

ISBN 82-553-0500-9

No 5  
1982

UTDANNINGSRESSURSER I  
NORDEN MED PÅLITELIG -  
HETSANALYSE PÅ PROGRAMMET

ved

Bent Natvig

**STATISTICAL MEMOIRS**  
INSTITUTE OF MATHEMATICS  
UNIVERSITY OF OSLO



SINTOM 20 år

SAMARBETSKOMMITEEN INOM NORDEN FÖR TILLFÖRLITLIGHETS-  
OCH MILJØTEKNIK

SEMINAR

TILLFÖRLITLIGHETS- OCH MILJØTEKNIK IDAG  
LINKØPING 22-24 NOVEMBER 1982

Utdanningsressurser i Norden med pålitelighetsanalyse på programmet

Bent Natvig, Universitetet i Oslo

1. Innledning

La meg med en gang gjøre det klart at jeg opprinnelig hadde tenkt å ta opp temaet "Om utdanning i pålitelighetsanalyse ved Universitetet i Oslo", noe jeg mener jeg har rimelig bra greie på. Etter forespørsel fra arrangøren v/Gunnar Holm ble jeg imidlertid bedt om å utvide siktepunktet til å omfatte hele Norden. En forutsetning for at dette skulle gå bra var et skikkelig nordisk samarbeid; dvs. at representanter for de ulike nordiske land fremskaffet relevant materiale om utdanningsressursene i sitt eget land. Dette har gått over all forventning dels pga. at Gunnar Holm ga meg 2 navn fra hver av landene utenom Norge og dels pga. at enkelte hadde fått nyss om at det var jeg som skulle holde foredraget, og sendte inn haugevis av materiell i et forsøk på å skape nogenlunde balanse.

Bortsett fra å dekke Universitetet i Oslo har min oppgave hovedsakelig bare vært å sette det hele sammen. Stort sett har jeg latt mine medforfattere slippe til uten sensur. La det dog være klart at dette på ingen måte representerer en fullstendig oversikt over utdanningsressursene i pålitelighetsanalyse i Norden. Sannsynligvis fins det mer virksomhet i Danmark og Finland enn en kan få inntrykk av gjennom de opplysningene som gis her. Videre er det undervisningstilbud som gis i bedrifter, av bransjeorganisasjoner, ulike foreninger samt brevskoler viet liten plass rett og slett fordi den informasjon jeg har mottatt på dette området er svært sparsom.

Før jeg går over til en kanskje noe langtekkelig gjennomgang av virksomheten i de ulike nordiske land, kan jeg ikke motstå fristelsen til å påpeke at pålitelighetsteorien slik den er utviklet i fag-

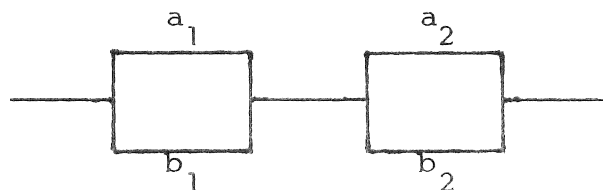
området matematisk statistikk/sannsynlighetsregning, har en helt sentral plass. Uansett om en er interessert i pålitelighetsberegninger av stålkonstruksjoner eller kjernekraftverk vil nemlig basisverktøyet måtte hentes fra denne teorien. Videre stiller en rekke anvendelsesområder store krav til både raffinement og realisme i byggingen av matematiske modeller for de systemer en er interessert i. Da hjelper det lite med en basisutdanning i faget som baserer seg på teori som ble utviklet for 10-15 år siden og det hjelper lite med standard programpakker av samme årgang. En er følgelig avhengig av å ha utdanningsinstitusjoner som driver forskning i pålitelighetsteori og som kan fange opp den forskning som drives i andre land. Videre må forskningsresultatene bli presentert i undervisningen.

Det er ingen motsetning mellom dette ønskemål og behovet for:

- i) at undervisningen i ren pålitelighetsteori krydres med "case-studier" fra industrielle anvendelser,
- ii) at forskningen i ren pålitelighetsteori henter inspirasjon og kunnskap fra mer anvendt orienterte miljøer,
- iii) å ha tekniske høyskoler og forskningsinstitusjoner som med utgangspunkt i nyere forskning i pålitelighetsteori utvikler egen teori og egne metoder som er rettet mot spesielle anvendelsesområder.

