

Systemanalys, ett nödvändigt instrument för den moderna materialvalsforskningen

Georg Soronis

Konstruktionslära KTH

Vid projekteringen av tekniska konstruktioner har man traditionellt valt material på schablonmässiga grunder. Man vill endast laborera med ett fåtal enkla välbeprövade material som projektörerna kan "lita på" när det gäller egenskaper, priser etc. Ett sådant sätt att välja material tenderar att bli statiskt och konservativt. Det är lätt att förbise viktiga egenskaper hos materialet och materialvalet blir mycket sällan optimalt. Därför är det nödvändigt att på ett tidigt stadium i projekteringsarbetet införa ett systematiskt tänkande och en användbar metodik som ger möjligheter till materialvalsoptimering. Detta tillsammans med en måttlig arbetsinsats kan leda till en ökad användning av nya material som bättre motsvarar projektörernas speciella önskemål. Även andra viktiga faktorer som t ex ekonomi, livslängd, beständighet, hälsorisker etc kan på detta sätt, i större utsträckning än hittills, styra materialvalet.

Forskningen inom de tekniska vetenskaperna har på senare tid inriktats på att sammanställa kunskap och information inom ett visst område till en helhetsbild. Detta har blivit speciellt fokuserat på grund av den expansiva utvecklingen inom informationsteknologin.

Till skillnad från traditionell vetenskap där syftet med utforskningen av ett speciellt objekt är att få så mycket kunskap och information som möjligt, är man vid komplexa materialvalssystem ofta tvungen att förenkla och systematisera tillgänglig information (fig 1). De teoretiska grunderna för en sådan systematisering hör normalt till principerna för praktisk filosofi och är komplexa och svåra att överblicka för forskare inom de tekniska vetenskaperna. Det är emellertid nödvändigt för teknikern som kommer att forska inom materialvalsmetodiken att göra sig bekant med de filosofiska principerna i ämnet för att lättare kunna tillgodogöra sig senare tillämpbar systemanalytisk information.

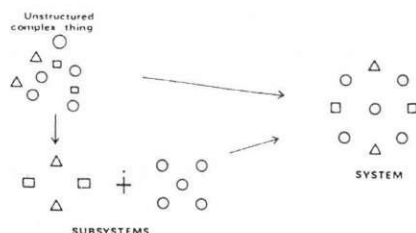


Fig 1: Strukturerat och ostrukturerat system enligt M Bunge (1)

I systemanalys utgår man alltid från ett syfte. Därefter är det viktigt att formulera problemet med precisa operationella termer på ett sätt som stämmer med syftet. Det är därför vanligt att två system som beskriver samma problem ser annorlunda ut beroende på vem det är som utför analysen (fig 2). Det primära i sammanhanget är syftet och ej den uppsatta systemstrukturen.



Fig 2. Systembeskrivningar av ekvivalenta system enligt M Bunge (1)

Systemanalys är inte en väl formulerad vetenskaplig analys. Metoderna att behandla system inom systemanalysen är långt ifrån självklara och känns inte naturliga för dem som är vana att lösa problem på ett strikt sätt, nämligen det som de är mest förtrogna med och som i de flesta fall, inom de tekniska vetenskaperna, är de "kvadratiska" matematiska metoderna. Systemanalysen stör ofta de vanliga mentala processerna vid forskningen och leder till möjligheter med helt nya sätt att tänka.

Jag kommer här att översiktligt behandla systemanalysens grunder och använder materialvalstekniken som studieobjekt. Syftet med detta är att på ett översiktligt sätt beskriva det systemanalytiska tänkandet som är nödvändigt för att kunna förstå principerna och begreppen inom materialvals-

metodikerna samt även ge andra, icke fackmän, en vidare syn på systemanalysen och dess möjligheter inom den vetenskapliga forskningen.

