

# Simulering av dynamiska system vid produktutveckling

Tobias Larsson  
Datorstödd maskinkonstruktion  
Luleå tekniska universitet

**Svensk sammanfattning av doktorsavhandlingen "Multibody Dynamic Simulation in Product Development" försvarad av Tobias Larsson den 6 april 2001 vid Luleå tekniska universitet.**

## Introduktion

Den starkt förändrade situationen i dagens tillverkande industri, beroende på globalisering och starkare konkurrenssituation, gör det nödvändigt för företagen att kontinuerligt korta ledtiderna och upprätthålla kvaliteten. Förutom krav på kort tid till marknadsintroduktion för produkterna så måste även hänsyn tas till stramare produktbudget, trots en ständigt ökande produktkomplexitet. Kundkrav och marknadsförväntningar måste mötas, med bibehållen kvalitet. Denna utsatta position motiverar företagen till att säkra möjligheterna att producera framgångsrika produkter med avseende på marknadsandelar, produktvinst och kundtillfredsställelse.

För att uppnå en framgångsrik produkt måste företagen sträva efter att förstå det egna företagets produktutvecklingsprocess, samt de verktyg och metoder som används för att understödja produktutvecklingen. När denna grundläggande förståelse är uppnådd är det möjligt att åtgärda de svaga punkter som identifieras för att uppnå en framgångsrik process, och härigenom även möjligheten till en framgångsrik produkt.

Det senaste decenniets snabba utveckling och införande av datorstödda verktyg i industrin har haft en stor effekt på produktutvecklingen. Speciellt har området för datorstödd konstruktion, ofta benämnt Computer Aided Design (CAD), ändrat vad som kan benämnas som bästa sättet att utveckla produkter. Utveckling av design- och produktivitetsverktyg har tillsammans med datorverktyg för simulering och analys skapat ett antal nya ingenjörsciensdiscipliner. Dessa discipliner måste integreras in en integrerad produktutvecklingsmiljö där aktiviteter som till exempel design, analys, mätning och tillverkning är introducerade tidigt i utvecklingen. Genom detta

angreppssätt skapas en möjlighet till att ta korrekta beslut tidigt i utvecklingen av produkten och härigenom få en möjlighet till reducerad tid och kostnad.

Bland verktygen och metoderna som finns tillgängliga för utveckling av mekaniska system märks MSA – Multibody System Analysis, eller simulering av dynamik. Datorstödd MSA används för att studera och förutsäga produkters funktionella, eller dynamiska, beteende. Ett typiskt exempel på ett dynamiskt system är framvagnsupphängningen på en bil. Användningen av MSA har en stor potential i industrin idag, en potential som kanske inte utnyttjas riktigt på grund av faktorer som komplexitet vid modellering och simulering. För att göra det möjligt för en ingenjör, och inte enbart en simuleringsexpert, att använda MSA-metoder för utveckling av dynamiska system så måste komplexiteten reduceras och metoden beskrivas på ett förståeligt sätt.

De olika kunskapsdomänerna produktutveckling, datorsimulering och produktstrukturering sammanflätas till ett interdisciplinärt arbete med applikationer inom fordonsdynamik (Figur 1).



**Figur 1.** Simuleringsmodeller för MSA - Hjulupphängning, rotator (Indexator AB) samt strömavtagare till X2000.

## MSA vid produktutveckling

Traditionellt sett har det endast varit stora företag med specifika analysavdelningar som har använt simulering vid utveckling av produkter. Dessa simuleringsverifierade produkter karakteriseras av en hög teknisk nivå. Då utvecklingen av datorer har gått väldigt snabbt, samt att tekniker för datorbaserade simuleringar har blivit mognare, så blir ett bredare spektra av industrin intresserad av att införa simulering som ett naturligt led i produktutvecklingen.

Användningen av MSA-simulering för utveckling av mekaniska produkter kan delas in i *nykonstruktion* och *omkonstruktion* där nyttan av MSA kan beskrivas enligt följande:

MSA vid nykonstruktion

- Fatta välgrundade beslut tidigt i produktutvecklingsprocessen.

- Ge ingenjören möjlighet att prova fler lösningar på kortare tid.
- Separera olika designlösningar.
- Förstå produktens beteende och hur beteendet påverkas av olika faktorer.
- Upptäcka oväntat beteende.
- Säkerställa att produkten uppfyller sin kravspecifikation.

