

## EURONORM EN 50126 - PROJEKTMODELLERING FRA TEORI TIL PRAKSIS (MED KØBENHAVNS METRO SOM CASE)

Civilingeniør Klavs W. H. Lund  
Nellemann, Nielsen & Rauschenberger A/S  
Sortemosevej 2, 3450 Allerød  
Tlf.: 48140066, Fax: 48140033, E-mail: [khl@nnr.dk](mailto:khl@nnr.dk)

Seniorkonsulent Peter Olsen  
CAP Gemini Danmark  
Produktionsvej 2, 2600 Glostrup  
Tlf.: 44 50 30 00, Fax: 44 50 30 01

### 1 Abstract

Bygning af jernbanesystemer som f.eks. et førerløst metrosystem er en yderst kompliceret opgave, som i mange tilfælde vil involvere flere udenlandske virksomheder grundet den voksende internationalisering af markedet. Gennemførelse af internationale og multidisciplinære projekter kræver foruden betydelige tekniske og styringsmæssige kompetencer hos de involverede endvidere etablering af en fælles, entydig model for systemets udvikling og etablering. En sådan projektmodel skal udgøre en fælles reference for al planlægning, styring, statusvurdering og godkendelser for både bygherre, myndigheder, leverandør og underleverandører.

Projektmodellen skal bl.a. definere projektopdeling i teknologier og geografi, projektets faser med hovedaktiviteter og –milepæle, deres indbyrdes afhængigheder (projektlogik) samt godkendelsesproces inklusive leverancer og kriterier for faseskift.

Denne fremstilling diskuterer erfaringer fra Metroprojektet med etablering og anvendelse af en projektmodel baseret på euronorm EN 50126. Erfaringerne dækker koncept- og designfaserne og omfatter bl.a.:

- problematik vedr. forskellige teknologier på forskelligt udviklingsstade og niveau
- problematik ved. kompliceret projektorganisation med mange forskellige parter med hver deres kultur, metoder, interesser, sprog og terminologi
- Konflikt mellem tid/økonomi og idealproces
- Inkludering af drifts- og vedligeholdelsesmæssige aspekter i udviklingen

### 2 Indledning

Den stadige teknologiske udvikling og billiggørelse på elektronikområdet og på mikroprocessorområdet i særdeleshed åbner mulighed for at fremstille automatiske systemer med en funktionalitet, som overstiger det kendte, og som giver nye muligheder for hastighed, sikkerhed, passagervenlighed og servicering. Hovedparten af disse komplekse funktioner implementeres i dag som et samspil mellem elektromekanik og komplekst programmel, hvor man tidligere kunne klare sig med elektromekaniske eller endda rent mekaniske løsninger.

De problemer som i mange år har været kendt fra specifikation og udvikling af programsystemer trænger derfor også ind i jernbanesektorens specifikation, udvikling, implementering og godkendelse af systemer, der baserer sig på sådanne teknologier.

Nøgleord for at tackle de omtalte kompleksitetsmæssige problemer i programudvikling (og andre ingeniørdiscipliner med tilsvarende problemer) har været systematik og strukturerede fremgangsmåder. Det er nu nødvendigt at anvende den samme medicin på de meget komplekse togsystemer, som ønskes specificeret, udviklet og indkøbt.

Jernbanesektoren har altid været multidisciplinær. I starten indgik bygge- og anlægsdiscipliner, mekaniske og kemiske discipliner samt økonomiske, politiske og ledelsesmæssige discipliner. Senere tilkom elektromekanik, elektronik og programmel. Med vore dages øgede fokus på miljø, brugervenlighed, arbejdsforhold mm. bliver det i endnu højere grad nødvendigt, at vore projekter koordinerer og sammenstiller de begreber og metoder, som anvendes i forskellige discipliner. Der er også en tendens til at projekterne bliver større og større, og at stadig større turnkey-løsninger bliver udbudt.

Som bekendt arbejder den europæiske union på at harmonisere tekniske regler og standarder indenfor alle brancher. I jernbanesektoren er målsætningen for denne standardisering bl.a. at skabe et indre marked for jernbaneudstyr, som traditionelt set har været meget snæver indenfor de forskellige jernbaneadministrationer. Indenfor rammerne af disse standardiseringsbestræbelser udvikler CENELEC for tiden Euronormerne EN 50126<sup>1</sup>, EN 50128<sup>2</sup> og EN 50129<sup>3</sup>. Standarderne etablerer et fælles grundlag for godtgørelse af pålidelighed, rådighed, servicérbarhed og sikkerhed (eng.: Reliability, Availability, Maintainability and Safety) for systemet som helhed såvel som de enkelte delsystemer.