Nedan anges några begreppsdefinitioner med vilka man kan göra en indelning inom systemanalysen:

- 1) *Systemanalys* är ett övergripande begrepp som innefattar allt från ett mer filosofiskt synsätt till teorier om system och deras egenskaper och metoder att bearbeta olika system.
- 2) *Systemteori* är den teori som behandlar system och deras egenskaper.
- 3) *Systemmetodik* behandlar den allmänna arbetsmetodiken och de metoder som används inom systemvetenskaperna. Problemdefinition, modelluppbyggnad, datainsamling, tester, simulering och andra viktiga forskningsmoment hör till systemmetodiken.

Till systemmetodiken hör även operationsanalytiska metoder som är en typ av nätverksplanering för linjär, dynamisk datorprogrammering. Dessa metoder används ofta för att kunna hantera stora planeringssystem för omfattande tekniska objekt. CPA (Critical Path Analysis) är en sådan metod som används inom entreprenadverksamheten för att tidsmässigt optimera de olika aktiviteterna i ett stort projekt.

2. Systemteori

2.1 Allmänt

Med begreppet system menas här en mängd olika komponenter som tillsammans bildar en helhet. Komponenterna har många olika egenskaper och påverkar varandra efter bestämda regler. Systemets egenskaper återfinns oftast inte hos de enskilda komponenterna utan kan studeras utifrån den struktur som komponenterna bildar.

För att lättare kunna belysa systemteoriens grunder har jag valt att jämföra två olika system, som hänför sig till materialvalsområdet men med olika förutsättningar och för olika tekniska ändamål. Syftet med jämförelsen är dels att studera systemteoriens allmängiltighet på olika tekniska strukturer och dels att visa nödvändigheten av att använda systemteori inom materialvalsforskningen där förutsättningar, egenskaper, resultat etc ej är så strikt definierade som i andra tekniska vetenskapsområden.

Första exemplet (fig 3) beskriver ett system med anknytning till min tidigare forskning inom materialteknologin och syftar till livslängdsuppskattningar och materialval för värmekraftskonstruktioner med fokusering på problematiken angående varmhållfasthet i cylindriska skal och rörsystem. Resultat från denna forskning har jag publicerat i *Creep life assessment in cylindrical shells with variable thickness under internal pressure and subjected to relaxation* (ref 3).

