



## **EFP-92 / Sikkerhedssystemer for vindmøller. Forprojekt.**

**Forskningscenter Risø, Roskilde**

*Publication date:*  
1993

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Forskningscenter Risø, R. (1993). *EFP-92 / Sikkerhedssystemer for vindmøller. Forprojekt.*

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **EFP-92 / Sikkerhedssystemer for vindmøller**

**Risø-I-687(DA)**

**Forprojekt**

**Forskningscenter Risø, Roskilde  
Februar 1993**

**Abstract** Under Energistyrelsens EFP-92 program på vindenergiområdet er udført et forprojekt med titlen: »Sikkerhedssystemer for vindmøller. Metode til vurdering af svigtmåder og pålidelighed«. Projektet er udført i et samarbejde mellem BONUS Energy A/S, ELSAMPROJEKT A/S og Risø. Rapporten vedrører det under forprojektet udførte arbejde. Den indeholder en oversigt over kendte pålidelighedstekniske metoder, og et forslag til en analysemetode er præsenteret. Der er endvidere vist et eksempel på metodens anvendelse, og metoden er vurderet i forhold til indtrufne havarier. Et forslag til hovedprojektet er beskrevet.

# Indhold

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Muligheder og ønsker vedrørende pålidelighedsanalyse</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Kendte metoder til pålidelighedsanalyse</b>	<b>6</b>
3.1	Fejlmåde-fejleffekt analyse (FMEA)	6
3.2	HAZOP analyse	6
3.3	Fejltræsanalyse	6
3.4	Hændelsesekvens analyse	7
3.5	Årsags-konsekvens analyse	7
<b>4</b>	<b>Status for pålidelighedstekniske data</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Forslag til analysemetode</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Eksempel på anvendelse af metoden</b>	<b>10</b>
6.1	Indledning	10
6.2	Analysens forudsætninger	10
6.3	Analysens afgrænsning	11
6.4	Årsags-konsekvens analyse	11
6.5	Fejltræsanalyse	11
6.6	Data	11
6.7	Sandsynlighedsberegning	20
<b>7</b>	<b>Vurdering af metoden i forhold til havarier</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>Forslag til hovedprojektet</b>	<b>23</b>
8.1	Formålet med hovedprojektet	23
8.2	Hovedprojektets indhold	23
8.3	Deltagere i hovedprojektet	24
8.4	Tidsplan for hovedprojektet	24
8.5	Budget for hovedprojektet	24
<b>9</b>	<b>Referencer</b>	<b>27</b>



# 1 Indledning

Under Energistyrelsens EFP-92 program på vindenergiområdet er udført et forprojekt med titlen: »Sikkerhedssystemer for vindmøller. Metode til vurdering af svigtmåder og pålidelighed« (jf. ENS j.nr 1364/92-0007).

Projektet er udført i et samarbejde mellem BONUS Energy A/S, ELSAMPROJEKT A/S og Risø. Fra Risø deltog Prøvestationen for Vindmøller (PFV) og Risikoplanlæggruppen (RAG).

Rapporten vedrører det under forprojektet udførte arbejde. Dens disposition følger nøje den i projektinformationen anførte beskrivelse af projektet (ref.4).

Der henvises iverdigt til bilag 1, som indeholder en sammenligning mellem kravene til vindmøllers sikkerhedssystem i den danske vindmøllenorm (DS 472) og forslag til IEC standard for vindmøller (IEC TC88(sekretariat) 21A).

## 2 Muligheder og ønsker vedrørende pålidelighedsanalyse

Pålidelighedsanalyse er en disciplin, som er mere end fyrré år gammel, og der findes meget programmel til udførelse af de probabilistiske beregninger. De til beregningerne benyttede systemmodeller skal konstrueres manuelt, omend der gøres en indsats fra forskellig side for at indføre computer bistand dertil.

Pålidelighedsanalyse indebærer p.t. i princippet udmærkede muligheder for at kunne anvendes - i mere eller mindre tillempet form - til analyse af vindmøllers sikkerhed. I praksis begrænses mulighederne imidlertid kraftigt af manglen på pålidelighedstekniske data. Dette gælder både for data for det tekniske udstyr, d.v.s. data for hyppighed for svigt og reparation af komponenter og delsystemer, og for menneskelige fejl.

Til dato er der kun rapporteret ganske få pålidelighedsanalyser i litteraturen (ref.7 og ref.8). I EF-regie er der startet et projekt vedrørende

vindmøllers pålidelighed (NEWECs-45) og i Holland udføres et projekt vedrørende »Probabilistic Safety Assessment for Wind Turbines« (ref.9). Hvad detailleringsgrad angår har man i både ref.7 og ref.8 fulgt almindelig praksis, at gå til det højeste niveau for hvilket data foreligger, d.v.s. det niveau, som datakilderne ligger på, jf. afsnit 4.

De fra projektdeltagerne fremsatte ønsker med hensyn til hvad pålidelighedsanalyse skal kunne anvendes til afspejles i indholdet af hovedprojektet, jf. afsnit 8, og kan sammenfattes i følgende 2 punkter:

1. Vurdering af pålideligheden af alternative udførelser af sikkerhedssystemerne.
2. Beregning af havarisandsynligheden for en given vindmølle.

## 3 Kendte metoder til pålidelighedsanalyse.

Nedenstående afsnit indeholder en kortfattet redegørelse for kendte pålidelighedstekniske metoder, som kan komme på tale ved analyse af pålideligheden af sikkerhedssystemer i vindmøller. Angående yderligere detaljer henvises til litteraturen, se f.eks. ref.5 og ref.6.

### 3.1 Fejlmåde-fejleffekt analyse (FMEA)

Fejlmåde-fejleffekt analyse (FMEA) er en induktiv metode med det primære formål på systematisk vis at vurdere systemmæssige konsekvenser af komponentsvigt.

En analyse af denne art omfatter i princippet alle tænkelige komponentsvigt, men i praksis udelades ofte sådanne svigt, som opstår med en sandsynlighed, som er meget lille i forhold til sandsynligheden for de øvrige svigt, der kan opstå.

Fejlmåde-fejleffekt analyser udføres normalt ved udfyldelse af et dertil udarbejdet skema, som letter overblikket for såvel analytikeren som læseren. Skemaet indeholder en liste over alle komponenter og enheder i det analyserede system, og for hver komponent og enhed er anført samtlige mulige og relevante fejlmåder samt disses konsekvenser for systemet.

Fejlmåde-fejleffekt analyser udføres oftest manuelt og benyttes meget til pålidelighedsanalyser på Risø. Eksempler på skemaer forefindes. VTT i Finland har udviklet en metode til automatisk fejlmåde-fejleffekt analyse (ref.1).

