

CAD/kunskapssystem inom el- och maskinkonstruktion

MDA-PROJEKT NR 4

Förändringar i den internationella marknadssituationen medför krav på snabbare och mer välfungerande produktutveckling i industrin. CAD-system och konsultationssystem är viktiga hjälpmedel för att effektivisera utvecklingsarbetet.

Mandeco-projektet har undersökt hur CAD-systemen påverkar konstruktionsarbetet och vilken inverkan CAD-arbetet har på konstruktörens yrkesroll och arbetsförhållanden. CAD-systemen är idag väl etablerade i de undersökta industriföretagen.

Projektet har också följt införandet av ett stödverktyg, DFA-metoden, (Design for Assembly), i industriell produktutveckling. Resultaten visar att DFA-metoden medverkar till utveckling av produkter som är enklare att montera och till ökad samverkan mellan konstruktörer och produktionstekniker.

Institutionen för maskinelement, KTH och Psykologiska institutionen, Stockholms universitet har genomfört projektet.

Konstruktionsarbetet inom industriföretag har under 1980-talet genomgått stora förändringar då olika datorhjälpmedel och andra stödmeter har införts i arbetet. En hårdnande konkurrens ställer krav på snabbare och effektivare produktutveckling. Denna förändringsprocess förväntas fortsätta under 1990-talet.

Fler företag kommer att införa datorer i konstruktionsarbetet, systemens användningsområde kommer att vidgas och nya system kommer att finnas tillgängliga. Andra viktiga medel för effektivare produktutveckling är bättre kommunikation och nya stödmeter i konstruktionsarbetet.

SAMSPEL MELLAN MÄNNISKA OCH DATOR
Mandeco-projektets syfte är att beskriva och analysera inverkan av CAD (Computer Aided Design) och konsultationssystem på konstruktörernas yrkeskompetens och yrkesroll samt på kunskapsöverföring och hälsoaspekter i konstruktionsprocessen. Dessa frågor har studerats ur såväl teknisk som humanvetenskaplig synvinkel. Mål för projektet är att medverka till att konstruktörernas kunskaper och

färdigheter tas tillvara på ett optimalt sätt i konstruktionsprocessen, bidra till en bra slutprodukt samt främja en yrkesmässig och personlig utveckling hos individen.

Projektarbetet har utförts i samarbete med industriföretag som har flerårig erfarenhet av CAD och som utvecklar produkter innehållande både mekanik- och elektronikfunktioner. Sex delstudier har genomförts inom projektet. Tre studier har undersökt CAD-systemens inverkan på konstruktionsarbetet och tre studier har inriktats på konsultationsstöd för tillverkningsvänliga produkter.

KONSTRUKTÖRENS ARBETE

I den inledande studien genomfördes explorativa intervjuer vid sju företag. Intervjuerna omfattade åtta konstruktörer och åtta systemansvariga inom områdena mekanikkonstruktion och mönsterkorts-layout.

Erfarenheterna av CAD-konstruktion var positiva och man planerade för ökad användning av systemen. Fördelar med CAD-konstruktion är att vissa arbetsmoment kan genomföras snabbare, större

noggrannhet i ritningsunderlaget, större möjligheter att utveckla mer komplexa produkter och att slutprodukten ofta är bättre optimerad efter införande av CAD. Systemen medverkar därigenom till högre kvalitet i produktens konstruktion och till att tillverkningen underlättas.

I de undersökta företagen förekommer endast i mycket begränsad utsträckning elektronisk dataöverföring av konstruktioner från CAD till produktionsberedning. Denna överföring har hittills haft karaktär av försöksverksamhet. Införande av CAD i konstruktionsarbetet har inneburit stora förändringar i hur den enskilde konstruktören organiserar sitt eget arbete. Däremot är arbetsuppgifterna oförändrade. CAD-systemen har inte heller påverkat arbetets organisation inom arbetsgruppen eller mellan olika grupper och avdelningar.