EN 50126 (her kaldet RAMS-standarden) er den overordnede standard, som kan opfattes som et forsøg på at skabe rammerne, hvori en koordinering og sammenstilling af aktiviteterne i et multidisciplinært projekt kan foretages. Forsøget er ikke helt vellykket, for dels er standarden i nogen grad præget af traditionel elektroteknisk tankegang, dels vil ønsket om brede i standardiseringssammenhæng let føre til brug af princippet om mindste fællesnævner.

Hvis man ganske kort skal forsøge at opremse de emner, som kan siges at blive standardiseret af RAMS-standarden, er det følgende:

- En højniveaubeskrivelse af en projektmodel for anlægs- eller udviklingsprojekter
- Terminologi og specifikationsmetoder for sikkerhed og pålidelighed i jernbanesektoren.

Som det fremgår af ovenstående er RAMS-standarden en procesorienteret standard i lighed med fx. DS/ISO 9000 standarderne for kvalitetsstyring, dvs. det giver ikke mening, at tale om at et udstyr opfylder RAMS-standarden, hvorimod det giver mening at påstå, at en udviklingsopgave, en konstruktionsopgave eller en driftsopgave bliver udført i overensstemmelse med RAMS-standarden.

Standarden beskriver derfor de aktiviteter, som anses for nødvendige for at specificere, styre og opnå de grader af sikkerhed, pålidelighed, rådighed og servicérbarhed, som de godkendende instanser anser for nødvendige i et anlæg eller et udstyr.

Det må være klart, at på det helt konkrete plan afhænger valget af disse aktiviteter og deres indhold af den pågældende teknologi, ligesom der på mange områder findes mere detaljerede standarder, som i kraft af deres tekniske specifikationer fastsætter mere konkrete godkendelseskræfter for de forskellige emner. Der er derfor grænser for, hvor detaljeret en sådan over-

---

<sup>1</sup> EN 50126: "Railway Applications – "Railway Applications – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)"

<sup>2</sup> EN 50128: "Railway Applications – Software for Railway Control and Protection Systems"

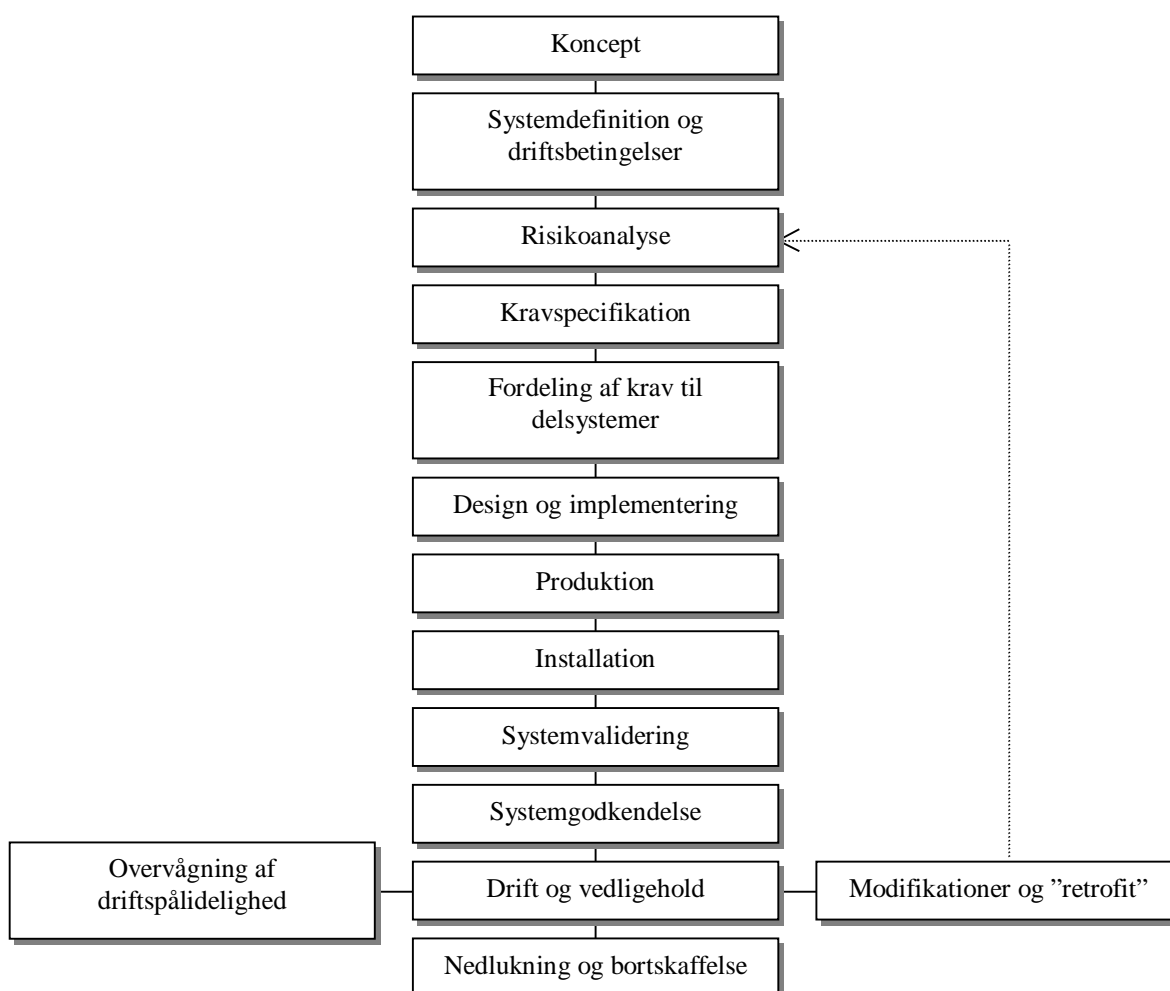
<sup>3</sup> EN 50129: "Railway Applications – Safety-related Electronic Railway Control and Protection Systems"