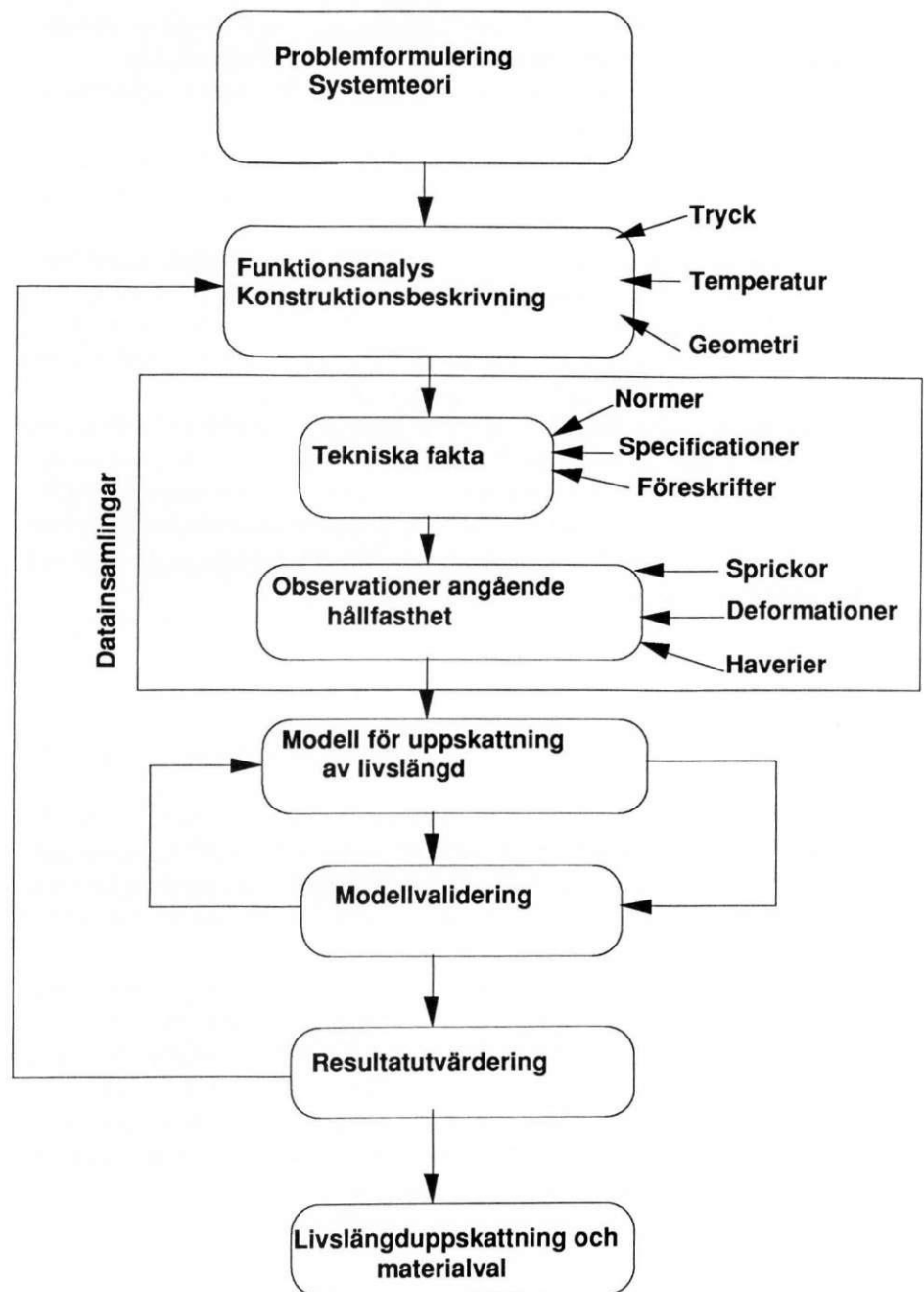


Fig 3. Systemanalys för uppskattning av livslängd och materialval i cylindriska skal och rörsystem i högttemperaturanläggningar.

Huvudsyftet med denna forskning var att konstruera en modell för livslängduppskattning och materialval för cylindriska skal och rörsystem under inre tryck och med varierande tjocklek. I figur 3 beskriver jag den systemanalytiska utformningen av mitt arbete som grovt bestod i följande moment:

- Problemformulering och beskrivning av problemet i systemteoretiska termer.
- Beskrivning och funktionsanalys av den studerade konstruktionen där faktorer som t ex konstruktionsgeometri, tryck och temperatur noggrant studerades.
- Datainsamlingar i form av tekniska fakta angående normer, specifikationer, föreskrifter och tidigare använda beräkningsmetoder.
- Datainsamlingar i form av observationer i olika rörsystem som t ex sprickförhållanden, deformationer och haverier.
- Konstruktion av en matematisk modell för att simulera de tidsberoende deformationerna i cylindriska skal och rörsystem med varierande tjockleksförhållanden under antagande om konstant längd deformation (relaxation).
- Validering och anpassning av beräkningsmodellen till fakta från tidigare observationer.
- Resultatutvärdering för att kontrollera att utstorheterna från beräkningsmodellen faller inom mitt intresseområde.
- Sammanställning av det systemanalytiska förfarandet i enkla termer så att modellen skall kunna användas även av icke forskare och icke fackmän.

Det andra exemplet (fig 4) beskriver ett system med anknytning till min pågående forskning inom materialteknologin och syftar till materialval med hänsyn till beständighet i byggnaders utvändiga ytskikt med fokusering på främst taktäckningsmaterial. Resultat av denna forskning kommer jag att publicera under hösten 1990 i en rapport med titeln *En modell för materialval och materialvalsoptimering med hänsyn till beständighet hos taktäckningsmaterial*.

Huvudsyftet med min pågående forskning är att konstruera en modell för materialval och materialvalsoptimering med hänsyn till beständighet. Modellen är avsett att användas av praktiserande arkitekter/projektörer i byggnadsprojekteringens tidiga skeden. I figur 4 beskriver jag den systemanalytiska utformningen av mitt arbete som grovt består av följande moment:

- Problemformulering och beskrivning av problemet i systemteoretiska termer.
- Beskrivning av konstruktionens funktionsanalys och grovsällning av material enligt de givna funktionerna.