#### MSA vid omkonstruktion

- För att förbättra produkten.
- Optimering av produkten med avseende på, till exempel, bränsleförbrukning, vikt eller risk för olyckor.
- Utvärdera känslighet för ändringar orsakade av, till exempel, väder, slitage eller åldring.
- Prova realistiska eller farliga situationer som till exempel höghastighetsprov med tåg.
- För att förstå produktens beteende och faktorer som påverkar beteendet vid återkommande situationer.

#### Simuleringsprocesser vid produktutveckling

En möjlig iterativ produktutvecklingsprocess visar (Figur 2) några generella faser vid utvecklingen av en ny eller omkonstruerad produkt. Trots att figuren har en början och ett slut skall den ses som en ögonblicksbild i en kontinuerlig utvecklingsprocess där produktsupportsteget verkar som indata till en ny eller omkonstruerad produkt.



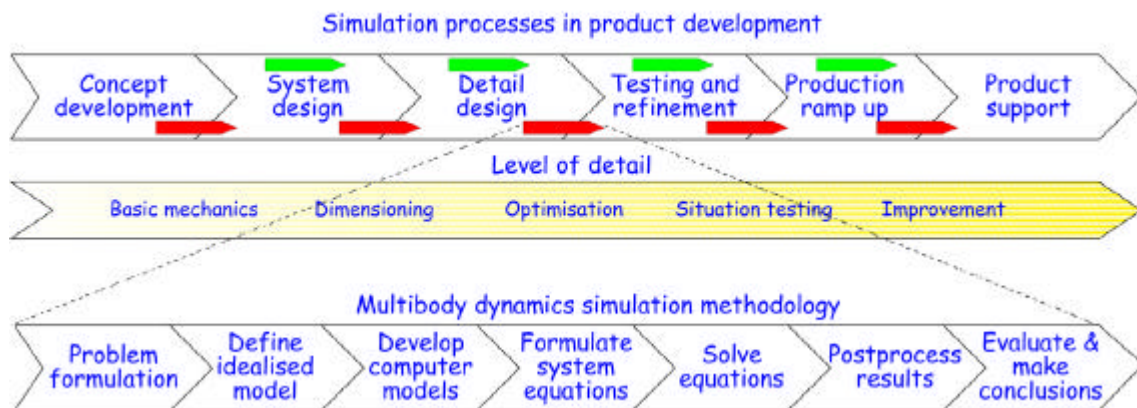
*Figur 2. Simuleringsprocesser i produktutveckling.*

De mindre övre och undre pilarna symboliserar några möjliga generella simuleringsprocesser vid utvecklingen av en produkt. Dessa simuleringsprocesser kan motsvara, till exempel, flödessimuleringar (Computational Fluid Dynamics – CFD) för att klargöra luftmotståndet hos en bilkaross, finita elementsimuleringar (Finite Element Method – FEM) för beräkning av deformationszoner hos en bil, eller dynamiksimulering (MSA) för att utvärdera körkomfort.

#### MSA simuleringsmetodik

Under en produkts livscykel så återkommer samma fråga gång på gång, fast vid olika faser, enligt Figur 3 där en typisk metodik för MSA-simulering visas.

Vid de tidiga stadierna är snabb modellering och jämförande analyser viktigt för att utvärdera olika koncept. Den tillgängliga informationen är ofta otillräcklig och ostrukturerad samtidigt som tiden för beslut är kort. Vid senare faser är produkten definierad mer i detalj och noggrannare analyser blir möjligt och mer relevant. Bättre information är tillgänglig, ofta i form av experimentell data, samtidigt som kunskapen om produkten byggs upp.



*Figur 3. MSA-simulering vid olika faser av produktutvecklingen.*

MSA-metodiken är oberoende av modellens detaljeringsgrad och vald simuleringsmetod eftersom frågorna som ställs i processen inte ändras, bara kunskapen. Detta gör det lättare att dokumentera det genomförda arbetet.