ordnet standard kan og skal blive, hvorfor det er nødvendigt at tilpasse processen til hvert enkelt projekt.

Imidlertid er der mange områder, hvor eksisterende tekniske specifikationer eller regler er utilstrækkelige, og på disse områder giver RAMS-standarden et bedre grundlag for at strukturere de nødvendige beslutningsprocesser hos både leverandører, købere og myndigheder.

Standarden beskriver en styringsproces baseret på systemets livscyklus (figur 1) fra koncept til nedlukning og bortskaffelse, som kan sætte både myndigheder, bygherre og leverandør i stand til at planlægge, styre og kontrollere RAMS-faktorerne gennem alle faserne. Processen understøtter bl.a.:

- Definition af RAMS-krav
- Vurdering og kontrol af trusler mod systemets RAMS
- Planlægning og implementering af RAMS-aktiviteter
- Opnåelse af overensstemmelse med RAMS-kravene
- Løbende overvågning af kravopfyldelse



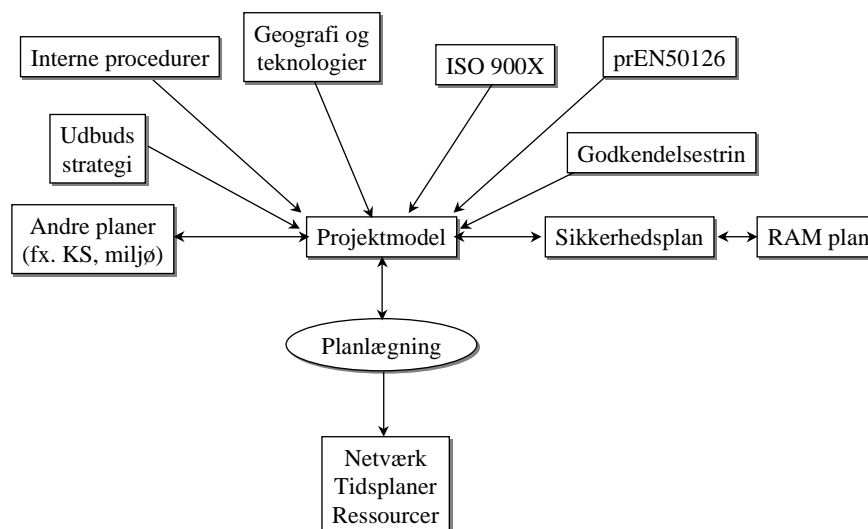
**Figur 1 Livscyklusmodel**

Standarderne vil få - og har faktisk allerede fået indflydelse på gennemførelse af jernbane-projekter i ind- og udland. Metroprojektet i København har til transportsystemdelen valgt at anvende EN 501XX – og specielt EN 50126 som planlægningsgrundlag, og projektet har derfor tilegnet sig en bred erfaring med, hvorledes den ideelle og simplificerede model kan tilpasses et virkeligt projekt. Endvidere kan det tilføjes, at DSB Bane p.t. arbejder med indførelsen standarderne som grundlag for en projektmodel for udvidelsen af sporkapaciteten fra København til Ringsted. De væsentligste argumenter herfor er forventning om:

- Kvalitetsforbedring
- Lettere sikkerhedsgodkendelse
- Bedre målstyring, struktureret styring mod veldefinerede mål
- Flere (internationale) leverandører og fleksibel udbuds og kontraktstyring
- Bedre grundlag for tidsplanlægning og optimering af ressourceindsats
- Gnidningsfri overdragelse af det færdige anlæg
- Fælles terminologi i projektorganisationen

### 3 Metroens projektmodel

Metroens projektmodel (for transportsystemdelen) har til formål, at tilvejebringe et fælles grundlag for planlægning, styring, kontrol og overvågning af alle systemets aspekter herunder RAMS og andre generelle opgaver som f.eks. kvalitetssikring og projektledelse. Projektmodellen er det overordnede referencedokument, som definerer processen, og beskriver organisation og samspillet mellem projektets styringsværktøjer (Kontrakt, WBS, KS-system, RAMS-planer, grænsefladestyring, miljøplan, konfigurationsstyring, verifikation og validering, tidsplaner mv.). Projektmodellens vigtigste element i denne sammenhæng er dog procesbeskrivelsen.



Figur 2 Projektmodel

I udbudsmaterialet til transportsystemet var kravene til processen defineret med henvisning til RAMS-standarden. Denne relativt løse formulering var begrundet med, at udbudet ikke skulle være begrænsende for ellers kvalificerede bydende, som allerede havde en indarbejdet proces. En lang række milepæle knyttet til faseforløbet var defineret med henblik på løbende kontrol og betaling, men en egentlig logik var der ikke tale om. Det var således op til de bydende - og i sidste ende kontraktholderen - at beskrive en fremgangsmåde, som var i overensstemmelse med udbudets krav – herunder kravene i RAMS-standarden - og virksomhedens/konsortiets egne procedurer.

### **3.1 Processen**

Livscyklusmodellen i RAMS-standarden angiver af gode grunde ikke en specifik fase for udbud af opgaven, da det er afhængigt af det pågældende system og udbudsstrategien. I Metroprojektet var det strategien at udbyde transportsystemet (de banetekniske anlæg inklusive det rullende materiel og driften i 5 år) som funktionsudbud under een kontrakt (alternativt som turnkey incl. bygge og anlægsprojektet).

Det kan altid diskuteres, hvorvidt det i livscyklusmodellen svarer til, at man udbyder projektet før eller efter fordeling af krav til delsystemer, for bygherren har selvfølgelig opdelt og specificeret systemet i delsystemer. På den anden side vil leverandøren opleve, at han i højere grad befinder sig i kravspecifikationsfasen for *sit* projekt (man kan også argumentere for at leverandøren starter helt oppe på konceptniveau). Det samme vil gøre sig gældende for underleverandørerne. De skal verificere delsystemkravene og udarbejde projektværktøjer - blot på et lavere niveau. Livscyklusmodellen tager ikke højde for denne situationen, hvor partene er på forskellig abstraktionsniveau i forhold til projektet. I Metroprojektet antages det, at projektet er udbudt efter kravspecifikationsfasen.

Vi opererer således med projektet før og efter kontrakt med leverandøren, For aktiviteterne før kontrakt er der ikke defineret en egentlig projektmodel, men bygherren har naturligvis planlagt og gennemført en række forberedende RAMS-aktiviteter. Disse aktiviteter er omfattet af faserne Koncept, og det vi her kalder Udbud og kontrakt.