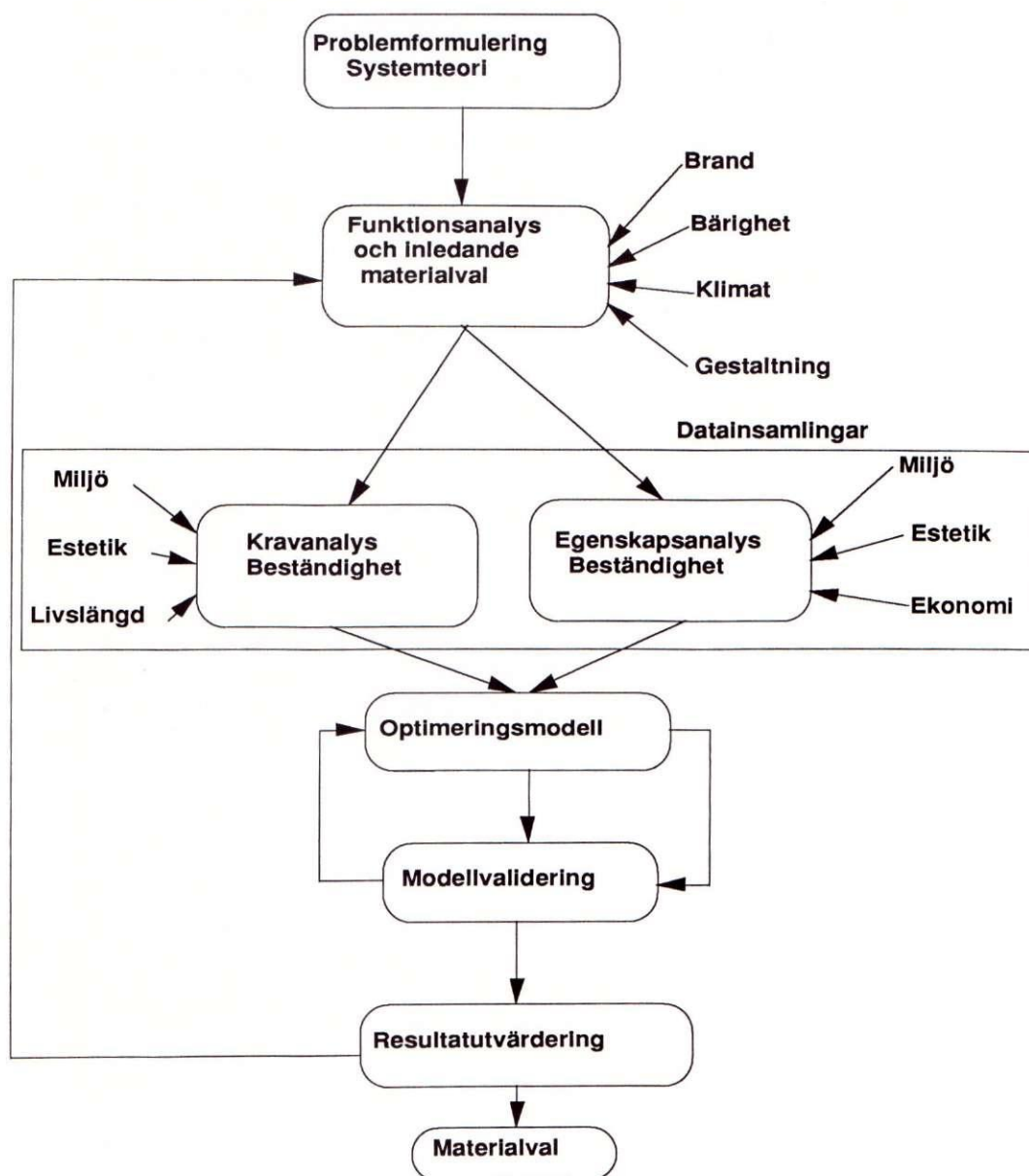


Fig 4. Systemanalys för materialval med avseende på beständigheten i byggnaders yttre ytskikt.

