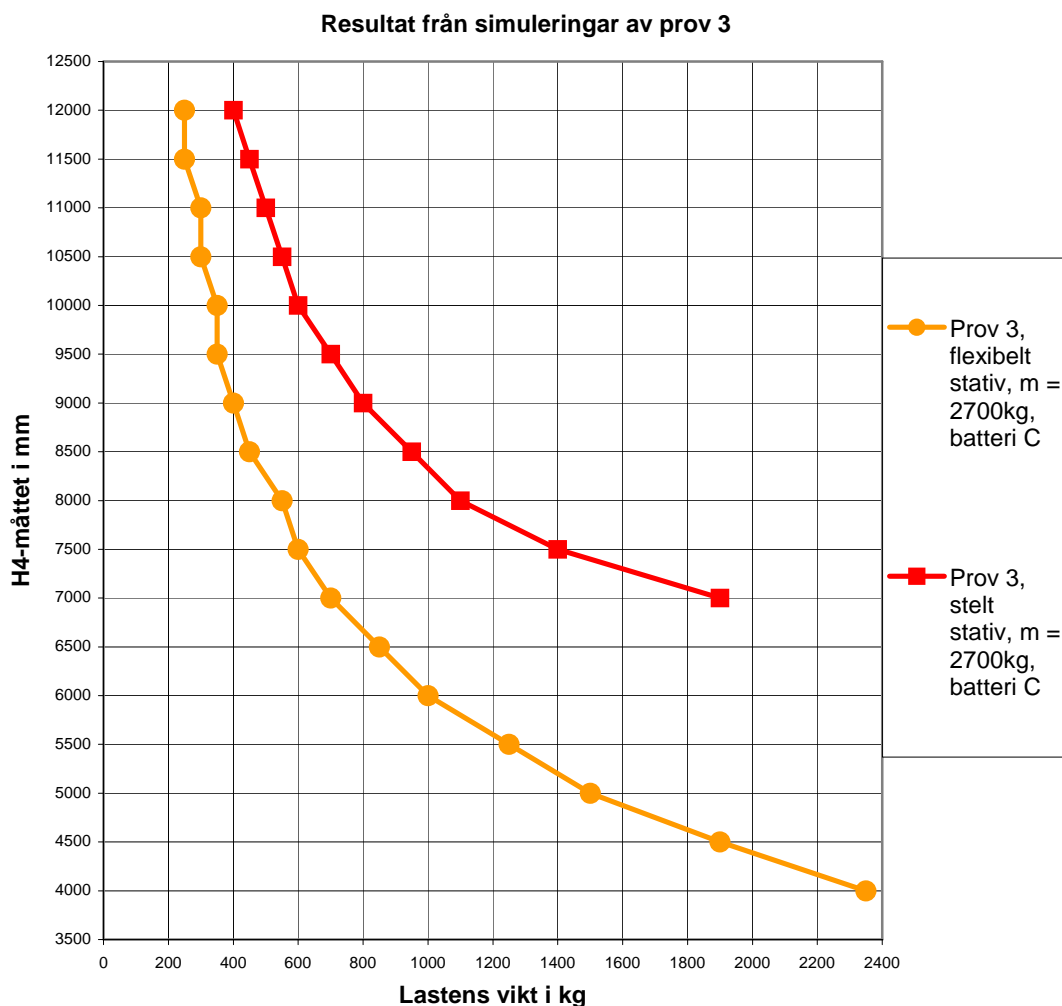
Figur 5-5 Simuleringar utförda på prov 1 med stelt stativ och batteripaket G vid H4=7000mm. Modellen kan maximalt ta en last på 1800kg.

Figur 5-5 visar resultatet vid simulering av prov 1 med stelt stativ och batteripaket G på H4 = 7000 mm. Modellen tycks här klara 1800 kg utan att välta, vilket är 300 kg mer än motsvarande simulering med batteripaket C.

Förutom de grafer som designstudierna resulterade i innehåller html rapporterna i bilaga E även detaljerad beskrivning av modelluppbyggnaden för varje simuleringsfall.

5.2.3 Prov 3

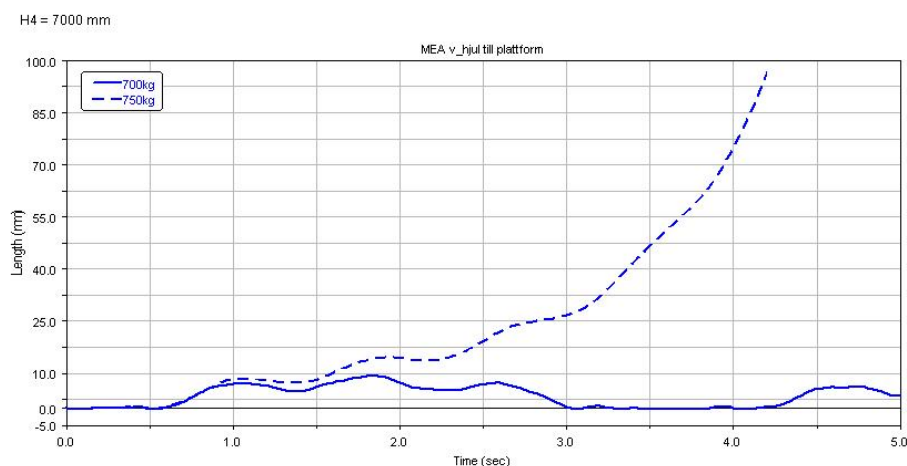
I figur 5-6 redovisas för resultaten från simuleringarna enligt prov 3.