For å konkretisere hva jeg mener la oss se på et av de viktigste og sterkest voksende forskningsfelt innen moderne pålitelighetsteori, såkalt multinær pålitelighetsteori. La oss bare motivere teorien med følgende enkle nettverk hentet fra [10]:

Figur 1. Eksempel på multinært system



Vi lar parallellmodulen av grenene  $a_1$  og  $b_1$  utgjøre 1. komponent i nettverket og parallellmodulen av grenene  $a_2$  og  $b_2$  2. komponent. La nå  $x_i$  ( $i=1,2$ ) betegne  $i$ -te komponents tilstand. Vi setter nå ( $i=1,2$ )

$$\begin{aligned} x_i &= 3 && \text{hvis to grener virker} \\ &= 1 && \text{hvis 1 gren virker} \\ &= 0 && \text{ingen grener virker} \end{aligned}$$

Nettverkets tilstand som funksjon av komponentenes tilstander kan være gitt ved følgende tabell:

Tabell 1. Systemtilstand for nettverket i Figur 1

	3	0	2	3
Komponent 2	1	0	1	2
	0	0	0	0
	0	1	3	

Komponent 1.

Legg merke til at for både komponenter og system svarer 0-tilstanden til totalfeil, mens 3-tilstanden svarer til perfekt funksjon. 1-tilstanden er en kritisk tilstand både for komponenter og system i den forstand at svikt av en eneste gren leder til 0-tilstanden. Vi ser endelig at vi bare har behov for en 2-tilstand for systemet og ikke for komponentene. I klassisk binær teori ville funksjonstilstanden for nettverket måtte omfatte de multinære tilstander {1,2,3} hvilket bare gir en veldig grov beskrivelse av virkeligheten.

En hovedfagsstudent ved Universitetet i Oslo arbeider nå med å anvende den eksisterende multinære teori på elektriske kraftsystemer i samarbeid med bl.a. dosent Arne T. Holen ved Norges Tekniske Høgskole. Det er å håpe at det ikke må gå 10-15 år før denne teorien blir en naturlig del av undervisningstilbudet i pålitelighetsanalyse i Norden.

I de etterfølgende avsnitt vil jeg behandle undervisningstilbudet i henholdsvis Finland, Danmark, Sverige og Norge. Referanseliste over noe undervisningsmateriell samt lærebøker vil bli gitt til slutt.

## 2. Utdanningsressurser i Finland

v/Tuomas Mankamo, Statens Tekniska Forskningscentral, Bergsmansvägen 5, 02150 ESBO 15, Finland.

Jorma Saari, Institutet för Arbetshygien, Bredängsvägen 1, 01620 VANDA, Finland.

Sistnevnte har gitt informasjonene om virksomheten ved den tekniske høyskole i Tammerfors samt ved Institutet för Arbetshygien. De øvrige opplysninger er gitt av førstnevnte.

## 2A. Universitetskurs

Grunnleggende kurs i pålitelighetsteknikk (= reliability engineering) gis ved alle finske tekniske universiteter (Helsingfors, Villmanstrand, Tammerfors). Kursene baseres på en finsk lærebok [4]. Kurset i Tammerfors går annethvert år og omfatter 2 arbeids- uker (= 30 timer forelesninger + øvinger).

## 2B. Andre kurs

INSKO (= Ingeniørenes undervisningsorganisasjon) har arrangert flere kurs i pålitelighetsteknikk. Et typisk eksempel er: Planlegging av tilgjengelighet (= availability) ved utviklingen av produkter.

Andre kurs har gitt enkeltforelesninger om anvendelser av pålitelighetsteknikk i f.eks. prosessautomatisering.

Ved Institutet för Arbetshygien gis det hvert år fra 1-5 korte kurs som tar opp pålitelighet av menneskelige komponenter (= human reliability) samt 1-2 kurs som tar opp sikkerhetsanalytiske metoder. Deltagerne kommer fra ulike arbeidsplasser og arbeider hovedsakelig med arbeidervern. Instituttet planlegger å øke antall kurs på disse områdene, men etterspørselen har til nå ikke vært stor nok.

## 2C. Forskning knyttet til undervisningstilbudet

Det er vanskelig å skille mellom teoretisk og anvendt forskning på dette området. I det følgende gis en liste (på engelsk) over noen av de siste diplomarbeider fra de tekniske universitetene:

Reliability of electric power supply systems at TVO nuclear power plant.

Reliability of electric power distribution grids.

Reliability of stand-by diesel generators in NPP (= nuclear power plants).

Reliability of microprocessor based distributed automation systems.