- Datainsamlingar i form av kravanalyser med hänsyn till den omgivande miljön, estetiken och livslängden hos de olika ytskiktmaterialen.
- Datainsamlingar i form av egenskapsanalyser för olika material.
- Konstruktion av en matematisk modell för materialvalsoptimering.
- Validering och anpassning av beräkningsmodellen till fakta och observationer från tidigare datainsamlingar.
- Resultatutvärdering för att kontrollera att det valda materialet är lämpligt i mitt speciella fall. Om det inte är så måste jag anpassa instorheterna och börja om igen.
- Sammanställning av det systematiska förfarandet så att modellen kan användas av praktiserande arkitekter och andra projektörer.

Som det framgår av de två systembeskrivningarna har jag genom systemanalysen fått ett instrument för att kunna hantera system som innehåller oändliga mängder av information och relationer. Detta sker genom ett systematiskt och hierarkiskt förfarande enligt figur 3 och 4. Utifrån kunskaperna i dessa system konstruerar jag en modell som fungerar som ett arbetsverktyg i systemet. Modellens konstruktion och betydelse kommer jag att diskutera senare.

2.2 Systembeskrivning

Ett system kan beskrivas antingen genom en *intern* eller en *extern beskrivning*. Med den interna beskrivningen menas att man studerar den strukturella uppbyggnaden av systemet och med den externa beskrivningen menas att man studerar systemet utifrån som en helhet och man intresserar sig endast för hur systemet beter sig och påverkas.

I mina system (fig 3 och 4) använde jag den interna beskrivningen för att lättare kunna arbeta med systemutvecklingen. När mina system har visat sig fungera tillfredställande använde jag den externa beskrivningen för att underlätta systemarbetet och lägga vikten vid systemets egenskaper.

System kan beskrivas i *form av schema* (fig 3 och 4) där man tydligt markerar de olika komponenterna och de viktiga relationerna. System kan även återges i abstrakta *matematiska beskrivningar*. I praktiken innehåller stora system båda beskrivningsformerna så som är fallet i mina tidigare beskrivna system.

De stora fördelarna med att använda matematiska beskrivningar är att varje relation beskrivs med en ekvation. Alla ekvationerna tillsammans bildar ett ekvationssystem som löses antingen manuellt eller med hjälp av dator. Är alla samband kända är det möjligt att ställa upp ekvationssystemet. Om så ej är fallet, måste man tillsammans med den matematiska beskrivningen även använda beskrivningar i form av schema så som jag har gjort i mina materialvalsmodeller.

De manuella lösningarna kan endast användas i mindre system. Fördelen med dessa är att de ger en bättre förståelse av systemen. Datorbaserade system är ofta lätta att använda i mycket komplexa fall men nackdelen är att man lätt tappar insyn och förståelse av systemets beteende i olika komplicerade fall. Materialvalssystemet enligt figur 4 är ett system som är konstruerat att kunna behandlas både manuellt och med hjälp av dator i motsats till systemet i figur 3 som på grund av sin komplexitet endast är lämpat för datorbehandling.

2.3 Systemklassificering

Ofta måste man arbeta med system där relationerna och sambanden mellan systemets komponenter och omgivningen beter sig på olika sätt. Avbildningen av de olika typerna av samband sker genom en systemklassificering efter vissa relevanta egenskaper.

Med *det tidskontinuerliga systemet* menas ett system som är uppbyggt efter den mänskliga uppfattningen av tiden som en kontinuerlig process. Systemet i figur 3 är ett typiskt tidskontinuerligt system där man beskriver livsförloppet i de cylindriska skalerna och rörsystemen som en tidskontinuerlig händelse. I *det tidsdiskreta systemet* betraktar man endast vissa bestämda tidpunkter då systemet ändrar sitt tillstånd. Systemet i figur 4 är ett sådant system. Där är jag endast intresserad av vissa konkreta tidpunkter under konstruktionens livslängd, som till exempel tider för ommålning, reparation eller utbyte av material. Tidsintervallen är för mig mindre intressanta och påverkar ej materialvalsoptimeringen.