Figur 5-6 Resultat från simuleringar med prov 3

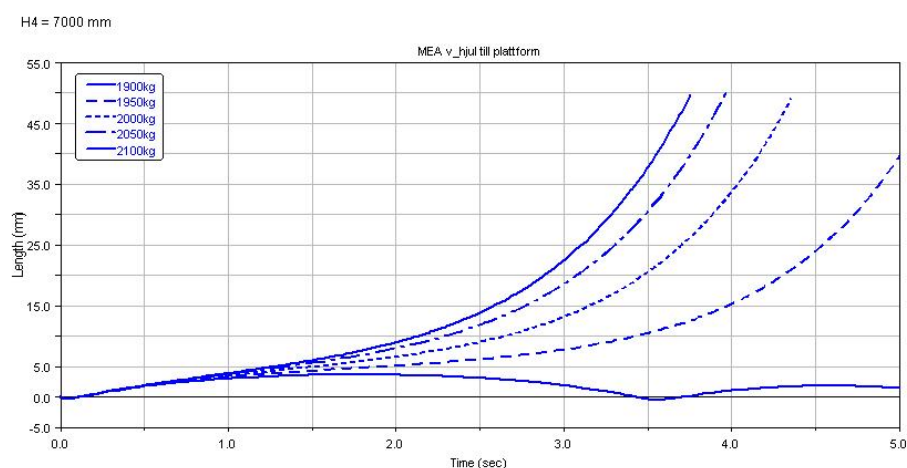
Lastens tyngdpunkt måste vara utanför stödytan för att trucken skall kunna välta, därför börjar resultaten från simuleringarna med stelt stativ av prov 3 vid H4 = 7000 mm. Stödytan är den tänkta triangel som bildas där truckens hjul möter underlaget. Av samma skäl startar resultaten från prov 3 simuleringarna med flexibelt stativ vid H4 = 4000 mm. Med det flexibla stativet välter truckmodellen vid lägre lasthöjder eftersom stativets utböjning flyttar lastens tyngdpunkt utanför stödytan då den appliceras.

Underlaget till kurvorna finns i bilaga D och rapporter från designstudierna finns i html-format på den bifogade CD-skivan, bilaga E. Underlaget till varje införd punkt i figur 5-6 är en designoptimering. Med stelt stativ genomfördes fem iterationer på cirka 1 minut och med flexibelt stativ tog tre iterationer cirka 15 minuter.



Figur 5-7 Simuleringar utförda på prov 3 med flexibelt stativ och batteripaket C vid H4=7000mm. Modellen kan maximalt ta en last på 700kg.

I figur 5-7 visas resultatet från den automatiska designstudie som genomförts med H4 = 7000 mm för prov 3 med flexibelt stativ. X-axeln visar simuleringstiden och y-axeln visar avståndet mellan höger stödhjul och plattformen som förändras allt eftersom truckmodellen stabiliseras när lasten applicerats. I den övre kurvan, då lasten väger 750 kg, bryter sensorn simuleringen eftersom avståndet till plattformen överstiger 100 mm. Samtidigt visar första kurvan tendens att stabiliseras varför fortsatt designstudie avbryts för den aktuella höjden, därför innehåller figur 5-7 endast två kurvor. Ur figuren fås resultatet att modellen, med flexibelt stativ, vid prov 3 klarar en last på 700 kg vid H4-måttet 7000 mm.