### 3.2 HAZOP analyse

I en HAZOP (Hazard and Operability) analyse anvendes en systematisk teknik til at identificere risici og driftsproblemer i et teknisk system.

Hver delproces eller delfunktion analyseres, og alle mulige og relevante afvigelser fra normale driftsbetingelser samt årsager dertil noteres i et skema. Konsekvenserne for processerne og funktionerne vurderes, og mulige foranstaltninger, som er nødvendige for at detektere relevante afvigelser, som kunne føre til farlige hændelser eller driftsproblemer identificeres.

Forskellige edb programmer er udviklet til at udføre HAZOP analyser. Risø har deltaget i udviklingen af STARS programmet, i et EF projekt. STARS programmet er af denne type, og det

foreligger på nuværende tidspunkt i en prototype version.

HAZOP analyser er på Risø fortrinsvis blevet anvendt til risiko- og pålidelighedsanalyser af udstyr i kemiske proces-anlæg. De dertil hørende skemaer forefindes.

### 3.3 Fejltræsanalyse

Fejltræsanalyse er den mest udbredte form for analyse af årsagerne til en uønsket hændelse f.eks. svigt af et teknisk system.

Fejltræanalyser er implicit eller explicit baseret på FMEA. I en fejltræsanalyse anvendes særlige logiske symboler ved konstruktion af fejltræ-diagrammer. Den analyserede uønskede hændelse benævnes tophændelsen på grund af sin plads i spidsen- ofte toppen- af fejltræet. I fejltræet beskrives årsagerne til den analyserede tophændelse som en kombination af andre hændelser. Disse opbygges ved hjælp af »OG-PORTE«, hvis udgange kun indtræffer, hvis alle indgangene indtræffer og »ELLER-PORTE«, hvis udgange indtræffer, hvis blot een af indgangene indtræffer. De hændelser i fejltræet, som ikke beskrives som kombinationer af andre hændelser benævnes basishændelser. Fejltræet udbygges indtil man har nået det ønskede detailleringsniveau for basishændelserne, hvilket bl.a. afhænger af tilgængeligheden af relevante erfaringsdata for disse.

Resultatet af en fejltræsanalyse kan være både kvalitativt og kvantitativt. Det kvalitative resultat omfatter bl.a. identificerede basishændelser og kombinationer af sådanne, som kan medføre tophændelsen, og det kan i sig selv i mange tilfælde være et nyttigt hjælpemiddel til brug ved identifikation af eventuelle svage punkter i systemet, subsidiært muligheder for forbedringer af systemets pålidelighed. Det kvantitative resultat angiver sandsynligheden for tophændelsen, og resultatets pålidelighed afhænger naturligvis af, hvor komplet og korrekt fejltræet er, samt hvor korrekte og relevante pålideligheds-data, som er anvendt for basishændelserne.

Fejltræsanalyse er den metode, som normalt benyttes til pålidelighedsanalyse på Risø. Der forefindes et program til konstruktion af fejltræer samt to forskellige programmer - FAUNET og SIMON til kvalitativ og kvantitativ analyse af dem.

### 3.4 Hændessekvens analyse

Hændessekvens analyse anvendes til undersøgelse af svigtforløb, som omfatter hændelser - ofte alternative - som indtræffer i en bestemt rækkefølge. Det mest udbredte værktøj til denne form for analyse er hændelsestræet.

Et hændelsestræ konstrueres ved at definere en primær hændelse og derefter identificere mulige og relevante sekvenser af hændelser, som kan forekomme som følge af den primære hændelse. De elementer, som et hændelsestræ er opbygget af, er derfor hændelser, som er forbundet med linier, som følger det tidsmæssige, kausale forløb samt logiske forgreninger, hvor alternative forløb er mulige.

Resultatet af en hændelsestræsanalyse er en serie mulige hændessekvenser, som kan indtræffe efter den primære hændelse. I mange tilfælde foretages også en vurdering af sandsynlighederne for sekvenserne. Vurderingen udføres på basis af sandsynlighederne for de enkelte hændelser, som ofte beregnes ved hjælp af fejltræsanalyser, men beregningen af sekvenssandsynlighederne kan give anledning til vanskeligheder p. gr. af afhængigheder mellem de enkelte hændelser.

Identifikationen af relevante hændessekvenser foregår manuelt og udføres ved analyser på Risø ofte i forlængelse af årsags-konsekvens analyser, som er beskrevet nedenfor.

Kvantificeringen af de identificerede sekvenser foregår ved hjælp af Risøs ovennævnte programmer til fejltræsanalyser.

### 3.5 Årsags-konsekvens analyse

I en årsags-konsekvens analyse anvendes en teknik, som indeholder er en kombination af de metoder, som benyttes i fejltræ- og hændelsestræsanalyser.

En speciel form for diagram, bestående af symboler med forskellig betydning og indhold samt logiske og sekventielle forbindelseslinier imellem dem, konstrueres. Dette gøres ved at definere en kritisk hændelse, og derefter specificeres de deraf følgende hændelser og diagramruter, som udgår fra den kritiske hændelse. Endvidere specificeres de hændelser, som forårsager den kritiske hændelse samt eventuelle logiske relationer mellem disse. Det betyder, at den i tiden fremadskridende del af diagrammet ligner et hændelsestræ og den bagudgående del et fejltræ.

Årsags-konsekvens analyser udmærker sig ved at gøre det muligt, at tage hensyn til alternative konsekvensruter samt tidsforsinkelser og den tidsmæssige rækkefølge af hændelserne.

Årsags-konsekvens diagrammet er et meget fleksibelt værktøj, som giver mulighed for at skaffe analytikeren et omfattende overblik over de mulige uheldsforløb. Sådanne diagrammer kan endvidere danne udgangspunkt for såvel hændelsestræ- som kvalitative og kvantitative pålidelighedsanalyser.

Årsags-konsekvens analyse udføres manuelt og er en metode, som hyppigt anvendes til pålideligheds- og risikoanalyser på Risø. Diagrammerne konstrueres ved hjælp af standard tegneprogrammer som f. eks. DrawPerfect.

## 4 Status for pålidelighedstekniske data

Status for pålidelighedstekniske data for vindmøller er desværre, at der ganske enkelt ikke foretages nogen systematisk indsamling og registrering af driftserfaringer med henblik på anvendelse til pålidelighedsanalyse.

Hos BONUS anvendes den på fig. 4.1 viste arbejdsordreseddel. Denne formular er primært beregnet til bogholderimæssige formål; den indeholder imidlertid, som det ses, rubrikker til fejlkode og fejlårsagskode, men disse rubrikker benyttes ikke altid, og informationen på arbejdsordresedlerne er ikke indført på edb. Iøvrigt er kodningen langt fra detaljeret nok til at kunne danne grundlag for kvantitative pålideligheds-

mæssige analyser.