Intervjupersonerna upplever att CAD-konstruktion är mer stimulerande, ger större handlingsfrihet i eget arbete, större inflytande och underlättar provning av nya idéer. Några intervjupersoner anser att CAD underlättar nyskapandet, medan andra anser att CAD-systemen kan verka hämmande genom krav på stor koncentration och uppmärksamhet.

Nackdelar som framfördes var alltför stort beroende av CAD-systemen och störningar vid driftsavbrott. Prestanda för dator och programvaror är kritiska faktorer i detta avseende. Behovet att investera i mer kraftfulla datorer är stort.

Ögontrötthet och isolering i samband med CAD-arbete rapporterades av ett par intervjupersoner som nackdelar vid CAD-konstruktion.

ARBETSSINNEHÅLL

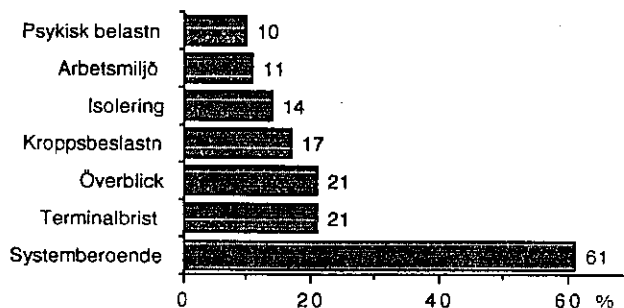
En delstudie i projektet omfattade 128 deltagare från konstruktionsavdelningarna vid tre företag med omfattande användning av CAD. Studien genomfördes med enkäter och intervjuer.

Användningen av CAD i konstruktionsarbetet är väl etablerat i undersökningsföretagen. Cirka två tredjedelar av personalen på konstruktionsavdelningarna utför sitt arbete med CAD och man planerar för att alla skall övergå till CAD-konstruktion inom de närmaste åren. Av CAD-användarna har 90 % en positiv inställning till att utföra konstruktionsarbetet med hjälp av CAD-system.

Ritarbete utförs till cirka 70 % med hjälp av CAD-system vid de undersökta konstruktionsavdelningarna. Inom mönsterkortslayout utförs ritarbete nästan uteslutande med CAD, medan inom mekanik- och schemakonstruktion används CAD i något mindre utsträckning.

Problemlösning genomförs till cirka 30 % med stöd av CAD. I övriga arbetsaktiviteter används CAD endast i begränsad omfattning.

Lättare att göra ändringar och varianter, snabbare konstruktionsarbete, större möjligheter till mer komplexa konstruktioner, mindre fel och enklare måttsättning är de fördelar som är mest uppskattade av CAD-användarna. Den dominerande nackdelen med CAD-arbete är alltför stort systemberoende, figur 1.



Figur 1. Olika nackdelar vid CAD-konstruktion. Frekvens CAD-användare som anger att respektive nackdel förekommer i "i hög grad" eller "i mycket hög grad".

Systemberoende orsakas framför allt av överbelastning i systemen, vilket medför att CAD-arbetet blir trögt och långsamt. Av CAD-användarna störs två tredjedelar ofta av denna typ av besvär. Andra driftsstörningar, t ex driftsavbrott, att systemet saknar funktioner, att kommandon är svåra att utföra och att information från systemen är svår att förstå är problem vid användning av CAD-systemen som besvärar cirka en tredjedel av användarna.

En orsak till överbelastning i systemen är otillräcklig datorkapacitet då man börjar använda mer avancerade funktioner, t ex övergår från att rita i två dimensioner till att arbeta med tredimensionella modeller. En slutsats är att CAD-anläggningens kapacitet måste ges hög prioritet redan vid första installationen för att möjliggöra ett rationellt konstruktionsarbete.