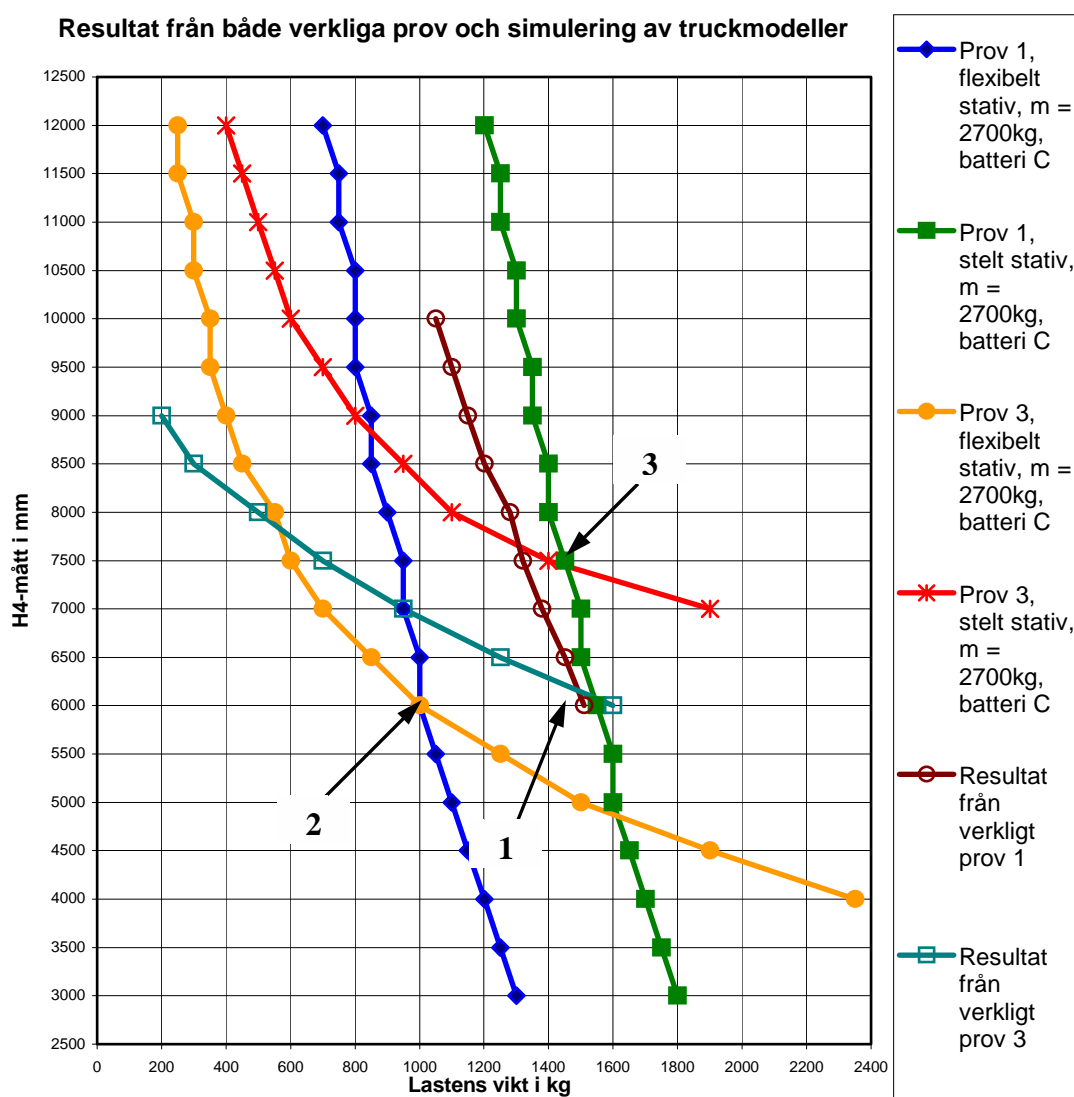


Figur 5-8 Simuleringar utförda på prov 1 med stelt stativ och batteripaket C vid H4=7000mm. Modellen kan maximalt ta en last på 1900kg.

Resultatet från en designstudie av prov 3 med stelt stativ vid H4 = 7000 mm ses i figur 5-8. Endast den kurva då lasten väger 1900 kg visar på ett minskande avstånd mellan plattform och stödhjul under simuleringstiden. Alltså anses modellen klara 1900 kg till höjden 7000 mm utan att välta.

6 Analys av resultat

En studie av resultaten från både virtuella simuleringar och verkliga prov visar att resultatkurvornas karaktär liknar varandra. Simuleringarna uppvisar samma tendens till vilket prov som är dimensionerande för tillåten maximal last. Vid låga H4-värden är det prov 1 som dimensionerar den last som trucken kan lyfta och vid större H4-värden bestäms det av prov 3. Sambandet visar sig gälla även vid virtuella simuleringar. För de verkliga proverna går gränsen mellan vilket prov som är avgörande vid cirka 6000 mm, se markering 1 i figur 6-1 där samtliga resultat samlats. Med flexibelt stativ i simuleringarna går den gränsen också vid H4 = 6000 mm, se markering 2 i figur 6-1. Simuleringsresultatet med stelt stativ ger en gräns för dimensioneringen vid H4 = 7500 mm, se markering 3 i figur 6-1.