Simulation code for the analysis of production line availability.

Reliability of non-destructive testing of mechanical components in NPP.

Planning of spare parts procedures for a paper mill.

### 3. Utdanningsressurser i Danmark

v/ Ole Platz, Risø Forsøgsanlæg, Elektronikafdelingen, DK-4000 ROSKILDE, Danmark.

Leif Poulsen, Danmarks Tekniske Højskole, AMT, DK-2800 LYNGBY, Danmark.

Palle Thoft-Christensen, Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, Sohngårdsholmsvej 57, DK-9000 AALBORG, Danmark.

Sistnevnte har gitt informasjonen om kurset i Aalborg, Leif Poulsen har fremskaffet det meste av de øvrige opplysninger mens Ole Platz først og fremst har vært kontaktledd og ansvarlig for konklusjonen.

#### 3A. Universitetskurs

Ved Danmarks Tekniske Højskole (DTH) gis det ved Elektronisk Institut et etsemesters kurs "4221 Pålitelighetsteori". Kursets formål er å gi studentene en forståelse av pålitelighetsteori og -praksis som setter dem i stand til:

- i) å løse alminnelig forekommende problem av pålitelighetsmessig art innenfor elektronikken,
- ii) å følge med i den fremtidige utvikling på et nivå svarende til f.eks. tidsskriftet IEEE Trans. on Reliability.

Læremiddel er [3]. Videre gis det ved Institut for Kemiindustri, DTH to kurs i industriell risikoanalyse.

Ved Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter gis et 60 timers kurs "Last- og sikkerhetsteori". Kurset baserer seg på læreboken [15] som er så langt jeg vet den eneste internasjonale lærebok innen feltet pålitelighetsanalyse med en nordisk forfatter (Palle Thoft-Christensen). Boken virker da også svært så interessant. I ovennevnte kurs tar en opp:

Behandling av usikkerhet i bygningsteknologi, elementær sannsynlighetsregning, "level 2 metoder", pålitelighetsanalyse i bygningsteknologi, innføring i stokastiske prosesser med anvendelser, lastkombinasjoner.

### 3B. Andre kurs

Ved Danmarks Ingeniørakademi, Elektroafdelingen, gis to kurs. I kurset "5262 Pålitelighetsteknik" tar en opp:

Total kvalitetsstyring og pålitelighet, laststyrke modellen, badekars-kurven, prediksjon av pålitelighet med konstant feilhyppighet (herunder termiske forhold), risikoanalyse (feileffekt og feiltreanalyse), pålitelighetstesting, burn-in forhold.

Lærebok er [12]. Kurset "52xx Pålitelighetssortering- og testing" inneholder:

Bi/trimodale levetidsfordelinger, S-kurve analyse, burn-in optimering for reparerbare og ikke-reparerbare systemer, pålitelighetsverifikasjon, pålitelighetsbestemmelse, akselerert testing.

Lærebok er [7].

### 3C. Sluttkommentar

Generelt må det sies at utdannelsesstilbudet fortsatt er noe begrenset, men det er meget som tyder på at aktiviteten på området er stigende.

## 4. Utdanningsressurser i Sverige

v/ Bo Bergman, Saab-Scania AB, Flygdivisjonen, S-581 88 LINKÖPING, Sverige.

Bengt Klefsjö, Högskolan i Luleå, S-951 87 LULEÅ, Sverige.

Jan Schnittger, Institutionen för Maskinelement, Kungliga Tekniska Högskolan, Brinellvägen 68, 100 44 STOCKHOLM 70, Sverige

Den følgende fremstilling er kun en direkte oversettelse av et notat fra Bo Bergman. I tillegg har jeg supplert med en del opplysninger om virksomheten ved Högskolan i Luleå utarbeidet av Bengt Klefsjö samt om virksomheten ved Institutionen för maskinelement, KTH, utarbeidet av Jan Schnittger.

### 4A. Grunnutdanning ved universitet og høyskoler

Ved samtlige tekniske høyskoler forekommer kurs i pålitelighetsteknikk; noen eksempler gis i Tabell 2.

Tabell 2. Noen eksempler på kurs som har et vesentlig innslag av pålitelighetsteknikk.