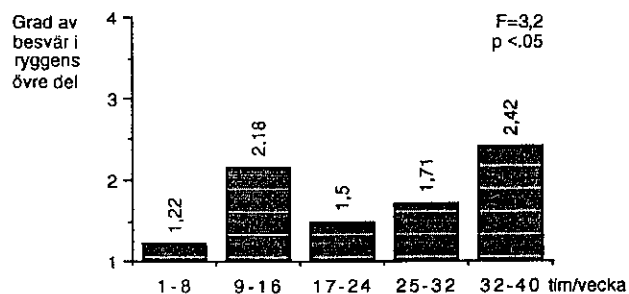
Undersökningen har också omfattat psykosociala arbetsmiljöfaktorer, såsom arbetskrav, handlingsutrymme i arbetet, socialt stöd, trivsel och personlig utveckling. Det finns inga skillnader i dessa faktorer mellan CAD-användare och icke CAD-användare.

CAD-användare med lång CAD-arbetstid per vecka har mindre komplexitet i arbetsuppgifterna och mindre frihet vid val av arbetsmetoder än CAD-användare med kortare CAD-arbetstid. Resultaten indikerar att CAD-arbete bör kombineras med andra slag av arbetsuppgifter som inte utförs vid dator för att konstruktionsarbetet skall erbjuda en god psykosocial arbetsmiljö för den anställde.

HÄLSOASPEKTER

En del av enkät- och intervjustudien omfattade hälsoaspekter i konstruktionsarbetet, speciellt med inriktning på hur CAD-arbetet påverkar användarnas hälsa. Resultaten visar inga statistiskt säkerställda skillnader mellan CAD-användare och icke CAD-användare i de undersökta hälsovariablerna; muskel- och ledbesvär, ögonbesvär, hudbesvär, stressrelaterade psykiska symtom, eller psykiska och psykosomatiska besvär. Konstruktörerna rapporterar ungefär samma grad av besvär som redovisas i andra undersökningar av grupper med självständiga och varierande arbetsuppgifter, t ex journalister och programmerare.

Resultaten visar på samband mellan grad av besvär i några hälsovariabler och tid vid CAD-arbetsplatsen. Besvär i händer och handleder, i ryggens övre del och hudbesvär är större vid längre CAD-arbetsstid. Det är framför allt gruppen som arbetar mer än 32 tim/vecka med CAD som visar en större besvärsgrad än övriga grupper, vilket i stor utsträckning förklarar de ovan nämnda sambanden, figur 2.



Figur 2. Samband mellan grad av besvär i ryggens övre del (skalvärde 1-5) och CAD-arbetsstid.

CAD-användare som upplever större svårigheter i att hantera CAD-systemet redovisar större grad av besvär i armbågar, ryggens övre del och hud. Också CAD-användare som upplever mindre kamratstöd rapporterar större grad av besvär i armbågar, nacke och hud.

En slutsats av undersökningsresultaten är att CAD-arbete i genomsnitt bör begränsas till högst 75 % av den totala arbetstiden. Undersökningen visar också på betydelsen av god utbildning och bra stöd på arbetsplatsen för att minimera hälsoriskerna för användaren. Också för att underlätta arbetet med CAD-systemen och effektiviteten i CAD-arbetet är detta av stor betydelse.

KONSTRUKTION FÖR ENKEL OCH EFFEKTIV TILLVERKNING

En litteraturinventering har genomförts för att kartlägga olika modeller av konstruktionsprocessen och

olika stödmeter för konstruktion av tillverkningsvänliga produkter. Erfarenheter från praktiskt konstruktionsarbete av dessa modeller och stödmeter saknas i stor utsträckning i den genomgångna litteraturen.

Ett övergripande begrepp för stödmeter är DFM, Design for Manufacture. Det står för konstruktion med hänsyn till effektiv tillverkning. Ett antal metoder finns utvecklade som kan ge konstruktören stöd i strävan att konstruera för enkel tillverkning.

Några av dessa metoder innehåller tumregler, guidelines, vilka ger konstruktören råd i arbetet att konstruera tillverkningsvänligt. Metoderna kan liknas vid traditionella konstruktionsregler, exempel på detta slag av metoder är Design Axioms och DFM Guidelines.