På fig. 4.2 er vist en side fra en kvartalsrapport over vedligehold på BONUS møller i USA. Disse rapporter er lagret på edb, og som det ses, har man konsekvent anvendt en kodning af det udførte arbejde. Rapporterne kan derfor analyseres ved hjælp af edb, men kodningen vedrører ikke fejlårsager, men kun arbejdets art.

I tilfælde som her, hvor der ikke er adgang til data, som er baseret på driftserfaringer med det aktuelle udstyr, gør man ofte det, at man benytter data fra håndbøger vedrørende tilsvarende udstyr andetsteds fra- de såkaldte generiske data. Denne fremgangsmåde skal imidlertid benyttes med stor



varsomhed, fordi pålidelighedstekniske data varierer meget med fabrikat og driftsbetingelser. I referencelisten er anført tre datakilder (ref.10-12) samt en bog om databanker (ref.13).

I hovedprojektet foreslås oprettet en databank for pålidelighedstekniske data, jf. afsnit 8, som en nødvendig forudsætning for, at der kan udføres realistiske pålidelighedsanalyser af vindmøller.

BONUS <small>møllen</small>		ARBEJDSORDRE		s 022456	
Ejer(e) :	<i>VINDCEL 7</i>	Mølle nr.:	<i>415-450021</i>		
Kunde nr.:	<i>502075</i>	Ordre nr.:			
Prod. S. Gen.:	<i>225114</i>	Timer:	<i>2174</i>	OK-mølletimer:	
Prod. L. Gen.:		Timer:		Fejlkode	
TIPBREMSE TEST	<input type="checkbox"/> Ja	RPM		<input type="checkbox"/> Oliestand på gear OK	
RAPPORT:	<input type="checkbox"/> Nej	M/sek.		<input type="checkbox"/> Olie efterfyldt	
<i>STØJRET KØR NETSPÆNDING FOR ULL</i>					
<i>KE'S FEJL</i>					
<i>Møllen stoppet pga - "Netspænding for høj"</i>					
Arbejdet udført den <i>12/12</i> 1991					
Afslutte <input checked="" type="checkbox"/>		Fortsætter <input type="checkbox"/>		Follow besøg <input type="checkbox"/>	
ARBEJDS TIMER		RESERVEDELE			
Nr./Fornavn		Fejl årsagskode	Vare nr.	Antal	Serie nr.
Monter:	<i>MJ</i>		100.000	1	<i>(E)</i>
Ankomst til mølle kl.:	<i>10<sup>00</sup></i>				
Afslutning ved mølle kl.:	<i>10<sup>30</sup></i>				
Køretid timer:	<i>0</i>				
Bil nr.:					
Antal km.:					
Værksted timer:					
Fakt. nr.			<i>Dokument nr.:</i>	<i>40A00900618 91</i>	
GARANTI:					
Service afd.:		Fakt. nr.:		Godkendt:	<i>KJ</i>

### Fejlkode:

A	defekt/udskiftet	J	støj
B	utæt olie	L	brud
C	service/udskiftet	M	revner
D	mangler	N	modificeret ændring
E	tilpasnings-/just. fejl	O	fejlmontering
F	reparation	Q	service
H	transportskade	R	inspektion
I		S	lyn

Figur 4.1. Arbejdsordreseddel fra BONUS A/S.

LE: LUM41089 FIRST QUARTER INSURANCE REPORT  
LIVERMORE  
JANUARY 1 - MARCH 31, 1989

LOC/	SV/RT	DATE	PROD HRS	MAIN PROBLEM CODES											
DLT	SITE	#	DISC	REPT	CORR	LG	SM	KWH	PROD	1	2	3	4	5	6
DEPT	SITE	INSURANCE		KWH		OWNER									
1130	1106-	W31145			890227	8439	2321	612806	E208	C607	C501				
1130	1106-	W30377			890331	8655	2407	624265	D101	H201	C508				
1130	1107	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1107-	W29913			890113	10032	2039	584338	J127						
1130	1107-	W30376			890328	10377	2418	599453	D101	E101	C201	G202			
1130	1108	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1108-	W29914			890113	8288	2456	606900	J127						
1130	1108-	W34497			890605	9619	3274	684368	C505	H509	C501	G110			
1130	1109	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1109-	W30548			890201	6378	1411	463775	E742						
1130	1109-	W30588			890207	6407	1672	464024	H509						
1130	1109-	W31070			890218	6442	1724	476813	L309						
1130	1109-	W30325			890323	11202	1994	468830	D110	E110	G110				
1130	1110	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1110-	W27670			890119	7896	1867	503836	J127						
1130	1110-	W30587			890207	0088	2119	592010	H509	D504					
1130	1110-	W31071			890218	8127	2165	593248	L509	C607					
1130	1111	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1111-	W30035			890105	8447	1983	640468	C501	G309					
1130	1111-	W30417			890204	8588	2111	647156	D747						
1130	1111-	W30437			890207	8613	2141	648086	H509						
1130	1111-	W31069			890218	8660	2183	649882	L509						
1130	1112	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1112-	W34544			890531	9380	2443	647766	D505						
1130	1113	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1113-	W29003			890118	8510	2869	582114	D110	E113					
1130	1113-	W30273			890309	8702	2251	8983	A508						
1130	1113-	W31051			890316	8777	2297	603588	D101	E101					
1130	1114	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1114-	W30005			890116	8500	1860	759194	J127						
1130	1115	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1115-	W30806			890116	7992	1621	711131	J127						
1130	1115-	W31067			890218	8328	1862	729142	L509	C607					
1130	1115-	W31104			890302	8444	1898	726377	E509						
1130	1116	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1116-	W30807			890116	8626	1780	772362	J127						
1130	1116-	W29973			890212	8919	2817	788625	C501	G309					
1130	1117	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1117-	W30008			890116	8223	1714	743210	J127						
1130	1117-	W31068			890218	8544	1940	118139	L509						
1130	1118	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1118-	W30009			890116	6824	1283	586860	J127						
1130	1119	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1119-	W30010			890116	7617	2021	643757	J127						
1130	1119-	W31095			890218	7931	2258	950908	L509						
1130	1120	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1130	1121	*****HAFNIA	*****	120M2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

## Kodning af arbejdet:

## Arbejdsart:

- A: Tilbagestillet
- B: Inspiceret
- C: Repareret
- D: Udskiftet
- E: Justeret

## Nummerering:

I henhold til specificeret komponent- og system kodning.

Fig. 4.2. Side fra kvartalsrapport vedr. BONUS møllerne i USA.