Teknisk høyskole	Institusjon/Avd.	Linje	Kurs
Chalmers (Göteborg)	Kraft og varmeanl systemteknik	Maskin	Systemtillförlit- lighet (2 deler)
	Mat.stat. og Maskinelement	Maskin	Probabilistisk maskinkonstruksjon
KTH (Stockholm)	Flygteknik	Flyg- teknik	Teknisk tillförlit- lighetslära
	Teletrafiksystem	Elektro- teknik	Systemtillförlit- lighet
	El.anl. teknik og Mat. stat.	Forsker og videre utdan- ning	Felträdsanalys (vår 82). Statistis- ka metoder inom tillförlitlighets- tekniken (höst 82)
	Maskinelement		Reliability for mechanical engineers
Li TH (Linköping)	Kvalitets- og underhållsteknik	Maskin	Kvalitets- og underhållsteknik
	Produksjonsekonomi	Ind. ekonomi	Konstruksjons- og systemekonomi
	Medisinsk teknik	Teknisk Fys. og Elektro- nik	Inköps- og under- hållsteknik
Luleå	Matematik	Maskin	Informasjonsbehand- ling og Tillförlit- lighetsteknik

Felles for flertallet av disse kursene er at de ikke er spesielt omfattende og at de bare er obligatoriske for en liten del av studentene. Det fins dog unntak; nesten samtlige som studerer maskinteknikk ved høyskolen i Luleå deltar i pålitelighetsanalysekursene der, og i Linköping tar alle som spesialiserer seg på kvalitets- og vedlikeholdsteknikk en del pålitelighetsanalyse.

La oss før vi følger Bo Bergman vidare gå litt i detalj om kurset i Luleå og kurset ved Institutionen för Maskinelement, KTH. Pålitelighetsanalysedelen av kurset i Luleå er på 30 timer med pensum hentet fra [8]. Emner som tas opp er:

Pålitelighetstekniske grunnbegrep, bestemmelse av driftssikkerhetsparametre fra test- og driftsdata, Weibullanalyse, TTT transformasjon, systemets avhengighet av komponenter og delsystem, kvalitative



metoder under utviklingsarbeidet (som feiltreanalyse, feilmodianalyse og konstruksjonsgjennomgang), produktansvar.

Mulighetene for utbygging av kurstilbudet i Luleå synes gode.

Pensum i kurset ved Institutionen för Maskinelement er hentet fra [13] som forøvrig er skrevet på engelsk for språktreningens skyld. Emner her er:

Introduction to reliability engineering, basic distributions, analysis of failures, statistical methods in mechanical engineering, stress-strength analysis, interference, system reliability, product development, reliability growth, reliability testing, system reliability performance.

Undervisningen omfatter også et prosjekt som i år har tatt opp "How to sell and buy reliability?"

Tilbake til Bo Bergman. Det er også slik at i en rekke kurs har man tatt inn en del pålitelighetsteknikk; dette er f.eks. slik i "Simulering av elkraftsystem, fortsättningskurs", gitt ved El anl teknik/KTH, i "Operationsanalys" gitt ved Matematisk statistik LTH/Lund og sikkert i en hel del andre kurs.

Sett i et større perspektiv er det fortsatt slik at en stor del av dagens nyutdannede sivilingeniører ikke har noen kontakt med pålitelighetsteknikk i sin utdanning. Dette må betraktes som høyst beklagelig. Situasjonen er imidlertid mye bedre enn for bare noen få år siden og denne utviklingstendens synes å holde seg. Målet bør være at hver ny sivilingeniør en eller annen gang i løpet av studiene har fått innsikt i pålitelighetsteknikkens fundament.

#### 4B. Forskerutdanning

Mer eller mindre regelmessig gis det på de fleste tekniske høyskoler i Sverige doktorgradskurs i pålitelighetsteori, mens derimot doktorgradskurs som retter seg mot den mer tekniske delen av fagområdet i prisippet savnes.

I dag holder ca 10 personer på med doktorgradstudier som er rettet mot pålitelighetstekniske problemstillinger. Disse studentene er spredd på et stort antall ulike emner: elektrisk anleggsteknikk, energiteknikk, matematisk statistikk, matematikk, reaktorteknologi, osv. I fremtiden vil det her kreves en bedre samordning av forskningen.

Heldigvis pågår det en styrking av utdanningsressursene. På KTH fins nå en professor II i pålitelighetsteknikk med bl.a. som oppgave å gi veiledning til doktorgradstudenter som arbeider med pålitelighetstekniske problemstillinger på andre områder. To professorater med arbeidsområder som delvis er rettet mot pålitelighetsteknikk er for tiden under besettelse (Kraft och värmeanläggningars systemteknik/Chalmers og Kvalitetsteknikk/LiTH)

#### 4C. Konklusjon

Som en sammenfatning kan en konstatere at selv om den pålitelighetstekniske betraktningssmåte sakte har fått innpass i svensk industri de siste 20 år, har de tekniske høyskolene først i den senere tid blitt oppmerksom på fagområdet. Heldigvis er tendensen i dag positiv; fler og fler sivilingeniører får en grunnutdannelse i pålitelighetsteknikk og forskningen på området har begynt å komme i gang selv om den ennå ikke helt har funnet sin form.