#### **Koncept, udbud og kontrakt**

I Konceptfasen modnes projektet fra idé til valg af løsning. Målet for denne fase er at udvikle et niveau af forståelse for systemet til, at senere RAMS-aktiviteter kan udføres tilfredsstillende. Dette omfatter bl.a.:

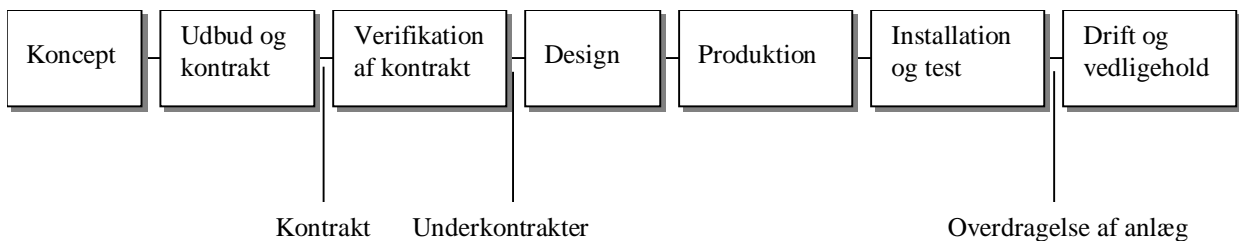
- RAMS-evaluering af forskellige løsninger
- Fastlæggelse af overordnet regel- og normgrundlag
- Definition af sikkerhedspolitikker
- Foreløbig risikoanalyse (sammenligning og skalering)
- Skitseprojekter – løsningsvalg

Det er vigtigt at iagttage, at drift og vedligeholdelsesaspekter er inddraget allerede i konceptfasen, hvilket traditionelt set har være overset. I Metroens tilfælde må disse interesser varetages af bygherren, da der på dette tidspunkt i projektet ikke er etableret en driftsorganisation.

Udbud og kontraktfasen omfatter bearbejdning, analyse og specifikation af systemet, og dækker aktiviteterne frem til kontrakt med leverandøren (svarende til RAMS-modellens ”Systemdefinition”, ”Risikoanalyse” og ”Kravspecifikation”). Hovedaktiviteterne omfatter:

- Udarbejdelse af projektvision og foreløbig systembeskrivelse (opdeling i teknologier og geografi)
- Fastlæggelse af grænseflader
- Identifikation af driftsforhold
- Revision af risikoanalyser
- Identifikation af RAMS-mål og acceptkriterier
- Krav til RAMS-program
- Planlægning af udbudsstrategi
- Udbud og kontrahering

Nedenstående figur 3 viser den groft simplificerede livscyklusmodel for projektet eksklusive den endelige nedlukning og bortskaffelse, som naturligvis ikke er relevant for projektet på dette stade.



**Figur 3 Simplificeret fasemodel**

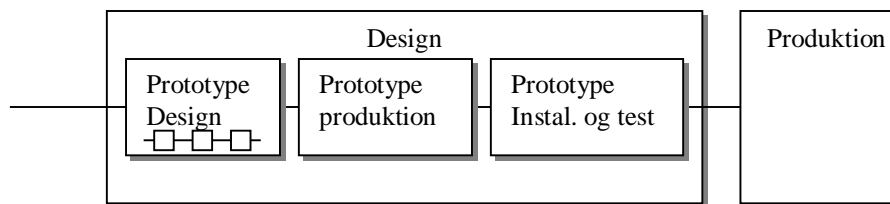
Efter kontraktindgåelsen tilkommer det leverandøren at planlægge og tilpasse arbejdsprocessen inden for rammerne af kontrakten og den aftalte godkendelsesproces. Etableringen af en entydig proces, som opfattes ens af alle parter, kan være en overordentlig vanskelig opgave. Alene det, at parterne har forskellig tradition, virksomhedskultur, sprog, terminologi og standarder, gør det vanskeligt at opnå den fælles forståelse. De involverede parter har tilmed forskellige interesser. Myndighederne ønsker en streng og klart defineret proces, hvor systemerne godkendes sekventielt og ”top-down”. Myndighederne skeler ikke til det tidsmæssige aspekt – bare der er tid nok. Bygherren har selvfølgelig et ønske om en proces, som kan tilsikre, at systemet opnår den ønskede kvalitet til tiden, og det fordrer en vis fleksibilitet. Bygherren er tillige interesseret i gennemsuelighed, der letter statusvurdering og opfølgning. Leverandøren har til gengæld en interesse i en proces med så få bindinger som muligt, der tillader stor fleksibilitet med hensyn til fremskyndelser og parallelt arbejde, og ikke mindst som giver mindst mulig indblanding fra bygherren og myndighederne.

I Metroprojektet er der lagt mest vægt på stringens i godkendelsesprocessen, som kan tilfredsstille myndighederne, samt mulighed for opfølgning på arbejdet gennem en række mellemliggende fremdriftsmilepæle eller betalingsmilepæle om man vil, som kan benyttes til overvågning og styring.