## 5 Forslag til analysemetode

Nedenstående fremgangsmåde foreslås til analyse af vindmøllers sikkerhedssystemer; de nævnte analysemetoder er beskrevet i afsnit 3:

1. Valg af analysens tophændelse.
2. Årsags-konsekvens analyse for den valgte tophændelse.
3. Hændessekvensanalyse.
4. FMEA.
5. Fejltræsanalyse.
6. Beregning af sandsynligheden for tophændelsen.

ad 1.

Valg af analysens tophændelse omfatter specifikation af det uheldsscenario, som ønskes analyseret. Ofte må der træffes et valg mellem adskillige muligheder.

ad 2.

Årsags-konsekvens analysen er valgt, fordi den giver det bedst mulige overblik over alternative uheldsforløb og samtidig danner et godt udgangspunkt for den efterfølgende analyse.

ad 3.

Hændessekvensanalysen består i den valgte analysemetode i en identifikation af hændesse-

kvenser, som fører til analysens tophændelse på grundlag af årsags-konsekvens diagrammet som et nødvendigt mellemled mellem dette og den efterfølgende analyse.

ad 4.

Fejlmåde-fejleffektanalysen er det systematiske middel til at sikre, at alle relevante basishændelser i de i hændessekvenserne involverede systemer er inkluderet i analysen.

ad 5.

Fejltræsanalysen omfatter opbygning af den logiske systemmodel, som er nødvendig for udførelse af de efterfølgende sandsynlighedsberegninger.

ad 6.

For at man kan udføre en realistisk beregning af sandsynligheden for tophændelsen, er det nødvendigt at foretage en omhyggelig vurdering af hyppigheder m.v. for alle de i fejltræet indgående basishændelser på det mest realistiske grundlag, der kan tilvejebringes. Sandsynlighedsberegningerne vedrørende analysens tophændelse udføres derefter normalt med et dertil beregnet edb program på grundlag af systemmodellen samt pålidelighedstekniske data for basishændelserne.

## 6 Eksempel på anvendelse af metoden

### 6.1 Indledning

Pålidelighedsanalysen i nærværende rapport vedrører sikkerhedssystemet i en 150 kW vindmølle af fabrikat Bonus, som er valgt bl.a. fordi denne type er bygget i mange eksemplarer, så man har særligt mange driftserfaringer med den.

Pålidelighedsanalysen er udført med følgende tophændelse, som blev fundet bedst egnet til formålet for dette projekt : Møllen løber løbsk. Andre mulige tophændelser er for eksempel: Bremsesystemet svigter ved funktionskrav, Luftbremserne svigter.

Analysen er udført på grundlag af den foreliggende dokumentation for den analyserede vindmølle, jf. ref. 2.

Analysen er udført på den måde, at der indledningsvis er udført en årsags-konsekvens analyse. På basis af resultatet af denne, er der derefter udført hændessekvens-, FMEA-, og fejltræsanalyser. På grundlag af de mest relevante data, som var til rådighed, er der sluttelig foretaget en vurdering af sandsynligheden for analysens tophændelse.

### 6.2 Analysens forudsætninger

Det forudsættes, at al kvalitetssikring vedrørende fremstilling, montage, drift, vedligehold, reparationsarbejde og rutinemæssige afprøvninger udføres i overensstemmelse med hidtidig praksis for denne mølletype.

Det forudsættes endvidere, at luftbremserne er konstrueret således, at udfældning af 2 vingetip- per er tilstrækkeligt til at undgå, at møllen løber løbsk.

Det er forudsat, at den mekaniske bremse ale- ne ikke er i stand til at forhindre en løbskkørsel.

Sprængblikenheden testes ikke. Det forudsæt- tes, at den fungerer.

### 6.3 Analysens afgrænsning

Analysen omfatter følgende systemer:

Kontrolsystemet, incl. sensorer

Computeren

Det hydrauliske system

Luftbremserne

### 6.4 Årsags-konsekvens analyse

På fig. 6.1 er vist årsags-konsekvens diagrammet, svarende til den valgte tophændelse for analysen: Møllen løber løbsk.

### 6.5 Fejltræsanalyse

Med udgangspunkt i årsags-konsekvens diagram- met på fig. 6.1 er udført en hændelsessekvensana- lyse, svarende til analysens tophændelse.

De til de i hændelses-sekvensanalysen identifi- cerede hændelser svarende delsystemer (og de dertil svarende underordnede tophændelser) er derefter hver for sig underkastet en FMEA analy- se. På grundlag af FMEA analyserne er derefter de tilsvarende fejltræer konstrueret.

De til analysens tophændelse (tophændelse nr. 5010: Møllen løber løbsk) svarende fejltræer er vist på fig. 6.2.a-e.

Numrene på tophændelserne svarer til de på fig. 6.1 anvendte, og referencenumrene på basis- hændelserne til de i nedenstående afsnit 6.6 an- førte datareferencer.

### 6.6 Data

I nedenstående afsnit er redegjort for fastlæggel- sen af de pålidelighedstekniske data, som er be- nyttet ved beregningen af sandsynligheden for analysens tophændelse. Referencenumrene hen- viser til de i fejltræet anførte ref. numre på alle basishændelserne.

Der foreligger intet system til indsamling af pålidelighedstekniske data på BONUS fabrikken. Alle de nedenfor anførte pålidelighedstekniske data, som er benyttet i denne analyse, er derfor

baseret på interviews med to vedligeholdsschefer og cheffingeniøren på fabrikken, hvor de pågæl- dende medarbejdere pr. hukommelse gav- iøvrigt særdeles samstemmende- oplysninger fra deres omfattende arbejde med udstyret i vindmøller af den analyserede type.

Den analyserede mølletype har ifølge BONUS til dato eksisteret i ca. 6 år i et antal, som er steget fra 0 til 300 møller, hvilket svarer til ialt  $6 \cdot 300/2 = 900$  mølle-år.

Det viser sig ved en gennemgang af de kombi- nationer af basishændelser, som forårsager analy- sens tophændelse- de såkaldte cutsets- at følgende tre basishændelser dominerer svigtbilledet:

Fejl nr. 107 (ref.nr. 7): CCF\*) Svigt af 2/3 vin- getippe

Fejl nr. 123 (ref.nr.13): CCF blok. af 2 afløb fra tip cylindre

Fejl nr. 124 (ref.nr.17): CCF svigt af 2 hydrauliske tip cylindre

\*) CCF= Common Cause Failure

Det betyder, at hyppighederne for ovennævnte fejl er dem, der i overvejende grad bestemmer, hvor hyppigt møllen løber løbsk. Hyppigheden for andre fejl har kun mindre betydning for ana- lysens resultat.

Fejlhyppigheden for hver af disse er fastsat så- dan, at der vil indtræffe 1 løbskkørsel på 900 mølleår, hvilket må siges at være en pessimistisk vurdering, da der ifølge erfaringen med den ana- lyserede mølletype ikke er indtruffet noget tilfæl- de af løbskkørsel med vindmøller af den analyse- rede type. Det viser sig, at dette svarer til en fejlhyppighed på hver af ovennævnte hændelser på  $3.58E-4$  /år.