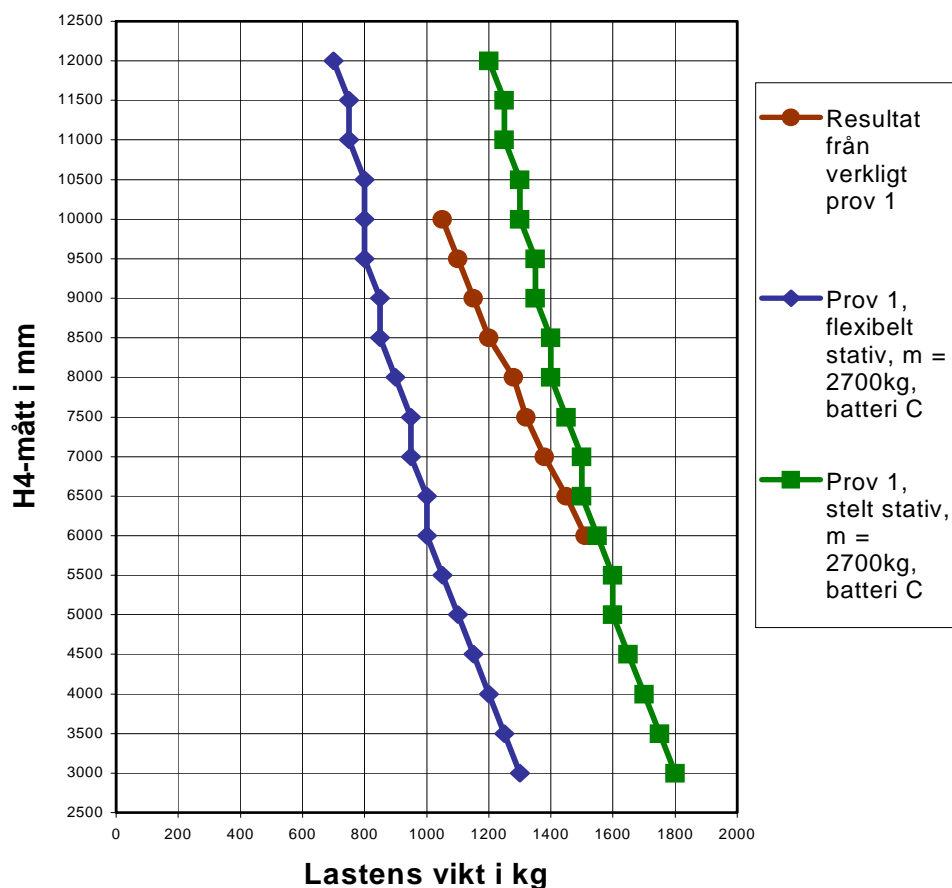
Figur 6-1 Resultatsammanställning från både verkliga prov och simulering av modeller

Tyngdpunkten för truckmodellen är framtagen med hjälp av Autodesk Inventor. Eftersom CAD-modellerna ej var fullständiga är tyngdpunkten en approximation genererad genom att lägga till motsvarande vikter där detaljer saknades. Om tyngdpunkten i den simulerade modellen ligger för nära stativet påverkar det resultaten i prov 1 på så sätt att trucken klarar en lägre last och i prov 3 tål trucken då en större last innan den välter. I den händelse att tyngdpunkten är placerad för långt ifrån stativet blir sambandet omvänt.

6.1 Analys av resultat från simulering av prov 1

Genom att jämföra resultaten från simulering av prov 1 med flexibelt stativ och med stelt stativ uppenbaras att simulering med de olika stativen ej påverkar resultatkurvans lutning. Samma lutning uppstår trots att det flexibla stativet gör att truckmodellen ej kan ta lika mycket last, se figur 6-2. Utböjningen blir större med det flexibla stativet vilket får trucken att välta vid en lägre last än med det stela stativet men annars finns det ingen direkt skillnad. Eftersom simuleringarna med flexibelt stativ tar så pass mycket längre tid att genomföra borde kanske stela stativ användas istället.