De statiska systemen och deras egenskaper är oberoende av systemens förhistoria. Med andra ord, systemen saknar "minne". *Ett dynamiskt systems* uppförande beror ej endast av hur systemet påverkas just nu utan är även beroende av vad som har hänt förut. Ett dynamiskt system har alltså "minne". Mina båda system (fig 3 och 4) är dynamiska system eftersom tidigare resultat av systemen kan stå till grund för framställning av nya resultat i senare systemanvändning. Andra exempel som redan är bekanta för arkitekter och andra projektörer är de statiska och dynamiska mekanikmodellerna.

Ett deterministiskt system innehåller inga komponenter eller relationer som är beroende av slumpen. Systemet enligt figur 3 är närmast ett sådant system där instorheterna behandlas efter bestämda regler, matematiska eller systemanalytiska, och som inte innehåller några slumpmässiga element. *Det stokastiska systemet* innehåller element, variabler och relationer som är beroende av slumpen. Materialvalssystemet enligt figur 4 är närmast ett stokastiskt system som innehåller många slumpmässiga moment

som till exempel de uppskattningar som ingår i systemets optimeringsdelar.

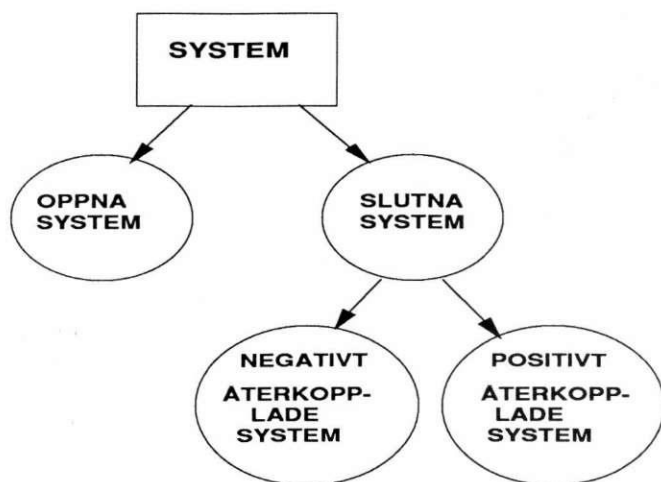
Med *linjära system* menas system där alla relationer och samband kan beskrivas grafiskt med enbart räta linjer. Systemet enligt figur 4 är ett sådant system där alla samband har en linjär karaktär i motsats till systemet enligt figur 3 som innehåller linjer av högre matematisk ordning som t ex kvadratiske och kubiska funktioner och som därför är ett *olinjärt system*.

2.4 Systemets struktur

Det mest karakteristiska för ett system är att det innehåller egenskaper som ej ingår i de enskilda komponenternas egenskaper. Det går alltså inte att studera ett helt systems egenskaper endast genom att betrakta de enskilda komponenternas egenskaper. Systemet i sin helhet, dess egenskaper och beteende, bestäms av systemets struktur. Systemets struktur kan utformas så att det passar många ämnesområden. Detta kan man konstatera genom att studera strukturerna på systemen i figur 3 och 4. Här använde man, i princip, samma systemstruktur för två helt skilda områden av materialval.

Systemets "impulser" utifrån kallas för *instorheter* eller *insignaler*. Dessa motsvaras i mitt system i figur 3 med indata-pilarna för till exempel tryck, temperatur, geometri och i figur 4 pilarna för miljö, estetik, livslängd etc. I motsats till detta är *utstorheter* eller *utsignaler* de resultat som systemet är konstruerat att ge.

Med *öppna system* betecknar man sådana system där utstorheterna inte påverkar systemet. I *slutna system* kan utstorheterna påverka systemet och



Figur 5. Strukturklassificering av ett system.

systemets relationer. Systemen i figur 3 och 4 är slutna system eftersom resultatet på båda systemen återförs på och påverkar systemets beteende.