Produkterna är ofta komplexa och inkluderar många frihetsgrader såväl som ickelinjär karakteristik. Detta indikerar att det endast tillfälligtvis är möjligt att finna analytiska lösningar till ekvationerna för systemen. Numeriska experiment används ofta för att räkna fram rörelserna för de olika systemen från rörelseekvationerna. Det är ofta lämpligt att koppla definitionen av det dynamiska systemet till ett CAD-program, där det är relativt enkelt att definiera egenskaper som massa och trögheter. 3D CAD-program är också lämpliga för visualisering av det beräknade resultatet.

MSA-metodiken består av följande huvudsteg:

1. Problemformulering
2. Definiering av idealiserad modell
3. Framtagning av datormodell
4. Formulering av rörelseekvationer
5. Ekvationslösning
6. Resultatpresentation
7. Utvärdering och slutsatser

*Problemformulering*

- Avgränsa och definiera problem som skall lösas.

- Bestämna vilka fysikaliska effekter som skall tas med i simuleringen.
- Definition av mål med simuleringen.
- Ingående systemkomponenter.
- Framtagning av simuleringskravspecifikation.

#### *Definiering av idealiserad modell*

- Samla in systemdata.
- Bestäm modellparametrar.
- Val av beräkningsmetod.

#### *Framtagning av datormodell*

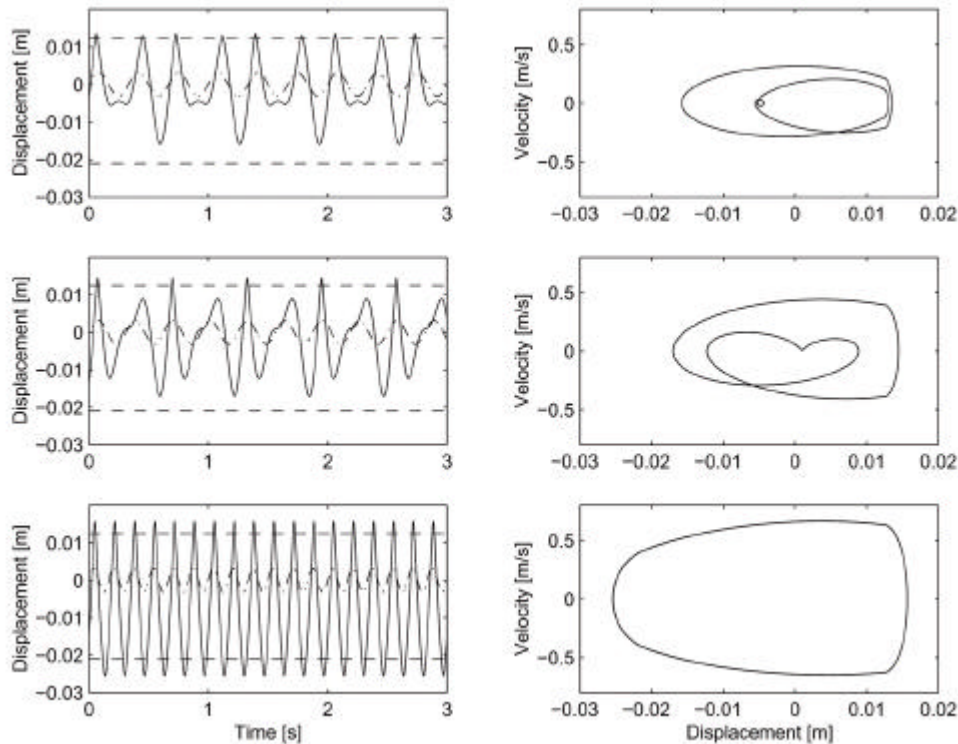
- Skapa datormodell efter tillgänglig information.
- Anpassad till krav på resultat.
- Tillåten förenkling.
- Tillgängliga resurser i form av datorkraft och personal.
- Bestämning av körfall och parametervariationer.

#### *Formulering och lösning av rörelsekvationer*

- Till stor del datorstödd process.
- Ekvationskontroll viktig för att effektivisera beräkning.
- Analytisk eller numerisk lösning.
- Numerisk instabilitet kan uppstå.

#### *Resultatpresentation*

- Tidshistorier och animeringar vanligast.
- Fasplan, bifurkationsdiagram och poincaré-plottar vid icke-linjära system.
- Interaktiva VRML-animeringar.
- Steget från tidshistoria till fasplan bra för att upptäcka icke-linjäriteter.