Resultat från verkliga prov och simuleringar enligt prov 1

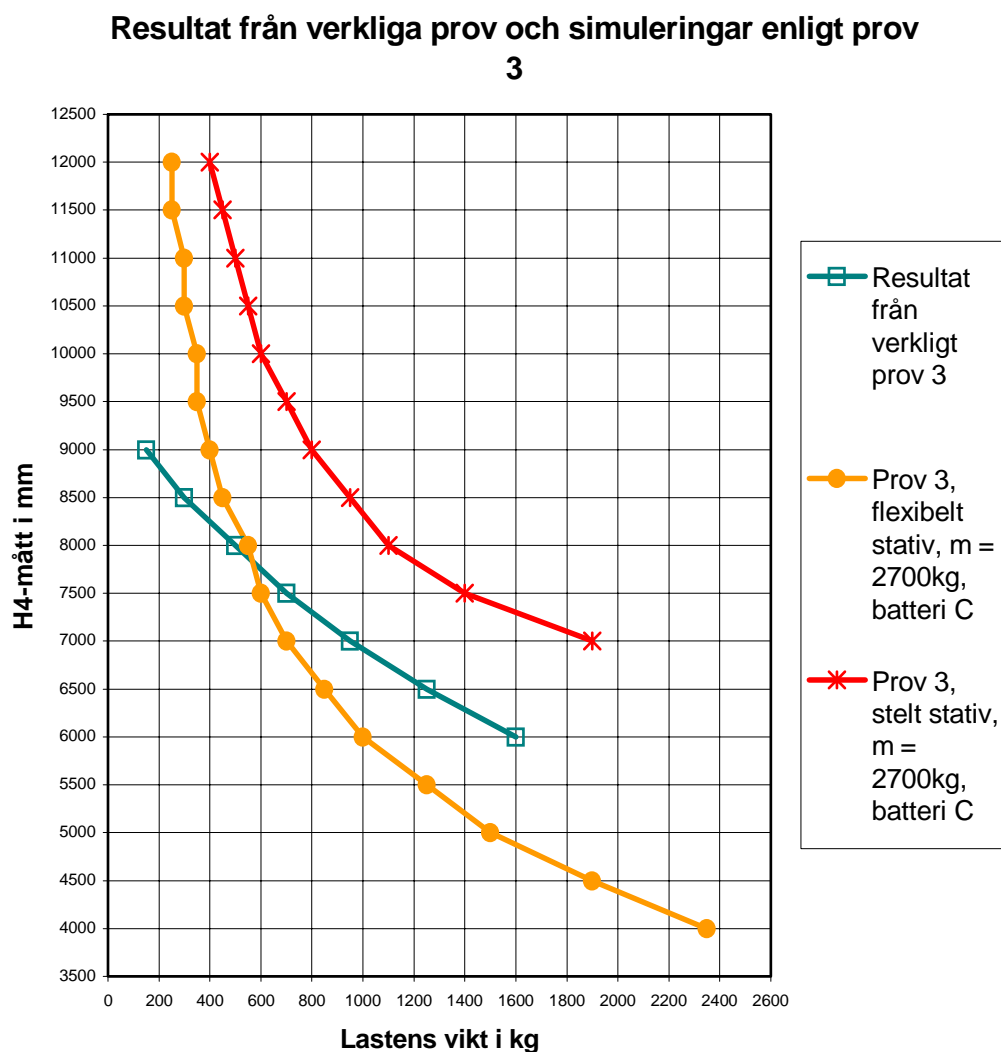


Figur 6-2 Resultat från verkliga prov och simuleringar enligt prov 1

Ju högre trucken skall kunna lyfta desto längre stativ krävs och desto mer väger trucken totalt. Som nämnts tidigare bygger resultaten från de verkliga proven endast på försök med maximalt utskjutna stativ. Eftersom truckens vikt inte är konstant utefter resultatkurvan har den en felaktig lutning. Detta kan vara en av anledningarna att resultatkurvorna från verkliga prov 1 är flackare än de simulerade se figur 6-2. I de verkliga proven ökas truckens vikt till varje mätpunkt och därför kan den också lyfta en större vikt utan att välta. Samma samband gäller för prov 3 där resultaten från de verkliga proverna är mer utdragna än för de simulerade se figur 6-3.

6.2 Analys av resultat från simulering av prov 3

Jämförelse av stelt och flexibelt stativ vid simulering av prov 3 ger ett något annorlunda resultat än för prov 1 även om de också följer samma tendens som de verkliga proven, se figur 6-3. Vid studie av testprotokoll från tidigare prov [16] erhålls att de verkliga provens lasttagningsförmåga minskar saktare vid större H4-mått, precis som vid simuleringarna.



Figur 6-3 Resultat från verkliga prov och simuleringar enligt prov 3

Eftersom simuleringarna är en grov uppskattning av verkligheten är det osäkert om resultatkurvorna skall flyttas åt något håll i grafen. Om stativet modellerats noggrannare och gett korrekt utböjning hade kanske kurvan förskjutits så att den passar de verkliga proven. Det viktigaste resultatet är ändå att samma tendens återfinns då det visar på användbarheten med virtuella simuleringar.

7 Slutsatser

De virtuella prov som genomförts i detta arbete visar att simuleringar är en möjlig metod för stabilitetsprov av prov 1 och 3 enligt ISO 3184. Även virtuella simuleringar av de övriga proven som specificeras av standarden anses vara möjliga efter framtagning av en noggrann simuleringsmodell.

För att kunna genomföra noggranna virtuella simuleringar krävs data på stativens utböjningar i de olika proven/lastfallen. Ett förenklat flexibelt stativ visar bara på möjligheterna som finns. För att specificera utböjningen rekommenderas en finita element analys (FEA) av stativet. Resultatet från utböjningsanalysen går sedan att överföra till simuleringsmodeller vilket gör resultatet från körningen mer korrekt. Även fullständigt CAD-underlag krävs för att virtuell simulering skall kunna ge mer tillförlitliga resultat.

8 Diskussion och fortsatt arbete

8.1 Simuleringsmodellerna

Desto mer förenklad en modell är ju fler förutsättningar måste specificeras, till exempel i form av matematiska funktioner. Manuell tilldelning av egenskaper ökar risken för fel vid simuleringen om goda kunskaper inom ämnet saknas. Ett exempel på detta är att endast fördefinierade inställningar användes vid skapande av det flexibla stativet eftersom tid för ytterligare instudering saknades. Med korrekt inställning skulle det representera verkligheten bättre trots att det modellerade stativet ser felaktigt ut. Vid simulering av prov 1 borde detta betyda att resultatkurvan blir flackare, alltså se ut mer som resultaten från de verkliga proven och mindre som de simulerade.

Utböjningsmönstret ser annorlunda ut för ett verkligt stativ där profilerna överlappar varandra tills stativet är maximalt utsträckt än för de förenklade stativ som använts i simuleringarna. Stativet är styvare då profilerna överlappar varandra än då stativet är fullt utsträckt. Ett stelt stativ, som modelleras som ett verkligt, återger antagligen utböjningen bättre än det förenklade flexibla, trots att formförändringen i materialet negligeras. Justering av utböjningen möjliggörs då genom att ändra storleken på spelet mellan profilerna.

Det finns många olika sätt att variera simuleringsgenomförandet utifrån vilka variabler som väljs. Under simuleringarna var lutningen fast, H4-måttet halvfast och lastens

massa varieras tills trucken föll. I de verkliga prov som genomförs på Atlet idag är lastens massa ett fast mått, H4-måttet halvfast och plattformens lutning ökas successivt tills trucken faller. Vilket förfarande som lämpar sig bäst är diskuterbart. I detta arbete valdes den beskrivna metoden utifrån författarens ADAMSKunskaper.