Slutna system innehåller oftast en eller flera *återkopplingar* där erhållen information på någon nivå i systemet återförs som indata till tidigare steg i systemet. Exempel på en systemåterkoppling kan studeras i figur 3 och 4 och betecknar förbindelselinjer mellan nivåerna för resultatutvärdering och funktionsanalys. Den *negativa återkopplingen* strävar alltid mot ett bestämt mål utan att förändra systemets struktur medan den *positiva återkopplingen* skapar tillväxt i systemet. Systemen i figur 3 och 4 har endast negativa återkopplingar eftersom man strävar mot bestämda mål, det vill säga livslängd och materialval, utan att på något sätt förändra systemets struktur.

3. Systemmetodik

Den systemteoretiska metodiken är en formaliserad problemlösningsmetodik, där all tillgänglig information om det studerade objektsområdet struktureras och analyseras på ett systematiskt sätt.

Nedan beskriver jag de viktigaste systemmetodiska arbetsmomenten som jag använde i min materialvalsforskning med tyngdpunkt på stegen för modellering och modellvalidering. Deras allmängiltighet kan man konstatera genom jämförelse mellan de tidigare systembeskrivningarna för systemen enligt figur 3 och 4.

1) *Den systemteoretiska problemformuleringen* är det första steget i systemarbetet. Här använder man systemteorin för att konstruera och formalisera det egentliga målet och för att definiera det som är relevant i sammanhanget. På denna systemmetodiska nivå skapar man först en allmänteoretisk beskrivning av system och problem och sedan konstruerar man en allmängiltig systemstruktur anpassad för ändamålet. Det är i det stadiet som man strukturerar systembeskrivningar enligt figur 3 och 4.

2) *Funktionsanalysen* och dess centrala målsättning karakteriseras av beskrivande av huvudfunktioner och funktionsförhållanden och ej av egenskaper i systemet. Grov sortering av material i grupper eller efter konstruktiva kriterier hör till detta steg i systemmetodiken.

3) *Datinsamlingar och observationer* är grunden till allt forskningsarbete med systemanalys. Här samlar man systematiskt alla fakta i form av tekniskt material, såsom materialegenskaper, normer, föreskrifter, beräkningsmodeller, statistiskt material av tidigare observationer eller experiment etc. Hit hör också de välkända egenskaps-/kravanalyserna i materialvalsforskningen.

4) *Modelleringen* eller kärnmodellen är ett av de mest centrala momenten i systemmetodiken. Här behandlar man all information enligt tidigare

datainsamlingar och observationer enligt bestämda matematiska eller systemteoretiska regler som tillsammans bildar en *modell*.

Modellerna som används i mina materialvalssystem enligt figur 3 och 4 utgör abstrakta avbildningar av det aktuella systemet och kallas därför *symboliska modeller*. Modellerna i mina materialvalssystem är avsedda att efter valideringen fungera som *input-output modeller* av "black box-typen" (fig 6) där systemets inre struktur är ointressant för användaren. Det viktiga är att modellens utstorheter kan användas för det syfte som systemet är konstruerat för.

När det gäller modeller skall man vara medveten att de också är system och att systembeskrivningar, systemklassificeringar, systemstrukturer etc följer de principer som jag har beskrivit i föregående avsnitt.