Metroprojektet er som bekendt et multidisciplinært projekt bestående af en række delsystemer. Hver af disse delsystemer gennemløber et livscyklusforløb svarende til systemet som

helhed. Delsystemerne har varierende kompleksitet og sikkerhedsklasse, og et udviklingsniveau som spænder fra "ikke-eksisterende", "under udvikling", "skal modificeres" til "hyldevare". Udgangspunktet og udviklingstiden er derfor meget varierende. Denne variation afspejles i, at delsystemerne i udgangspunktet ikke er i samme fase på samme tid. Endvidere vil delsystemer, som ikke er hyldevare, og som enten har en høj kompleksitet eller høj sikkerhedsklasse, skulle underkastes en prototypeudvikling og -test. Et sådant prototypeforløb gennemløber i sig selv de fleste af livscyklusmodellens faser (specifikation, design, implementering, installation, V&V, godkendelse og evt. nedtagning). Prototypens komponenter ligeså. Der er således flere niveauer, hvor sammenhængene kan illustreres som en "kinesisk æske". Det er derfor nødvendigt, at specificere procesmodellen i tilstrækkeligt mange niveauer til at tage højde for sammenhængene - ikke bare imellem subsystemerne og deres forskellige udviklingsniveauer - men også mellem niveauerne indenfor et enkelt subsystem.

I Metroprojektet opereres med tre niveauer: system, subsystem og udstyr. Der er defineret modeller for både system, lokaliteter og subsystemer, som evt. kan være genstand for prototypeudvikling og -test. Alle modellerne er indbyrdes bundet sammen i et kompliceret netværk med små 3000 bindinger.