Nedenstående afsnit er en redegørelse for data vedrørende alle basishændelserne i fejltræet i ref. nr. orden.

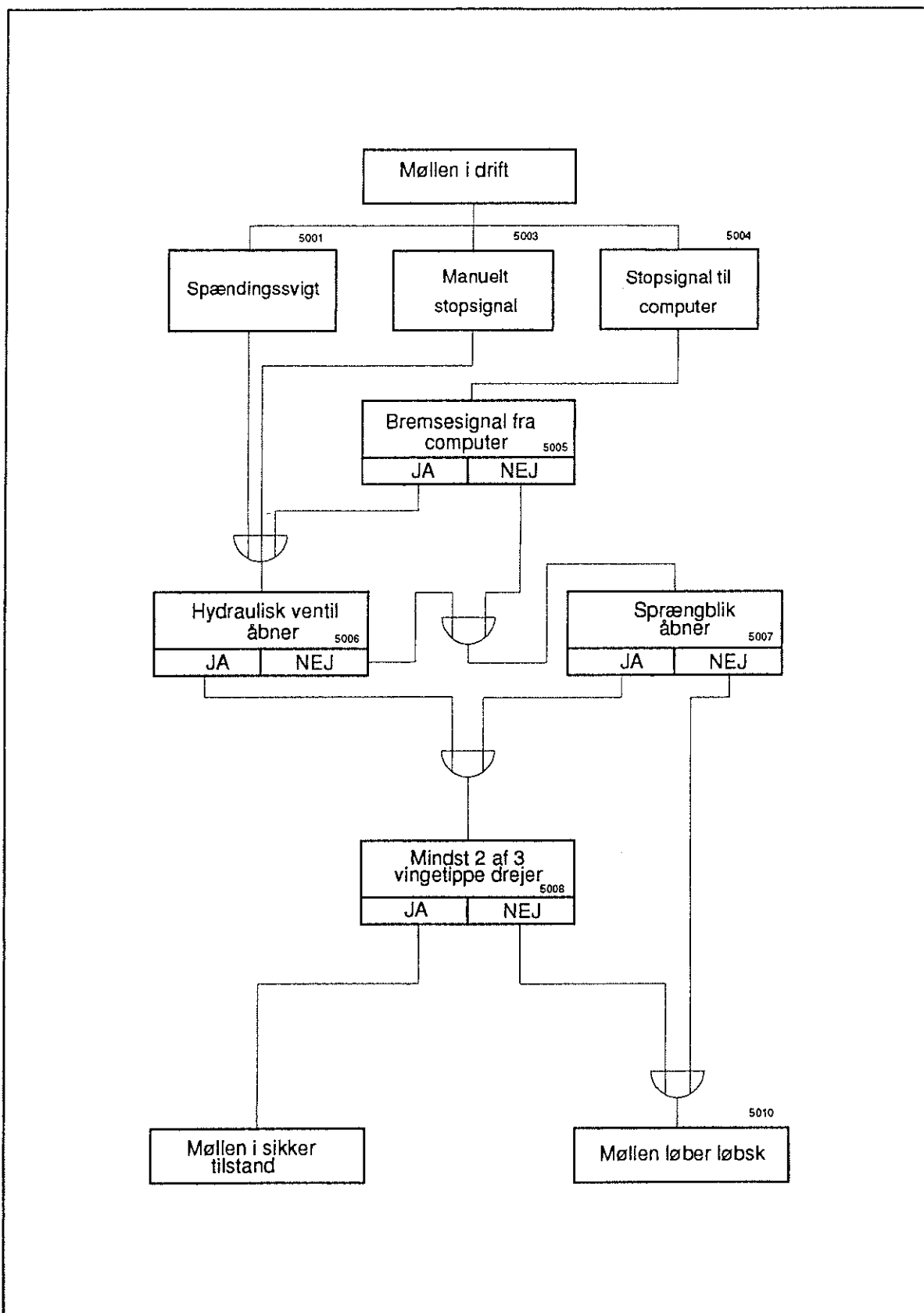
Ref. nr. 2

\*\*\*\*\*

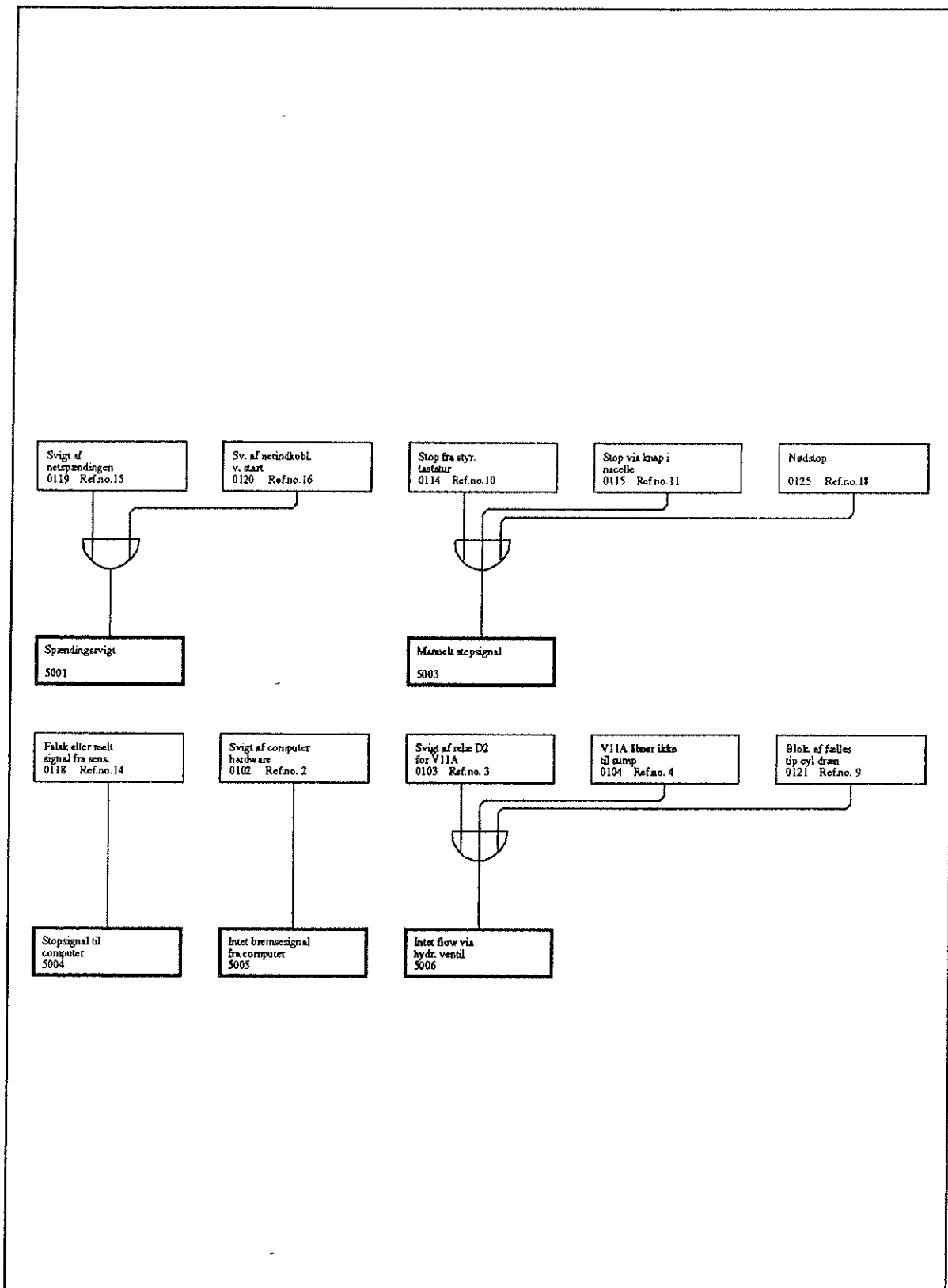
Basishændelser med dette ref. nummer:

102 Svigt af computer hardware

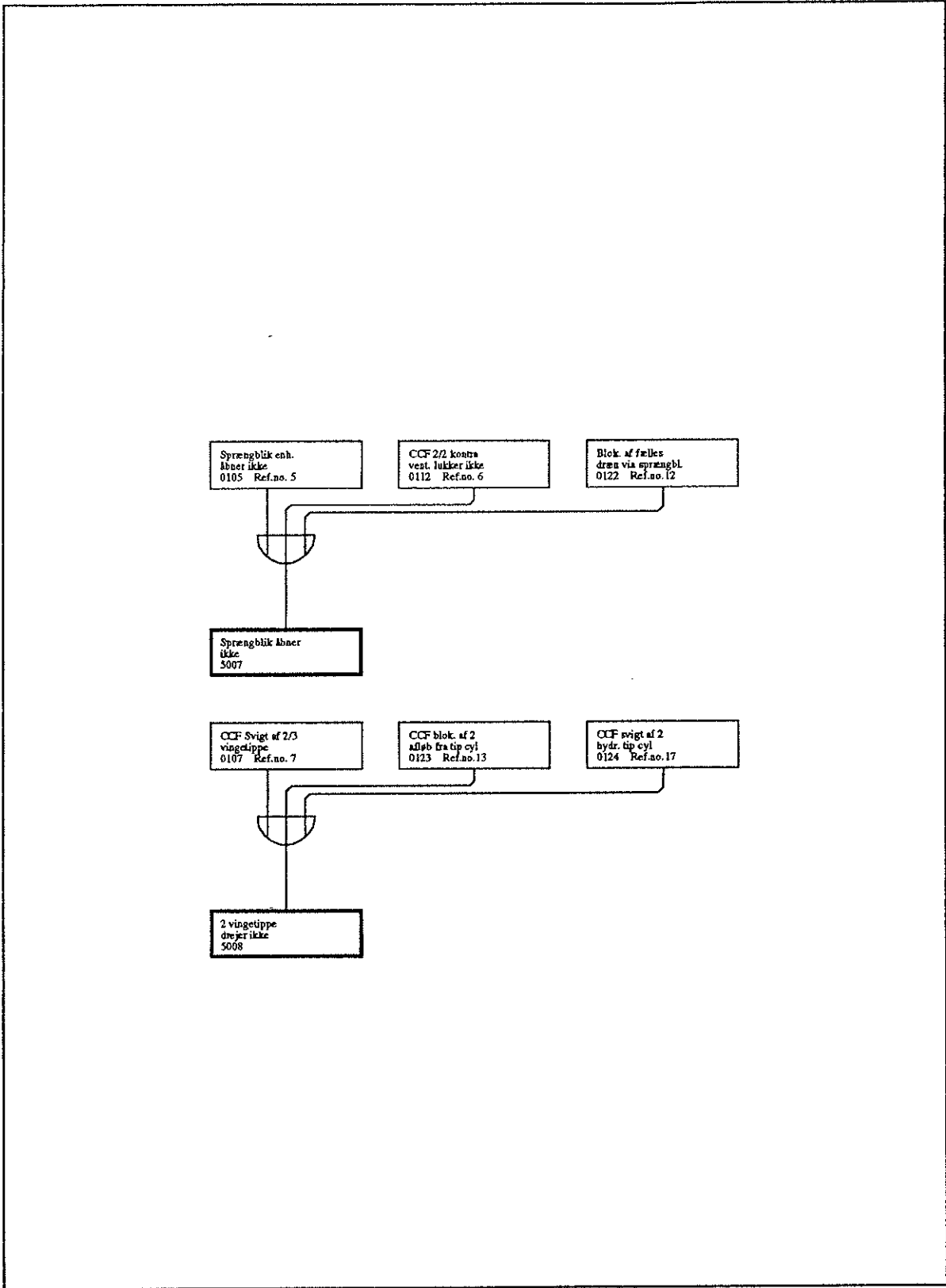
Hændelsen består i at der i tilfælde af et til computeren kommende signal ikke kommer et signal ud fra den på udgangsklemmerne på R.C.B.1. Dette skyldes en fejl i computeren, som ikke opdages af dens selvafprøvning hver 2.5 ms.