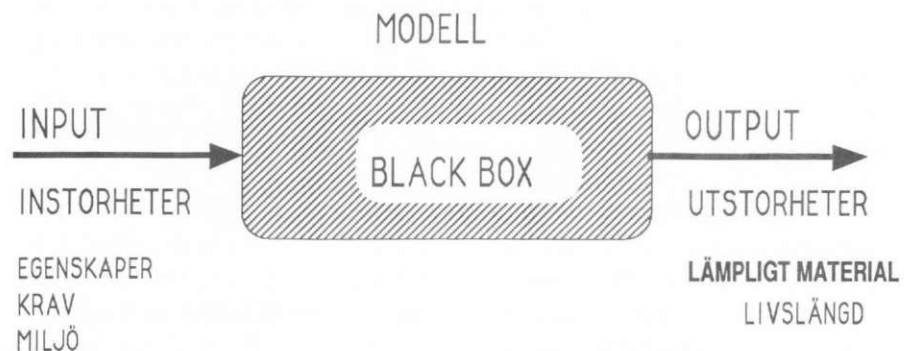


Fig 6. Input-output modell

5) *Validering av kärnmodellen* är ett viktigt moment i systemmetodiken och används för att avgöra om modellen ger en tillfredsställande beskrivning av systemet och dess egenskaper. Det viktiga med modellvalideringen är inte att avgöra om modellen är falsk eller sann, utan endast att avgöra om den är användbar för ändamålet. Om detta ej är fallet måste man fortsätta med modellutvecklingen tills man får de önskade resultaten. Nedan beskriver jag de fyra viktigaste momenten i modellvalideringen:

- *Valideringen av indata* är ett nödvändigt moment för kunna kontrollera att alla indata som kommer in i modellen är korrekta.
- *Den tekniska valideringen* kontrollerar om modellen är fri från tekniska fel, beräkningsfel, programmeringsfel eller andra logiska fel.
- *Hypotesvalideringen* kontrollerar att viktiga teorier och hypotesersom ingår i modellen är lämpliga för modellens funktion. Valideringen av krypteorin och relaxationshypotesen så som de användes i modellen enligt figur 3 är ett exempel på detta moment i systemmetodiken.

– *Resultatvalideringen* är avsett att testa modellens utstorheter utan att man bryr sig om tidigare nämnda valideringar. Här betraktar man oftast modellen som en "black box" enligt figur 6 och man kontrollerar endast om utstorheterna från modellen är de som man förväntar sig. I de flesta fallen nöjer man sig endast med att resultatvalidera modellen för att avgöra modellens användbarhet. Om man efter resultatvalideringen inte har fått de resultat som motsvarar huvudsyftet i systemanalysen måste man utföra även de andra valideringsmomenten för att lokalisera vad som måste ändras i systemet.

6) *Resultatutvärderingen* är nödvändig eftersom resultatet från en giltig systemteoretisk modell inte alltid faller inom gränserna för forskarens intresseområde eller att det ej motsvarar det objekt som man vill studera. Resultatutvärderingen testar mest modellens användbarhet under nya omständigheter i motsats till modellvalideringen som testar modellens nuvarande eller historiska beteende. I materialvalssammanhang använder man mest den så kallade *pragmatiska utvärderingen* där man avgör om resultatet är praktiskt och ekonomiskt genomförbart. Om detta ej är fallet måste man börja på nytt med systemutvecklingsarbetet.

7) *Resultatpresentationen* är det slutliga momentet i systemmetodiken och syftar till sammanställningar av resultat efter ett avslutat systemarbete. Här måste forskaren presentera sitt systemarbete på ett enkelt och överskådligt sätt samt ge instruktioner till andra, icke fackmän, om användningen av det behandlade systemet, så att de i framtiden skall kunna lösa sina praktiska eller teoretiska problem.

Litteraturlista

- (1) Bunge, M, *Treatise in Basic Philosophy, Volym 4D*. (Reidel), Berlin 1979.
- (2) Bunge, M, *The Search of Truth, Volym 3/III*. (Springer), Berlin 1967.
- (3) Soronis, G & Samuelson, Å, *Creep life assessment in cylindrical shells with variable thickness under internal pressure and subjected to relaxation*. KTH Materialteknologi 1989.
- (4) Gustafsson, L, *Systemteori*. Uppsala Universitet, 1978.
- (5) Lanshammar, H & Sandblad, B, *Systemmetodik*. Uppsala Universitet, 1978.
- (6) Lundequist, J, *Introduktion till forskningsmetodiken*. KTH Arkitektur 1988.
- (7) Nilsson, B I & Samuelsson, S, *Materialval vid projektering av hus, en förstudie*. KTH Byggnadsmateriallära 1983.
- (8) Sandström, R, *Materialvalsoptimering*. KTH Materialteknologi 1989.
- (9) Sandström, R, *Tillämpad Materialteknologi*. KTH Materialteknologi 1989.