#### 5. Utdanningsressurser i Norge

v/ Bent Natvig, Matematisk institutt, avd. for statistikk og forsikringsmatematikk, Universitetet i Oslo, Blindern, Oslo 3, Norge.

Marvin Rausand og Rannveig K. Tinmannsvik, SINTEF 18, 7034 Trondheim-NTH, Norge.

De to sistnevnte har gitt informasjonen om kurstilbudet ved Norges Tekniske Høgskole (NTH) i Trondheim, mens førstnevnte har ansvar for det øvrige.

#### 5A. Utdanningsressurser ved NTH

I Norge har en pr. i dag bare én teknisk høyskole - nemlig NTH. De konklusjoner Bo Bergman trakk om aktiviteten ved de tekniske høyskoler i Sverige gjelder nesten uavkortet også for NTH. En har et meget variert og godt kurstilbud i pålitelighetsteknikk. Dette er dog valgfritt for de fleste studentene. Et unntak er Sikkerhetsteknikk (hovedfag) ved Institutt for Maskinkonstruksjon. Dette faget (se oversikt nedenfor) er nettopp satt i gang med 6 studenter. Forskningen som er rettet mot pålitelighetstekniske problemstillinger er også på NTH i startfasen på de fleste områder.

Det skjer videre en klar styrking av utdanningsressursene; på Institutt for Matematisk Statistikk vil det neste høst tiltre en professor som "skal være med på å bygge opp et miljø der en spesielt skal arbeide med problemstillinger som er aktuelle i forbindelse med risiko - og pålitelighetsanalyse". (En forsinkende faktor her er at vedkommende som er ansatt ikke selv har arbeidet innen fagområdet tidligere). I tillegg er det under besettelse et professorat på Maskinavdelingen i Maskinkonstruksjon med fagområde pålitelighet og vedlikeholdsteknikk.

Styrken til NTH-miljøets utdanningstilbud i pålitelighetsanalyse og nærliggende områder er det intime samarbeid mellom selve NTH og SINTEF, som arbeider med industriell og teknisk forskning og derfor sikrer de nødvendige impulser fra anvendelsessiden.

I det følgende gis en oversikt over noen kurs innen sikkerhet og pålitelighet ved NTH. En fullstendig oversikt er gitt i [14]; her beskrives også etterutdanningskurs gitt av NTH. Noen aktuelle læremidler ved NTH er [5], [6].

Tabell 3. Noen ordinære NTH-fag  
innen sikkerhet og pålitelighet høst 82/vår 83

Fagtittel	Ansvarlig institutt	Innhold
Pålitelighetsanalyse	Matematisk statistikk	Kurset gir det sannsynlighetsteoretiske grunnlag for beregning av pålitelighet og tilgjengelighet av systemer. Det omfatter bl.a.: De vanligste levetidsfordelinger. Konstruksjon av logiske trær (fault trees). Dekomponering av strukturer i serie- og parallellsystemer. Analyse av systemer der tilstandene for komponentene ikke er uavhengige, men assosierte, og utledning av skranker for systempåliteligheten i slike situasjoner. Pålitelighet av nettverk. Tilgjengelighet. Teorien blir belyst med enkle eksempler fra forskjellige anvendelsesområder.
Risikoanalyse Statistiske metoder	Matematisk statistikk	Kurset gir en innføring i en del av de viktigste statistiske metodene som nyttes i risikoanalyse. Emner: Kvantifisering av risiko. Risikoanalyse som grunnlag for beslutning. Kvantitative risikoanalytiske teknikker med spesiell vekt på feiltreanalyse. Bruk av dataprogrammer i feiltreanalyse. Datakilder. Analyse av feil med felles årsak. Gjennomgang av metodeverktøyet i et utvalg utførte risikoanalyser.