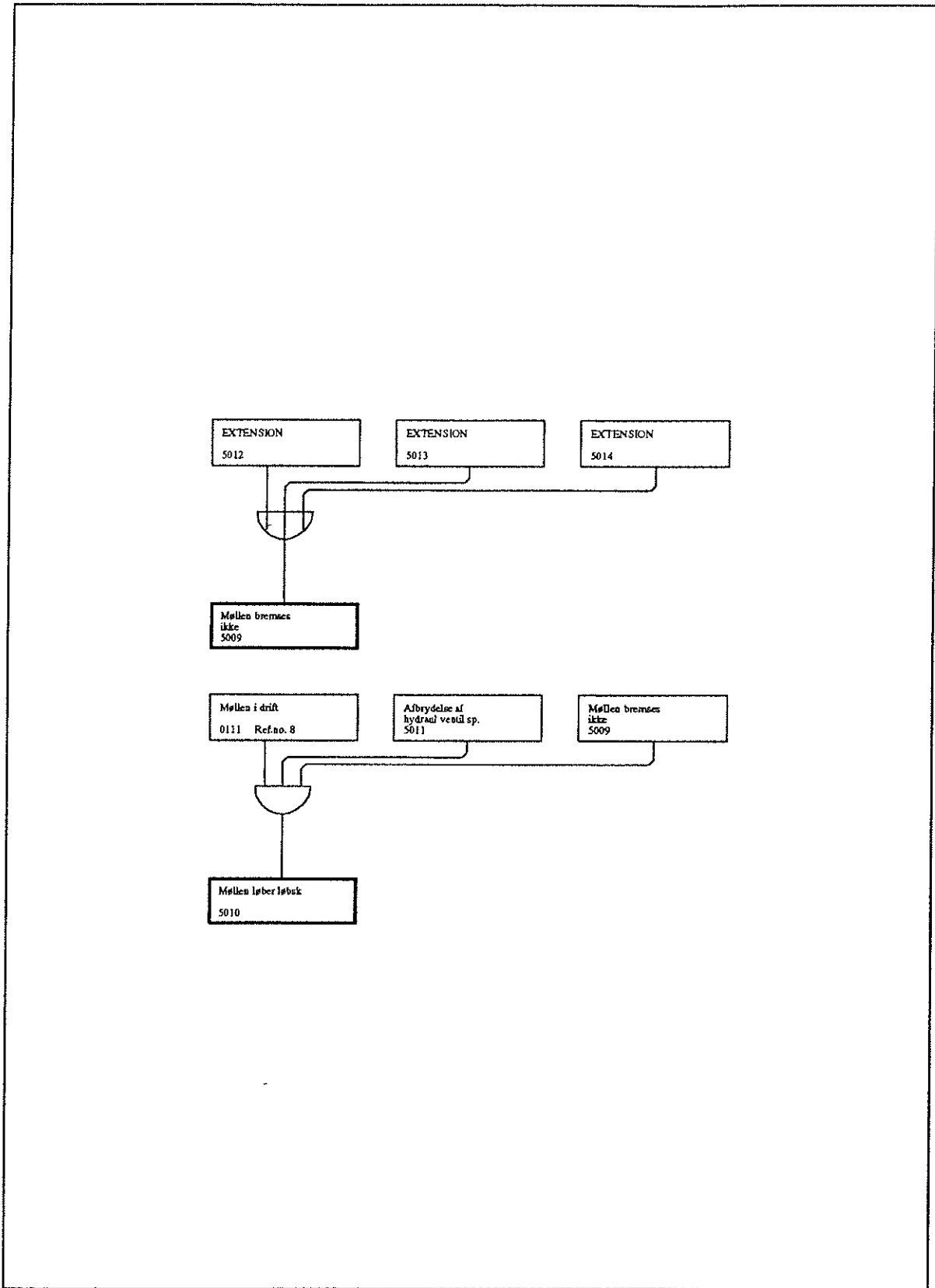
Figur 6.1. Årsags-konsekvens diagram for hændelsen: Møllen løber løbsk.



Figur 6.2.a. Fejltræ for analysens tophændelse. (Del 1 af 5).

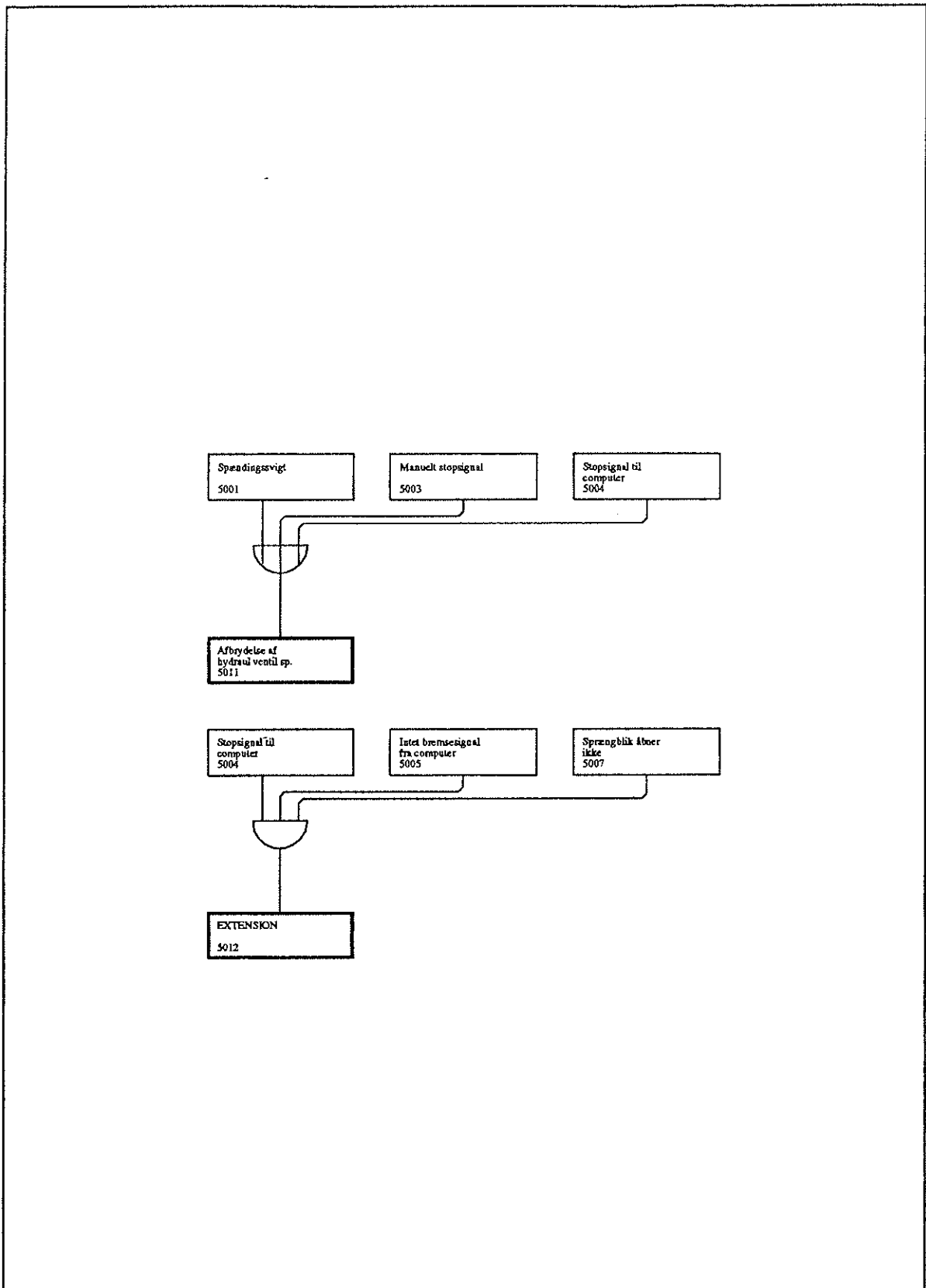


Figur 6.2.b. Fejltræ for analysens tophændelse. (Del 2 af 5).