**Figur 4.** Tidshistorier och fasplan för periodiska rörelser av ordningen 1 (nederst), 2 och 3 (överst).

#### *Utvärdering och slutsatser*

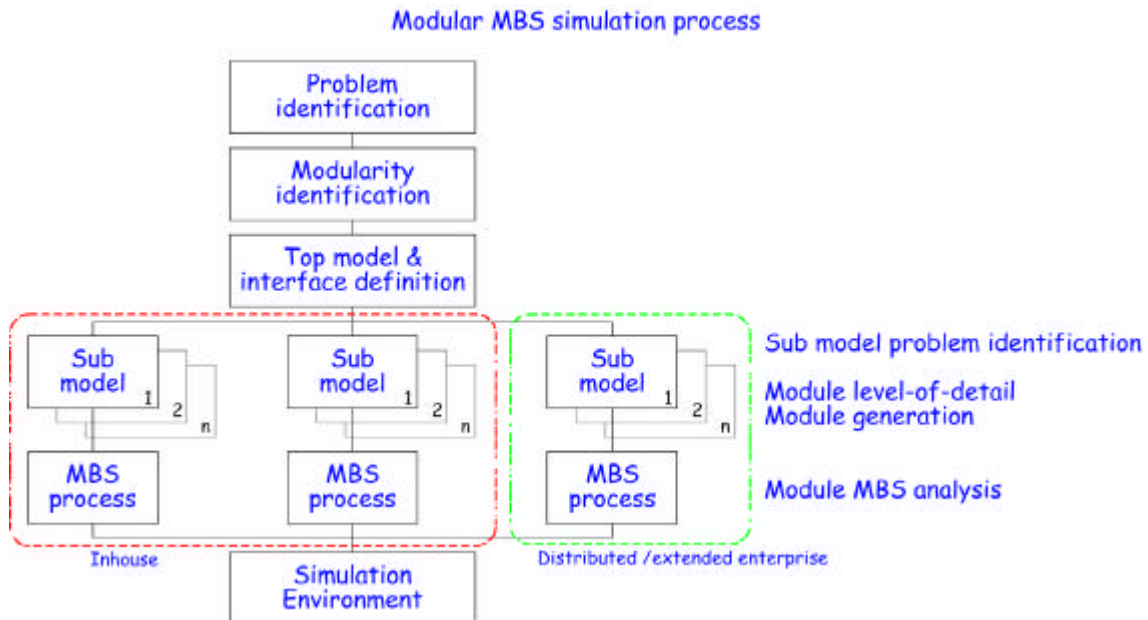
- Utvärdering i förhållande till initial problemformulering.
- Giltighetsområde och osäkerhet för resultaten.
- Är resultatet inte tillfredsställande, iterera igen?

#### **Modulär MSA**

Generellt sett är det simuleringsexperter på speciella beräkningsavdelningar som skapar simuleringsmodeller efter krav och önskemål från andra avdelningar i organisationen, till exempel från konstruktionsavdelningen. Med detta arbetssätt så går den domänkunskap som finns gällande konstruktionen förlorad då konstruktören inte själv analyserar och utvärderar sin konstruktion. Ifall simuleringsverktygen användes på så sätt att beräkningsexperten skapade en parametriserad beräkningsgrund, eller modell, och konstruktionsavdelningen fick tillgång till denna beräkningsstruktur så skulle de kunna tillämpa sin domänkunskap på den produkt de själva utvecklar.