Vern og sikkerhetsanalyse i kraftsystemer	Elkraftteknikk	Drift av kraftsystemer innebærer to hovedkategorier av risikofaktorer: Risiko for svikt i kraftforsyningen og risiko for skade på mennesker og materiell. Begge kategorier er knyttet til feil som kan oppstå i kraftsystemene og søkes begrenset ved en rekke tiltak. Faget tar opp problemstillinger i to hoveddeler: Prinsipper og tekniske løsninger for vern av anleggsdeler i kraftsystemer. Analysemetoder for kartlegging av risikofaktorer.
Sikkerhetsteknikk (hovedfag)	Maskinkonstruksjon	I dette hovedfaget vil en undervise i forskjellige metoder og teknikker som kan benyttes til å ta vare på de sikkerhetsmessige aspekter under planlegging, konstruksjon og bygging. En vil legge vekt på å analysere sikkerheten, styre sikkerhetsarbeidet og se spesielt på vedlikehold som en viktig sikkerhetsparameter. Hovedfaget består av: 60578 Risikoanalyse, systemtekniske metoder H 60580 Vedlikeholdsteknikk V 60583 Sikkerhetsstyring V 00783 Risikoanalyse. Statistiske metoder H
Mekanisk pålitelighet	Maskinkonstruksjon	Kurset gir en innføring i den del av pålitelighetsteknikken som i hovedsak har anvendelse innen maskinkonstruksjon og prosjektering av prosessanlegg. Emner: Pålitelighetsteknikkens sannsynlighetsteoretiske grunnlag. Beskrivelse av feilmekanismer - modeller. Analyse av systemer som utsettes for tilfeldig varierende belastninger. Analyse av data fra levetidsforsøk.

Tabell 3 Dr. ing. fag innen sikkerhet og pålitelighet

Fagtitel	Ansvarlig avd.	Innhold
Pålitelighet av el-kraftsystemer (Undervises annethvert år)	Elektrotekniskavdeling	Faget tar sikte på å utdype og videreføre det analytiske grunnlag for å kartlegge systemers pålitelighetsegenskaper. Noen hovedemner: Ulike former for beskrivelse av systemers pålitelighet: gjennomsnittsbeskrivelser basert på logiske skjema (feiltre o.l.), Markovmodeller, tidsavhengige beskrivelser på integralform (fornyelsesteori). Pålitelighetsanalyse i planlegging av elkraftsystemer. Driftssikkerhet i elkraftnett. Pålitelighetsanalyse som verktøy og del av risikoanalyser.
Pålitelighet i telesystemer (Undervises annethvert år)	Elektroteknisk avd.	Faget gir oversikt over anvendte begreper og metoder innen pålitelighetsteknikken og innføring i praktisk pålitelighetsanalyse, med anvendelseseksempler for aktuelle telesystemer. De viktigste pålitelighetsbegrep, teoretisk grunnlag og praktisk anvendelse. Aktuelle pålitelighetsfordelingsfunksjoner. Tilstandsdiagram, beregning av praktiske systemparametre. Analyse av systemer med ulike

Pålitelighet i datasystemer (Undervises annethvert år)	Elektroteknisk avdeling	redundansformer. Bayes strategi. Pålitelighetsdata for elektriske komponenter. Komponentprøving. Analyse av reservedelsbehov. Anvendelseseksempler for konkrete telesystemer. Pålitelighetsaspekter for programsystemer, Datamaskinbasert pålitelighetsberegning.
Konstruksjoners pålitelighet (Forelest våren 81, neste gang våren 84)	Skipsteknisk avdeling	Faget omfatter pålitelighet i datasystemer, hvordan denne kan uttrykkes kvantitativt og påvirkes ved forskjellige konstruksjonsmetoder. Faget er et konstruksjonsfag som tar sikte på å gjennomgå forskjellige metoder for å øke påliteligheten i datasystemer. Foruten det nødvendige grunnlag i pålitelighetsteorien, vil emner som inngår i faget være: Feilmekanismer i utstyr og programmer. Feildetekterende systemer, feiltolerante systemer, Redundansteknikker, Rekonfigurerbare systemer.  Hensikten med faget er å gi en innføring i sannsynlighetsteoretisk analyse av konstruksjoners oppførsel og sikkerhet. Spesiell vekt vil bli lagt på skip, flytende og faste plattformkonstruksjoner og trykkskrog. Faget omfatter følgende emner: Klassifikasjon av belastninger. Statistisk beskrivelse av stokastiske, mekaniske belastninger. Karakterisering av korrosjon og andre slitasjefenomener. Metoder for last-effektanalyse. Usikkerheten i last-effektanalysen. Sannsynlighetsteoretisk beskrivelse av konstruksjonskomponenters kapasitet mot sprø og duktile brudd og utmatting. Pålitelighet av enkle konstruksjonskomponenter. Systempålitelighet. Subjektiv oppdatering av påliteligheten ved bruk av Bayes' statistikk o.l. Dimensjoneringsregler basert på sannsynlighetsteoretiske metoder. Konstruksjoner som del av et overordnet teknologisk system. Konstruksjonspålitelighetens innflytelse på total pålitelighet.