8.2 Val av mekaniksimuleringsprogram

I denna första undersökning angående möjligheten att utföra stabilitetsprov med hjälp av virtuell simulering har programmet MSC.ADAMS använts. ADAMS är bara ett av flera mekaniksimuleringsprogram som finns på marknaden idag. Vilken mjukvara som är lämpligast för virtuell stabilitetsprovning beror på om möjligheten att genomföra andra simuleringar, inom fler användningsområden än just stabilitet, vill möjliggöras. I nuläget använder Atlet, Autodesk Inventor för generering av CAD-modeller och ritningar vilket är något som måste tas i beaktning vid val av program. Att byta ut någon av de basprogramvaror som redan implementerats i ett företag medför oftast mycket stora komplikationer. Utgångsläget blir då att simuleringsprogrammet måste passa ihop med Autodesk Inventor och överföring mellan de två måste gå smidigt. Som författaren ser på saken finns det två alternativ. Det första alternativet är att Atlet utvärderar om programmet Motion-Inventor [17] eller MSC.Dynamic Designer är lämpliga för virtuell stabilitetsprovning. Mjukvarorna integreras i Autodesk Inventor och blir som en del av CAD-programmet. De är något enklare programvaror som inte lämpar sig för komplexa, virtuella simuleringar. Tidsbegränsade prover av programmen kan laddas ner från utvecklarens hemsidor på adresserna nedan, om tid och intresse finns.

Motion Inventor: <<http://www.solid-dynamics.com/english/download/download.htm>>

MSC.Dynamic Designer: <<http://www.mscsoftware.com/Products/ddm/adeval.cfm>>

Det andra alternativet är att satsa på MSC.ADAMS. Med ADAMS finns det potential att överföra allt fler steg av produktutvecklingen till en virtuell miljö, ett arbetssätt som blir allt vanligare i hela produktutvecklingsprocessen. Idag gäller endast fysiska test som bevis i en juridisk dispyt angående truckstabilitet, men i framtiden är det mycket tänkbart att simuleringar får samma innebörd.

UGS heter ett företag erbjuder många programvaror för produkters hela livscykel. NX kallas det programpaket som inriktats mot produktutveckling. Inom NX finns NX Scenario for Motion och det innehåller verktyg för avancerade simuleringar av dynamiska, statiska och kinematiska rörelser [18, 19]. UGS anger dock ej vilka CAD-system som är kompatibla med NX Scenario vilket tolkas som att endast CAD-filer från andra UGS-program kan användas. I NX-paketet omfattar CAD-programmen Unigraphics och I-Deas.

8.3 Rekommendationer till fortsatt arbete

Fullständigt CAD-underlag bör tas fram för att underlätta vid virtuell simulering. Tyngdpunkters placering och avstånd mellan detaljer är mycket viktiga för att simuleringsprogrammet skall kunna återge ett acceptabelt resultat.

Utböjningen som sker i stativet vid belastningen måste undersökas. En finita element analys av stativet skulle kunna genomföras i form av ett examensarbete som till exempel begränsas till ett stativ av standardstorlek.

Om intresse att implementera MSC.ADAMS i Atlets verksamhet finns, kan det vara värt att undersöka vissa av programmets arbetsområden närmare. I mjukvaran finns till exempel möjligheter att programmera makron för operationer som upprepas ofta. Enklare datasidor för tydligare, visuell förändring av parametriserade mått kan också tas fram. Det här är två av de möjligheter som finns för att många personer skall kunna använda programmet utan att ändra i modeller eller ha större kunskap i programvaran.

Källförteckning

- [1] Högskolan i Trollhättan/Uddevalla, *exjobbsrutiner_maskin_o_design.pdf*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://disco.htu.se/disco/courses/1003/>> [2005-01-31]
- [2] Atlet AB, *Atlet*. [Elektronisk] Tillgänglig: <www.atlet.se> [2005-04-20]
- [3] Atlet AB, *Atlet truckar Komplet program för intern materialhantering*. Broschyr, opublicerat material.
- [4] Standardiseringen i Sverige (SIS), Svensk Standard SS-ISO 3184:1998 *Truckar och lyftvagnar – Skjutstativtruckar och bredspåriga stödbenstruckar – Stabilitetsprovningar*.
- [5] MSC.Software Corporation, *MSC.Software Corporation* [Elektronisk] Tillgänglig: <www.mscsoftware.com> [2005-04-27]
- [6] Business America, *Mechanical Dynamics at Ann Arbor, Michigan proves 'technology sells'*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m1052/is_n2_v119/ai_20360517%20history%20Mechanical%20Dynamics> [2005-04-27]
- [7] Jesper Slättengren, Consulting Manager Automotive Dynamics. [Personlig kontakt] Opublicerat material.
- [8] Lee, Kunwoo (1999). *Principles of CAD/CAM/CAE systems*. Addison Wesley Longman Inc.
- [9] Department of Mechanical Engineering at Carnegie Mellon, *ADAMS Tutorial*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.me.cmu.edu/academics/courses/NSF_Edu_Proj/Dynamics_Adams/adams_tutor.html> [2005-04-27]
- [10] Department of Mechanical Engineering, the University of Texas at Austin, *ADAMS support Materials*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.me.utexas.edu/~lotario/VSDC/adams/adams_guides.html> [2005-04-27]
- [11] MSC.Software Corporation, *Tutorial QuickFinder*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://www.mscsoftware.com/support/university/tutorials.cfm>> [2005-04-27]
- [12] MSC.Software Corporation, *VPD Community*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://forums.mscsoftware.com/news/ubbthreads.php>> [2005-04-27]
- [13] MSC.Software Corporation, *ADAMS-användarmanual*. [Elektronisk] Tillgänglig i MSC.ADAMS 2005.
 - [13a] *About building your model correctly*
 - [13b] *INTEGRATOR*