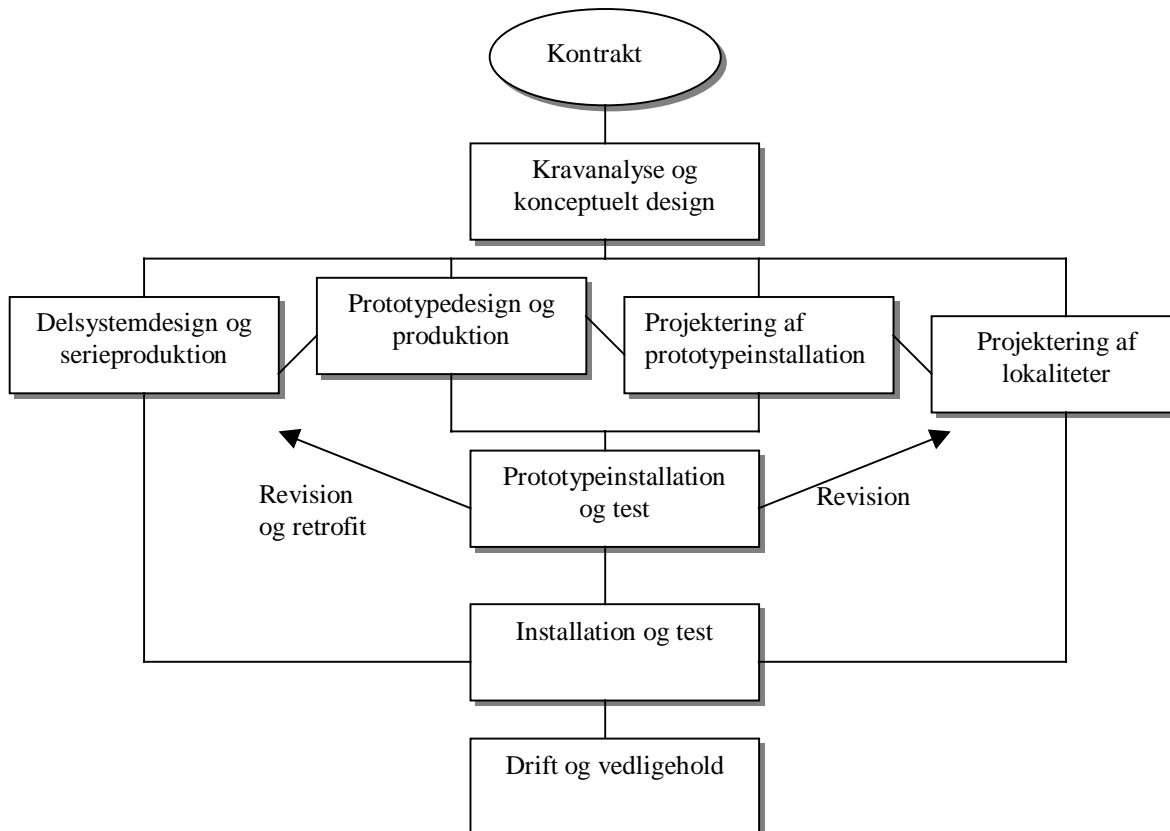


**Figur 4 "Kinesiske æske"-problemet**

Den sekventielle beskrivelse af processen giver også anledning til problemer, idet udviklingen i praksis vil foregå parallelt i det omfang, det kan lade sig gøre. Leverandøren vil ofte være villig til at løbe risikoen med at igangsætte arbejde uanset, at forudsætningerne ikke er endeligt godkendt. Derfor skal procesbeskrivelsen omfatte procedurer, som tager højde for dette, hvis den skal afspejle virkeligheden. Et eksempel er køretøjerne, hvor visse dele til prototypen og de serieproducerede vogne udvikles parallelt, da det ville være alt for ressource- og tidskrævende, hvis det skulle foregå serielt.

Et analogt problem er faseovergange, som ofte antages at være punkter i tid. I virkelighedens verden har en faseovergang en udstrækning. Typisk vil exitkriterierne for en fase være et sæt nærmere specificerede *godkendte* dokumenter. Problemet består i, at leverandøren efter at han har afleveret dokumentationen ikke sidder med foldede hænder og venter på, at bygherren eller myndighederne bliver færdige med godkendelsen. Leverandøren fortsætter naturligvis sit arbejde (skifter til næste fase) i denne mellemliggende periode. Derfor er det nødvendigt at specificere kriterierne for både leverancen og godkendelsen.

Som det fremgår er projektmodellering kompliceret og kræver indgående kendskab til hele projektets natur. Derfor tager det lang tid at etablere en projektmodel af tilstrækkelig kvalitet, og den skal løbende revideres, som projektet skrider frem. I Metroprojektet har projektmodellen været genstand for adskillige revisioner over de seneste 2 år. I det følgende beskrives de væsentligste aktiviteter i de forskellige faser i den nuværende model. En simplificeret procesmodel for projektet efter kontrakt er vist i figur 5.



**Figur 5 Procesmodel**

### Kravanalyse og konceptuelt design

I denne indledende fase foretages en gennemgang af kontraktgrundlaget og leverandøren udarbejder et konceptuelt design for systemet. Det konceptuelle design, som omfatter alle delsystemer og alle væsentlige principper, godkendes af myndighederne. På baggrund af kontrakten og det konceptuelle design fordeles og allokeres kravene til undersystemer. Projektets styringsværktøjer, herunder projektmodel og tidsplaner, udvikles og iværksættes. På dette grundlag vil leverandøren i stand til at indgå aftaler med underleverandørere. RAMS-aktiviteterne i denne fase omfatter bl.a.:

- Kravanalyse og allokering af krav til delsystemer
- Udarbejdelse af projektmodel og revision af planer
- Nedbrydning af krav og planer til delsystemer
- Etablering af "hazard-log"
- Foreløbig hazard-analyse

### Design

I designfasen skabes subsystemer og komponenter, som skal leve op til RAMS-kravene. Det er igen vigtigt at fremhæve, at RAMS-standarden kræver inddragelse af drifts- og vedligeholdelsesaspekter i designfasen til trods for, at dette ofte undervurderes. Det er indlysende, at brugeren skal inddrages i designarbejdet på et tidligt tidspunkt, men det er selvfølgelig problematisk, når man som i Metroprojektet ikke i designfasen har etableret drifts- og vedligeholdelsesorganisationen.



Designet omfatter dels de forskellige delsystemer så vel som applikationen af delsystemerne på de forskellige lokaliteter (projektering). Populært sagt skal både byggeklodser og installationsvejledningen udvikles. Design og projektering gælder både prototyper og serieproduktionen henholdsvis prototypeinstallation (testspor) og øvrige lokaliteter (jf. figur 5).

I Metroprojektet er ATC-, SCADA og Passagerinformationssystemerne samt det rullende materiel genstand for prototypeudvikling og test, mens de øvrige delsystemer indgår i en prototypeinstallation på et testspor, hvor der vil være mulighed for en tidlig integrationstest mellem de vigtigste systemfunktioner.