#### 5B Utdanningsressurser ved Universitetet i Oslo (UiO)

Utdannelsestilbudet i pålitelighetsteori og risikoanalyse ved UiO er en av 12 prioriterte teknologisk orienterte studieveier (TOS). Hensikten med TOS-utbyggingen ved UiO er å supplere den virksomhet som foregår på NTH på enkelte nøkkelområder. I vårt fagområde ønsker en ved utbyggingen i Oslo først og fremst å styrke den målrettede grunnforskning i pålitelighetsteori samt å sikre tilførsel av kandidater med forskningsbakgrunn i pålitelighetsteori til undervisningsinstitusjoner, eksterne forskningsmiljøer og til industrien.

Virksomheten er tillagt Matematisk institutt, avdeling for statistikk og forsikringsmatematikk. Denne avdeling har 4 studieretninger/mål under hovedfaget og en av disse er "statistikk med pålitelighetsanalyse". I Figur 2 har vi gitt et eksempel på en studievei under denne studieretningen.

Figur 2

11	Forsknings-		H
10	oppgave		V
9	S 381	S 206	H
8	S 380	S 205	V
7		S 105	H
6	MA	IN 105	V
5	354	S 104	H
4		S 107	V
3	MA 105	S 092	H
2	MA 104	S 091	V
1	MA 100	Examen philosophicum	H
0	5	10	

Vekttall

MA-fag betegner her matematikk, S-fag statistikk og IN-fag informatikk. De ledige 15 vekttall (3 semesters arbeid) kan velges blant matematikk, mekanikk, fysikk, informatikk, samfunnsfaglige emner eller emner fra andre tekniske utdanningsinstitusjoner.

Nøkkelfagene i studieretningen er S 105, S 380 og S 381 som er beskrevet i det følgende. Det bør bemerkes at S 105 også er passende som støttekurs i andre fagkretser og som videre- og etterutdanning for realister og ingeniører. Som læremidler i S 105 brukes [1], [2], [9].

#### S 105 Innføring i pålitelighetsanalyse

Innhold: Koherente systemer, representasjon av koherente systemer ved hjelp av stier og kutt, pålitelighetsberegninger for systemer av uavhengige komponenter, komponenters pålitelighetsmessige betydning, assosierte stokastiske (tilfeldige) variable, grenser for systempålitelighet, statistiske slutninger for den eksponentielle levetidsfordeling, case studier fra anvendt pålitelighetsanalyse, pålitelighetsanalyse sett i et samfunnsmessig perspektiv.

Mål: Først og fremst å gi det sannsynlighetsteoretiske grunnlag for å beregne påliteligheten til et system, dvs. sannsynligheten for at systemet funksjonerer, når påliteligheten til enkeltkomponentene systemet består av er kjent. Videre ønsker en å gi en introduksjon av den Bayesianske slutningsteori som er rettet mot anvendelser i pålitelighetsanalyse.

### S 380 Pålitelighetsteori

Emnet er en direkte fortsettelse av grunnemnet S 105 og har til hensikt å presentere noe av det teoretiske grunnlag for å utføre pålitelighetsanalyser av kompliserte systemer. Det vil lede frem til forskningsfronten i utvalgte delområder. Slike områder er: Mål for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent. Multinær pålitelighetsteori der komponenter/systemer beskrives mer nyansert enn som funksjonerende eller ei. Optimale vedlikeholds-, inspeksjons- og utskiftningsstrategier. Teori i grenselandet pålitelighetsteori/grafteori.

### S 381 Risikoteori

I dette emnet presenteres modeller for den usikkerhet som knytter seg til forretningsresultatet for forsikringsselskaper og metoder til å bringe slik risiko under kontroll. Også andre slags risikoforretninger dekkes av teorien. Områder som tas opp er: Stokastiske prosesser som brukes som modeller for risikoprosesser. Ruinproblemet for flere av disse prosesstypene. Sannsynlighetsfordelingen for prosessens tilstand på et gitt tidspunkt (f.eks. årsresultatet for forsikringsforretninger). Hvordan sannsynligheten for "ruin" kan bringes på et akseptabelt nivå ved passende valg av premiesystem, reassuranseplan og sikkerhetsreserve.