Andra metoder är mer konkret analyserande – till exempel DFA-metoden (Design for Assembly) enligt Boothroyd & Dewhurst. DFA stöder konstruktören i att minska antalet delar i konstruktionen samt att göra delarna lätta att hantera och montera. Systematiskt analyseras varje ingående del med avseende på tidsåtgång samt om den är nödvändig i konstruktionen.

LABORATORIESTUDIE – DFM-METODERS INVERKAN PÅ KONSTRUKTIONSLÖSNINGAR

Ett laboratorieexperiment har utförts i projektet för att jämföra DFM Guidelines och DFA-metoden. Ett annat syfte var att pröva en försöksuppläggning för studier av stödmeter i konstruktionsarbete. Försökspersoner var teknologer från sista årskursen i utbildningen.

Halva försöksgruppen löste en konstruktionsuppgift med stöd av DFA, den andra halvan av gruppen genomförde samma uppgift med stöd av DFM Guidelines. DFA är som tidigare nämnts en systematisk analysmetod som ger ett numeriskt mått på en konstruktions monteringsvänlighet. DFM Guidelines består av tretton tumregler byggda på erfarenhet, som kan/bör beaktas vid konstruktion. Konstruktionslösningarna värderades med avseende på olika kriterier.

Resultaten visar att DFA ger signifikant större effekt än DFM Guidelines beträffande reduktion av antalet detaljer. Även reduktion av monteringsstid gynnas av DFA och ingående delar har en högre grad av multifunktionalitet.

Det fanns en tendens att DFM Guidelines gav en något bättre tillverknings effektivitet än DFA vid små serier, medan DFA verkar vara gynnsammare vid stora serier. Sambanden mellan stödmeter och tillverkningskostnad behöver klarläggas i ytterligare studier.

Beträffande inverkan på funktionalitet och kreativitet erhöles inga skillnader mellan lösningarna. Vid både DFA och DFM Guidelines var funktionskraven uppfyllda i hög grad, medan kreativiteten i lösningarna var måttlig vid båda metoderna.

Laboratoriestudiens uppläggning visade sig, efter mindre modifieringar, vara en användbar design för att studera olika stödmetoder i konstruktionsarbete. En erfarenhet av experimentet är att produktens seriestorlek har en avgörande betydelse för resultaten.

DFA-METODEN I PRAKTISKT KONSTRUKTIONSBETE

Införandet av DFA i praktiskt produktutvecklingsarbete inom ett företag har följts under en period av ca två år. Genom intervjuer med projektansvariga, konstruktörer och produktionstekniker har DFA-metodens inverkan på konstruktionsarbetet undersökts.

Användning av DFA-metoden har för samtliga deltagare inletts med en till tre dagars utbildning i metoden. Sedan har ett antal analyser utförts under det fortsatta utvecklingsarbetet.

Såväl konstruktörer som produktionstekniker har visat ett stort intresse för DFA – en genomgående positiv attityd finns till metoden. Den bedöms nu vara ett accepterat hjälpmedel i produktutveckling.

Resultaten visar att DFA-metoden kan användas på fyra olika sätt i ett företag:

- DFA som tankesätt
- DFA för analys av monteringssegenskaper
- DFA för produktgranskning
- DFA som stöd för samverkan

En noggrann genomgång av DFA-metoden påverkar konstruktörens problemlösning vid fortsatt arbete även om praktiska analyser ej utförs i pågående projekt. DFA har en gynnsam inverkan på konstruktionsarbetet och kan vara utvecklande för konstruktören trots endast teoretisk introduktion i metoden.

Ett av DFA-metodens syften är att ge konkret stöd i att minska antalet detaljer i konstruktionerna samt att göra komponenterna gynnsamma att montera. DFA har medverkat till enklare lösningar, färre komponenter och kortare monteringsstid i de studerade projekten. Metoden passar bra för finmekaniska och elektroniska produkter med hög precision.