Både design og projektering skal godkendes for hvert delsystem henholdsvis lokalitet.

RAMS-aktiviteterne i designfasen omfatter:

- Udvikle og realisere delsystemer, som opfylder RAMS-kravene
- Implementere RAM-programmet
- Udarbejde ”Safety Cases”
- Detailspecificere og forhandle grænseflader – internt og eksternt, herunder til bygge- og anlægsentreprenøren
- Definere krav til produktionsprocessen

### **Produktion**

I produktionsfasen foretages en række test af delsystemerne på fabrikken før afskibning. Testrækken leder frem til en samlet godkendelse (FAT: Factory Acceptance Test). I denne fase etableres og ajourføres fejlloggen mens træningsprogram og -faciliteter etableres.

### **Installation og test**

Den første installation er testsporet med installation af prototyper og øvrigt nødvendigt udstyr til at foretage en (næsten) komplet funktionstest. Testene leder dels frem til en godkendelse af de enkelte subsystemprototype såvel som den samlede prototypeinstallation. Erfaringerne fra disse test skal indgå i design og projektering af udstyr til de øvrige lokaliteter. Som tidligere nævnt vil en del af dette arbejde foregå parallelt, hvilket vil kræve senere opdateringer (retrofit) af serieproduktionen (jf. figur 5). Evt. ændringer til designet vil påkræve fornyet myndighedsgodkendelse.

I forbindelse med den generelle installation gennemføres et testprogram, som successivt udvider testområdet for til sidst at omfatte hele banen. Infrastrukturen, vognene og driftsoperatøren godkendes særskilt af myndighederne.

RAMS-aktiviteterne i denne fase omfatter:

- Revidere sikkerhedsplanen
- Udføre træning
- Validere opfyldelse af RAMS-kravene
- Godkende ”Safety Case” for systemet

### **Drift og vedligehold, driftsovervågning**

I drift og vedligeholdelsesfasen, som der foreløbig ligger en 5-årig aftale for, skal driftsoperatøren drive og vedligeholde systemet efter en række nærmere specificerede principper. Bl.a. honoreres driftsoperatøren ud fra passagertal og opetider. Efter en vis driftsperiode udbetales et garantibeløb til leverandøren, hvis systemet over en længere periode lever op til den speci-

ficerede pålidelighed og rådighed. Der foretages endvidere en livscyklusvurdering (LCV: Lifecycle Cost Verification) på det rullende materiel for at sikre, at systemet lever op til RAM-kravene.

#### **4 Erkendelser**

Erfaringerne med anvendelse af RAMS-standarden som grundlag for definition af processen har indtil videre været overvejende positive, om end vi var lidt famlende i starten. Generelt kan man sige, at der er generel tilfredshed hos både myndigheder, assessor, leverandør og bygherre med, at der er etableret et fælles grundlag for processen. Herved lettes de forskellige parter planlægning og gennemførelse af arbejdet. Til gengæld må det konstateres, at det ikke er nok at henvise til standarden, men at projektmodellen allerede i udbudsmaterialet skal defineres ganske konkret.

Argumentet om at leverandøren skal have frihed til at benytte sin egen indarbejdede proces holder ikke. Bygherrens væsentligste interesse er klart og utvetydigt definerede leverancer. Han bliver derfor nød til at specificere processen detaljeret med målbare definitioner på faseovergangskriterier og leverancer. Leverandøren vil sagtens være i stand til at mappe en evt. indarbejdet proces ind på den specificerede. Arbejdsprocessen skal under alle omstændigheder tilpasses de nationale krav til godkendelsesprocessen.

Processen skal omfatte faser til verifikation af kontrakten og underkontrahering, som har en tilstrækkelig varighed. Man skal huske på, at det tager tid for leverandørens organisation, at komme op på det niveau bygherren og hans rådgivere har ved kontraktindgåelsen.

Procedurer for konfigurationsstyring, risikoanalyse, hazard-log m.m skal være specificeret i udbudsmaterialet. Procedure for faseovergange, herunder kriterier for aflevering, gennemgang og godkendelse samt betalinger skal være utvetydigt defineret.

Generelt bør projektmodellen være beskrevet så detaljeret som muligt – hellere for specifik end for løs, så ved leverandøren, hvad han har at gå efter. Det er altid lettere at ændre krav/udsagn, som ingen er i tvivl om betydningen af end at skulle diskutere uklare eller løse formuleringer. Det sidste tager tid og koster bygherren penge.