I tillegg gis det ved Matematisk institutt, avdeling for mekanikk et seminar i Ocean Engineering der en bl.a. tar opp konstruksjonsmessig pålitelighetsanalyse. Seminaret ledes av en professor II fra Veritas.

Takket være en iherdig innsats fra folk i ikke-permanente stillinger samt hovedfagsstudenter har en i dag et allsidig og slagkraftig forskningsmiljø i pålitelighetsteori ved UiO. Dette er reflektert i kurset S 380. En svakhet er at det store behov for detaljert faglig veiledning er knyttet til en eneste mellomstilling. Dette gjør at antall hovedfagsstudenter i dag ligger rundt 6, mens rekrutteringspotensialet er det dobbelte.

En annen svakhet ved dette er at den fast ansatte får liten tid til å orientere seg i mer anvendt retning ved f.eks. deltidsarbeid eksternt. I dag dekkes case-studiene i S 105 av en cand.real. fra Veritas. For å påpeke at studentene ved UiO likevel ikke bare arbeider med pålitelighetsteori, kan vi til slutt nevne at i tillegg til den ene som arbeider med anvendelser av multinær teori på elektriske kraftsystemer (nevnt i innledningen), arbeider en for Shell International med studier av feildata for rørledninger utfra Bayesiansk metodikk.

#### 5C Andre kurs

Vi skal her bare kort nevne at det stadig arrangeres kortere etterutdanningskurs i pålitelighetsteknikk i Norge. I oktober arrangerte f.eks. Norges Kvalitetstekniske Forening et slikt 3-dagers kurs. Likeledes står Norske Sivilingeniørers Forening stadig bak slike kurs og har i tillegg et eget brevkurs i risikoanalyse [11].

#### 6. Sluttkommentar

La meg til slutt få påpeke nytten av at folk i de ulike nordiske land, om de arbeider mest med anvendt eller teoretisk pålitelighetsanalyse, kan komme sammen i et felles forum. Samlet utgjør vi en betydelig ressurs, mens vi kanskje enkeltstående har mindre å fare med. Seminarer som dette og som de årlige symposier arrangert av Society of Reliability Engineers (SRE), Scandinavian Chapter er derfor vel verdt å satse på både fra den enkelte interessents side og fra samfunnets side.



## 7. Referanser

- [1] Barlow, R.E. and Proschan, F. (1975). Statistical Theory of Reliability and Life Testing. Probability Models. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- [2] Barlow, R.E. and Proschan, F. (1982). Data Analysis and Inference in Reliability and Biometry. Wiley, New York.
- [3] Becker, P.W. and Jensen. Design of Systems and Circuits, Laboratoriet for Elektronik, DTH.
- [4] Ervamaa, J., Mankamo, T., Suokas, J. Reliability Engineering (på finsk).
- [5] Holen, A.T. (1974). Pålitelighet i Elektriske Kraftsystemer, De Krafttekniske Institutter, NTH.
- [6] Holen, A.T., Høyland, A. og Rausand, M. (1982). Pålitelig hetsanalyse. Tapir, Trondheim.
- [7] Jensen, F. og Petersen, N.E. Burn-in. An Engineering Approach to the Design and Analysis of Burn-in Procedures.
- [8] Klefsjø, B. (1978). Tillförlitlighet. Institutionen för Tillämpad Matematik, Högskolen i Luleå.
- [9] Natvig, B. (1982a). Sannsynlighetsregning og Samfunn, Matematisk institutt, UiO.
- [10] Natvig, B. (1982b). Multistate coherent systems. Encyclopedia of Statistical Sciences. Vol.5. Wiley, New York, (kommer i mai 1984).
- [11] Norske Sivilingeniørers Forenings Brevskole (1981). Brevkurs i Risikoanalyse.
- [12] O'Connor, P.D.T. (1981). Practical Reliability Engineering. Heyden & Son, London.
- [13] Schnittger, J.R. (1982). Reliability for Mechanical Engineers. Department of Machin Elements, KTH.
- [14] Tinmannsvik, R.K. (1982). Undervisning innen Sikkerhet og Pålitelighet ved NTH. SINTEF 18, Trondheim.
- [15] Thoft-Christensen, P. and Baker, M.J. (1982). Structural Reliability Theory and Its Applications. Springer-Verlag, Berlin.