- [13c] *What is DOE*
- [13d] *About simulating your model*
- [13e] *Possible Errors when Using ADAMS/View*
- [13f] *About rigid bodies*
- [13g] *Getting started using ADAMS/Autoflex*
- [13h] *CONTACT*
- [13i] *Create/modify contact*
- [13j] *Using design variables*
- [13k] *Controlling variable values*
- [14] S. Kela (2004), Examensarbete 2004:RT05 *Modellering och simulering av en Linrobot*. [Elektronisk] Tillgänglig: <<http://www.bibliotek.htu.se/exarb/T04-101.pdf>> [2005-04-27]
- [15] MSC.Software Corporation, *Contact Best Practices*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://support.adams.com/kb-files/id_10170/contact_best_practices_2004.doc> [2005-04-27]
- [16] Atlet AB, *Protokoll från Atlet stabilitetstest*. Opublicerat material.
- [17] SOLID Dynamics, *SOLID Dynamics*. [Elektronisk] Tillgänglig: <www.solid-dynamics.com> [2005-04-27]
- [18] UGS, *UGS*. [Elektronisk] Tillgänglig: <www.ugs.se> [2005-04-27]
- [19] UGS, *UGS the PLM Company*. [Elektronisk] Tillgänglig: <www.ugs.com> [2005-04-27]

A Beräkning av trucktyngdpunkt med olika batteripaket

För att underlätta ändring av truckens tyngdpunkt beroende på vilket batteripaket som används beräknades tyngdpunkterna för hand. Massan hos en UNS 140 160 med batteri C togs fram från Autodesk Inventor. Tyngdpunkt och placering av batteripaketerna (E, F och G) togs fram från ritningsunderlag. Hur tyngdpunkten ändras beroende på vilket batteri som trucken är utrustat med räknades fram med följande formler:

$$\text{x-koordinat: } S_x = \frac{m_C \cdot x_C + m_{E,F,G} \cdot x_{E,F,G}}{m_C \cdot m_{E,F,G}}$$

$$\text{y-koordinat: } S_y = \frac{m_C \cdot y_C + m_{E,F,G} \cdot y_{E,F,G}}{m_C \cdot m_{E,F,G}}$$

$$\text{z-koordinat: } S_z = \frac{m_C \cdot z_C + m_{E,F,G} \cdot z_{E,F,G}}{m_C \cdot m_{E,F,G}}$$

Där: m_C = truckens massa med batteri av typ C

$m_{E,F,G}$ = massökningen vid användande av batteri av typ E, F eller G jämfört med batteri av typ C

x_C, y_C, z_C = truckens tyngdpunkt med batteri av typ C

$x_{E,F,G}, y_{E,F,G}, z_{E,F,G}$ = tyngdpunkter för batteri av typ E, F eller G

Efter beräkning fås följande:

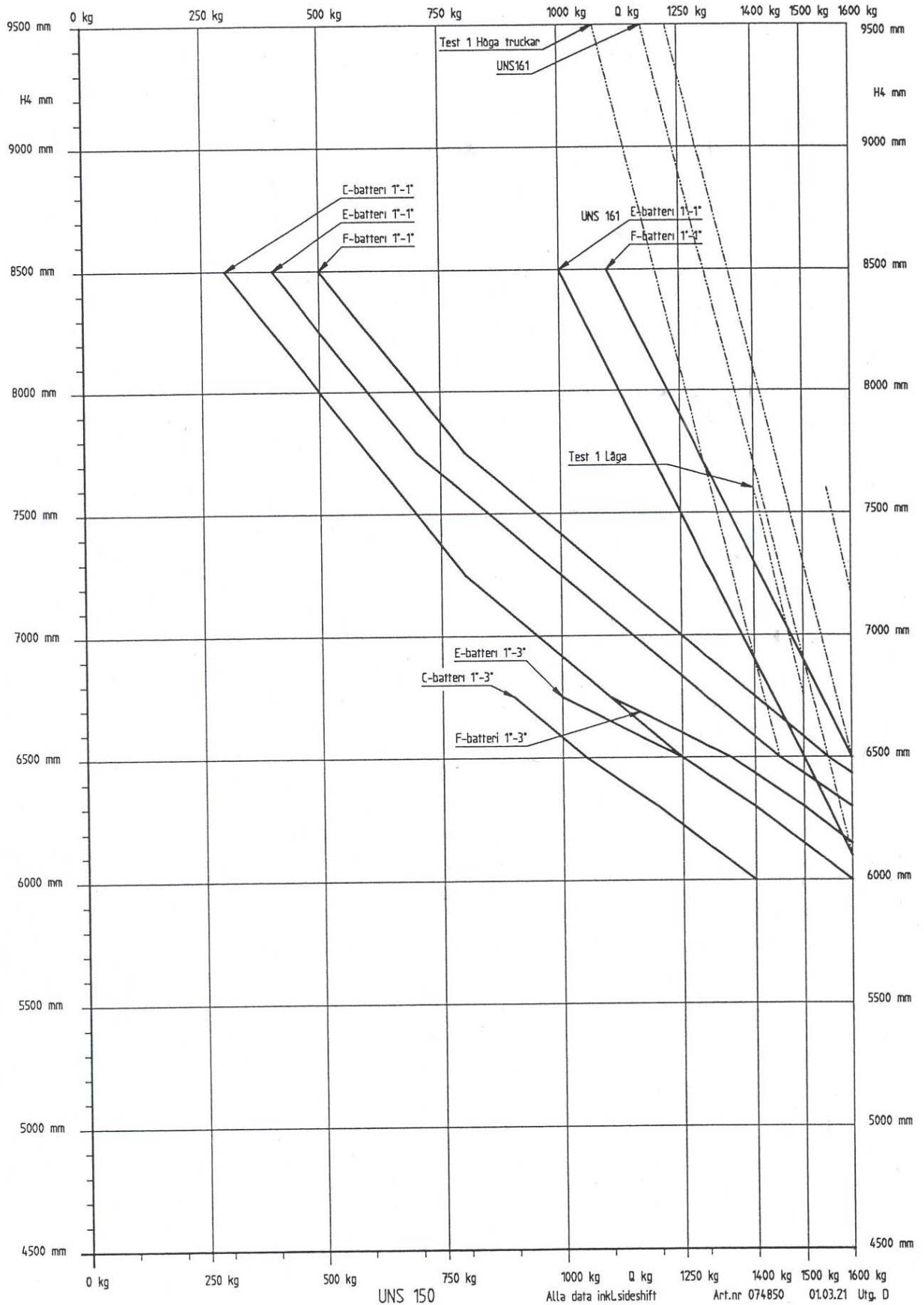
Batteri typ C:	Massa:	Tyngdpunkt:
Prov 1:	2645 kg	(1, 1143, -685)
Prov 3:	2645 kg	(1, 1144, -477)

Batteri typ E:	Massa:	Tyngdpunkt:
Prov 1:	2834 kg	(1, 1108, -675)
Prov 3:	2834 kg	(1, 1109, -481)

Batteri typ F:	Massa:	Tyngdpunkt:
Prov 1:	3014 kg	(1, 1078, -671)
Prov 3:	3014 kg	(1, 1079, -488)

Batteri typ G:	Massa:	Tyngdpunkt:
Prov 1:	3201 kg	(1, 1051, -671)
Prov 3:	3201 kg	(1, 1052, -671)

B Resultat från tidigare, verkliga stabilitetsprov



C Simuleringsresultat från prov 1

Med **flexibelt stativ** och batteripaket C, trucken väger 2700 kg:

H4:	Klarar kg:
3000	1300
3500	1250
4000	1200
4500	1150
5000	1100
5500	1050
6000	1000
6500	1000
7000	950
7500	950
8000	900
8500	850
9000	850
9500	800
10000	800
10500	800
11000	750
11500	750
12000	700

Med **stelt stativ**.

Batteripaket C, trucken väger 2700 kg:

H4:	Klarar kg:
3000	1800
3500	1750
4000	1700
4500	1650
5000	1600
5500	1600
6000	1550
6500	1500
7000	1500
7500	1450
8000	1400
8500	1400
9000	1350
9500	1350
10000	1300
10500	1300
11000	1250
11500	1250
12000	1200

Batteripaket G, trucken väger 3200 kg:

H4:	Klarar kg:
3000	2200
3500	2100
4000	2050
4500	2000
5000	1950
5500	1950
6000	1900
6500	1850
7000	1800
7500	1750
8000	1750
8500	1700
9000	1650
9500	1650
10000	1600
10500	1600
11000	1550
11500	1500
12000	1500

D Simuleringsresultat från prov 3

Med **flexibelt stativ** och batteripaket C, trucken väger 2700 kg:

H4:	Klarar kg:
3000	##
3500	##
4000	2350
4500	1900
5000	1500
5500	1250
6000	1000
6500	850
7000	700
7500	600
8000	550
8500	450
9000	400
9500	350
10000	350
10500	300
11000	300
11500	250
12000	250

Med **stelt stativ** och batteripaket C, trucken väger 2700 kg:

H4:	Klarar kg:
3000	##
3500	##
4000	##
4500	##
5000	##
5500	##
6000	##
6500	##
7000	1900
7500	1400
8000	1100
8500	950
9000	800
9500	700
10000	600
10500	550
11000	500
11500	450
12000	400

E Simuleringsmodeller och resultat från dessa