Genom att DFA-analysen är en form av konstruktionsgranskning ger den även andra effekter på produkten som ej är direkt relaterade till montering. Speciellt om analysen utförs i grupp stimulerar

DFA kreativitet och idégenerering. Den systematiska genomgången av varje del kan ge upphov till nya lösningar beträffande produktens funktion och detaljtillverkning.

En annan fördel med DFA är att metoden gynnar samverkan, speciellt mellan konstruktion och produktion. DFA har fungerat som ett opartiskt, gemensamt språk mellan de båda disciplinerna. Detta är en av DFA-metodens största fördelar – kommunikationen har ändrat innehåll och fått högre kvalitet.

Resultaten visar att störst nytta av DFA fås vid nyutveckling av komplexa produkter med många detaljer. DFA bör användas så tidigt som möjligt i utvecklingsarbetet. DFA är även lämpligt vid större produktvårdsprojekt, där ekonomiska jämförelser före och efter omkonstruktion också låter sig göras.

Användningen har i stort gått bra, det är lätt att förstå och tillämpa metoden. Metoden ger mycket likartade bedömningar av olika personer. Användarna uppskattar systematiken, att inga delar glöms bort och att det går snabbt att få resultat. Dock påpekas att DFA endast stöder en liten del av utvecklingsarbetet och att den totala tillverkningsökningen måste beaktas och stödjas med kompletterande metoder.

Mandeco-projektets resultat visar att CAD är ett etablerat hjälpmedel i produktutvecklingsarbetet. För att ytterligare öka effektiviteten i utvecklingsarbetet erfordras även andra slag av stöd. Fortsatta studier inom projektet kommer att omfatta inverkan av DFA och andra stödmetoder på konstruktionsarbetet, den anställda och produkten.

RAPPORTER

Norell, M., & Hovmark, S. (1989). *Konstruktörens arbete och CAD-användning: en pilotstudie inom mekanik- och elektronikkonstruktion*, (rapport TRITA-MAE-1989:3). Stockholm: KTH, Institutionen för maskinelement.

Hovmark, S., & Norell, M. (1990). *Hälsoaspekter i konstruktionsarbete: CAD-arbete och dess inverkan på användarnas hälsa*, (rapporter, nr 57). Stockholms universitet: Psykologiska institutionen.

Norell, M., & Hovmark, S. (1990). *Konstruktionsprocessen och konsultationsstöd för tillverkningsvänliga produkter: en forskningsöversikt*, (rapport TRITA-MAE-1990:2). Stockholm: KTH, Institutionen för maskinelement.

Hovmark, S., & Norell, M. (1990). *Arbetsinnehåll och datoranvändning i konstruktionsarbete: CAD-arbete och dess inverkan på konstruktörens arbetsförhållanden*, (rapporter nr 58). Stockholms universitet: Psykologiska institutionen.

Norell, M., & Hovmark, S. (1990). *Två DFM-metoders inverkan på konstruktionslösningar: ett pilotförsök*, (rapport TRITA-MAE-1990:11). Stockholm: KTH, Institutionen för maskinelement.

Hovmark, S., & Norell, M. (1991, under utgivning). *DFA-metoden i industriell produktutveckling: en fallstudie av införande och användning*, (rapport

TRITA-MAE-1991:3). Stockholm: KTH, Institutionen för maskinelement.

Rapporterna kan beställas från Psykologiska institutionen, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel 08-16 39 43 eller Inst för maskinelement, 100 44 Stockholm, tel 08-790 80 68.

För innehållet i sammanfattningen svarar

Svante Hovmark, Psykologiska institutionen, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel 08-16 39 43
och Margareta Norell, Institutionen för maskinelement, Kungl Tekniska Högskolan,
100 44 Stockholm, tel 08-790 80 68.

Pnr 090-547 Arbetslivsforskning, psykosociala problemområden, allmänt (60) April 1991

Arbetsmiljöfonden

BESÖKSADRESS Olof Palmes Gata 31 PLAN 3
POSTADRESS Box 1122 111 81 STOCKHOLM
TELEFON 08-796 47 00 TELEFAX 08-791 85 90