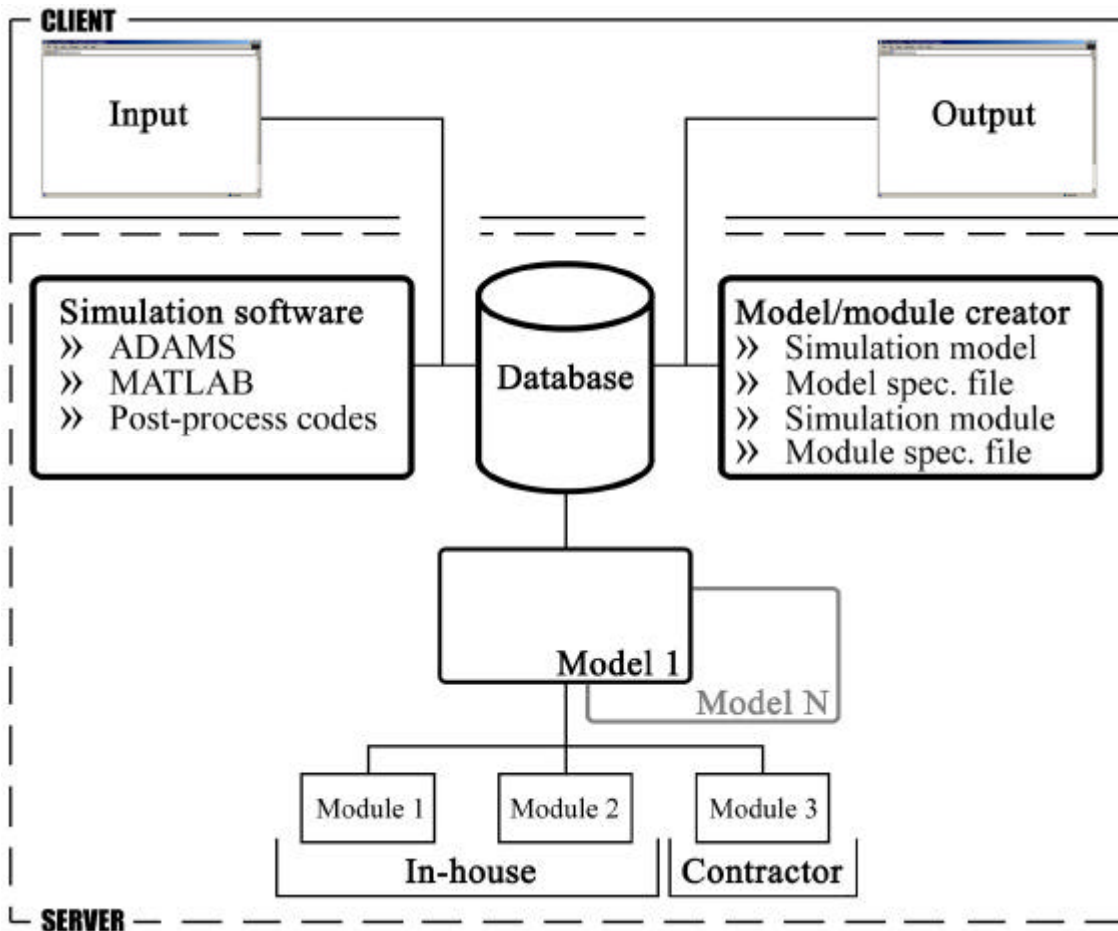
Detta angreppssätt skulle tillåta parallell utveckling av modeller, eller undermodeller. Ifall de olika undermodellerna integrerades i ett simuleringsystem där en toppmodell bestående av undermodeller kunde simuleras så skulle det vara möjligt för de delsystemansvariga att se genomslaget av sin domänändring på hela produktens totala beteende utan att känna till angränsande domäner. Detta angreppssätt kan se ut enligt Figur 5.

Efter problemidentifieringen så kommer en modulidentifiering där produktens delas upp i ett antal simuleringsmoduler med specificerade gränssnitt. De olika undermodellerna kan distribueras, både inom företaget och till underleverantörer, och den totala simuleringsmodellen hanteras som en toppmodell.



**Figur 5.** Modulär MSA.

Ett prototypsystem baserat på den föreslagna modulära MSA-metodiken har tagits fram där möjligheten för en konstruktör, och inte bara en simuleringsexpert, att göra analyser av dynamik är skapad. Simuleringsprogrammen ADAMS och MATLAB är via en databas kopplade till ett webbgörnsnitt som hanterar analyserna (Figur 6).



Figur 6. Integration av simuleringsprogram och webb.

## Sammanfattning

Arbetet beskriver simulering av dynamiska system (MSA) vid produktutveckling. Applikationerna är inom fordonsdynamik och angreppssättet har varit att identifiera MSA-processen och göra den mer effektiv genom strukturering av simuleringsaktiviteter och simuleringsmodeller. Ett förslag på modulär MSA är framtaget tillsammans med ett fungerande webbaserat prototypsystem. Prototypsystemet baseras på idén att distribuera simuleringsmöjligheter från simuleringsexpert till konstruktör.

Arbetet har utförts inom ramen för ENDREA (Swedish Engineering Design Research and Education Agenda) samt Polhemslaboratoriet vid Luleå tekniska universitet.

## Opposition i Studion

Ovanstående arbete är en sammanfattning av Tobias Larssons doktorsavhandling "Multibody Dynamic Simulation in Product Development" som presenterades i Studion (Figur 7).





*Figur 7. Tobias disputation.*

Fakultetsopponent var Professor Jan-Gunnar Persson från KTH (Figur 8).



*Figur 8. Professor Jan-Gunnar Persson, KTH.*

Studion är en multimedial miljö för produktutveckling där ingenjörer, industridesigners och produktionsutvecklare kan mötas och samarbeta oberoende av geografiskt avstånd. Tekniker för distribuerat ingenjörsarbete medför att produktutvecklingsteam kan utnyttja rätt kompetens, vid rätt tidpunkt, oavsett var denna person befinner sig. På detta sätt sparas både tid och pengar, samtidigt som förutsättningarna är goda för att produktkvaliteten ökar.

Miljön fungerar som både en fysisk och en virtuell mötesplats där man, via bredband, kan dela bland annat dokument, ljud, video och 3D-modeller. Visualiseringsväggen är 7 meter bred och 2,5 meter hög och är dessutom projicerad bakifrån, vilket gör att användarna kan interagera med väggen utan att skymma projiceringen. Väggen projiceras i tre sektioner och vid behov kan man använda hela utrymmet för att t ex visualisera en bil i fullskala, medan det vid andra tillfällen kan vara önskvärt att presentera flera olika typer av media på de olika sektionerna. Deltagarna får då tillgång till t ex videokonferens, CAD-modeller och animeringar på ett överskådligt sätt.

En avsikt med Studion är att den skall vara lättillgänglig och användarvänlig med ett integrerat system för styrning av ljud och bild. De 50 åhörarplatserna är utrustade med mikrofoner vilket gör det enklare att kommunicera och vara

delaktig även i större grupper. Deltagarna har också möjlighet att koppla in sina bärbara datorer, för att exempelvis dela med sig av dokument och filer till sina medarbetare.

Disputationen i Studion var premiär för en unik presentationsmiljö, där interaktivitet och visualisering var nyckelorden. Förutom de sedvanliga presentationsbilderna använde sig respondenten även av animeringar, VRML-objekt och webbaserade verktyg för att försvara sin avhandling. Opponenten, Professor Jan-Gunnar Persson från KTH, hade dessutom tillgång till en kombinerad skärm och skrivplatta som han använde för att förtydliga sina argument och tänkesätt med noteringar och skisser. Resultatet var en levande diskussion där den multimediala miljön bidrog till skapandet av ett gemensamt språk för såväl respondent och opponent, som för betygsnämnd och åhörare.

Studion är resultatet av ett samarbete mellan fyra olika avdelningar inom Luleå tekniska universitet - *Avdelningen för Datorstödd maskinkonstruktion*, *Avdelningen för Produktionsteknik*, *Institutionen för Arbetsvetenskap* samt *Polhemslaboratoriet*, ett forskningscenter för integrerad produktutveckling. *Kempestiftelserna* har bidragit med 8 miljoner kronor av den totala utvecklingskostnaden på 12 miljoner kronor.

## Referenser

Larsson, T. (2001), *Multibody Dynamic Simulation in Product Development*, Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet, ISSN: 1402-1544.

## English summary

Efforts have been made to clarify how computer tools and multibody dynamic analysis methods are used in product development in industry today. Insight into the knowledge domains of product development and multibody dynamics is given together with an introduction to the areas of distributed simulation, modularisation techniques and non-linear analysis. The mentioned domains have traditionally been separated but the introduction of concurrent engineering and faster computers puts new demands on the need for integration of computer support and analysis in the development process. The performed work is to be seen as cross-functional work in order to bring different domains together for the sake of a better total product development. The application areas used in the work are all within vehicle system dynamics. Clarification of the multibody dynamic simulation methodology has been made in the performed work. A proposal for performing the multibody dynamics methodology in a distributed and modular way in the product development process is given together with a prototype implementation. The prototype system facilitates the idea of distributing analysis possibilities from simulation experts to engineers, hereby increasing the simulation usage in product

development. The purpose is to arrive at a simulation driven design rather than a simulation verified design.