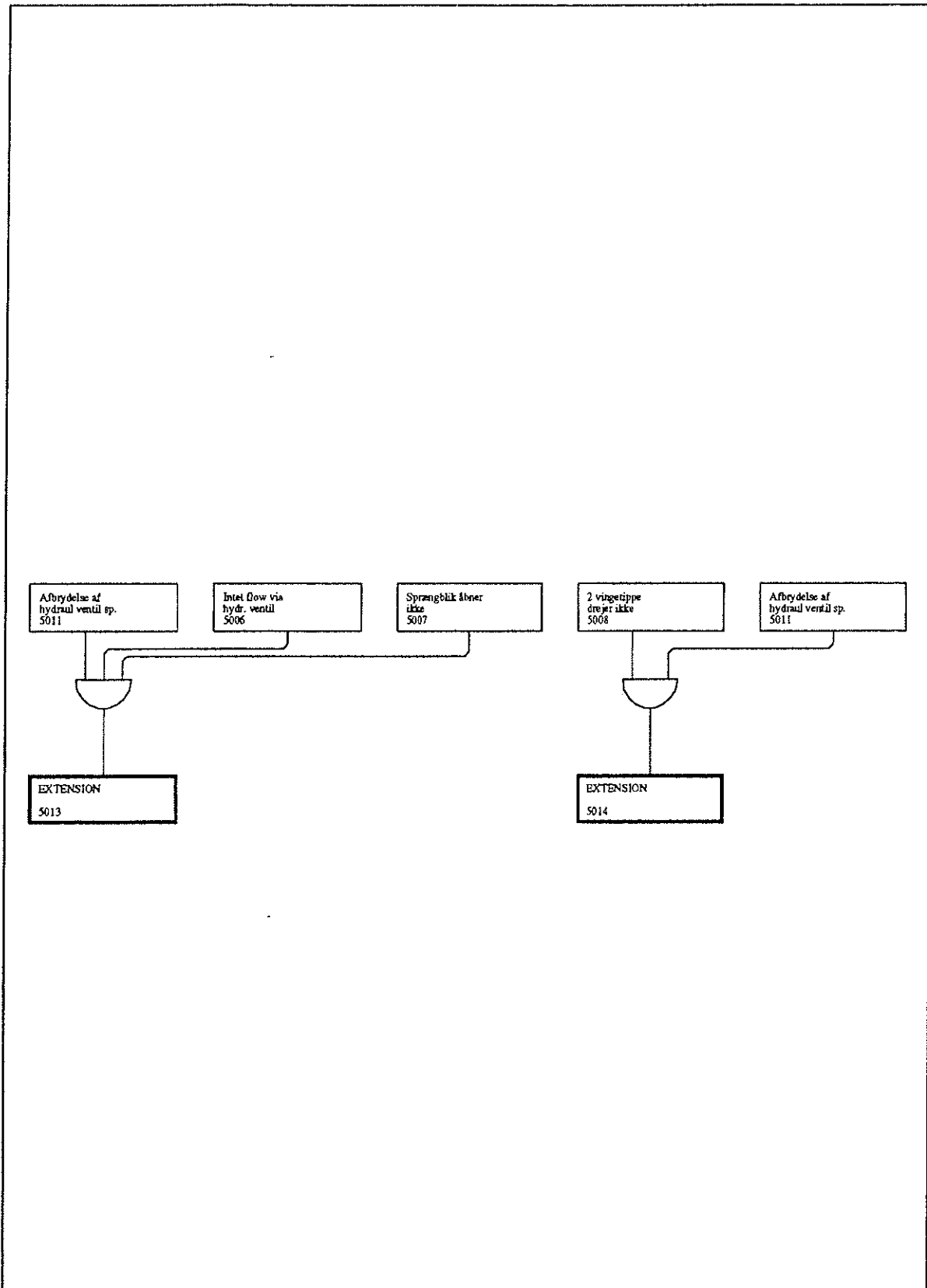


Figur 6.2.c. Fejltræ for analysens tophændelse. (Del 3 af 5).





Figur 6.2.d. Fejltræ for analysens tophændelse. (Del 4 af 5).



Figur 6.2.e. Fejltræ for analysens tophændelse. (Del 5 af 5).

Ifølge BONUS: Ingen hændelser observeret. Ifølge data ref.nr. 14 er der 13 indgangssignaler pr år pr mølle. Dette svarer til en fejlhyppighed på  $1/900/13 = 8.5E-5$  pr signal. Af beregningsmæssige grunde er sandsynligheden for basishændelse nr. 118 (ref. nr.14) inkluderet. Der regnes derfor med en sandsynlighed på  $13 \cdot 8.5E-5 = 1.1E-3$  /år.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 1.1E-3

**Ref. nr. 3**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

103 Svigt af relæ D2 for V11A

Ifølge BONUS er hændelsen ikke observeret. Fejlhyppigheden sættes til  $1/900/3 = 3.7E-4$  /år, således at den samlede hyppighed af basishændelserne nr 103, 104 og 121 bliver 1 på den samlede driftstid til dato.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 3.7E-4

**Ref. nr. 4**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

104 V11A åbner ikke til sump

Ifølge BONUS er hændelsen ikke observeret siden 1989, da man skiftede over til en anden ventiltype, hvilket svarer til ialt 600 mølle-år til dato. Fejlhyppigheden sættes til  $1/600/3 = 5.6E-4$  /år, således at den samlede hyppighed af basishændelserne nr 103, 104 og 121 bliver 1 på den samlede driftstid til dato.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 5.6E-4

**Ref. nr. 5**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

105 Sprængblik enh. åbner ikke

Ifølge BONUS er hændelsen ikke observeret. Sprængblikheden testes ikke. Det forudsættes i analysen, at sprængblikheden fungerer.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 0

**Ref. nr. 6**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

112 Kontra vent.15 lukker ikke

Ifølge BONUS kan hændelsen medføre, at luftbremserne forsinkes, så de ikke fungerer i tide. Ifølge BONUS er hændelsen ikke observeret. Kontraventilen testes ikke, hvilket medfører en relativt høj svigtsandsynlighed, idet der regnes med et testinterval, som er lig med møllens levetid d.v.s 20 år. Ifølge ref.11 tabel 19.2 er hyppigheden for denne fejl sat til  $1.8E-7$  (/h). Sandsynligheden for denne fejl er derfor sat til  $0.5 \cdot 1.8E-7 \cdot 20 \cdot 8760 = 1.6E-2$  pr signal.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 1.6E-2

**Ref. nr. 7**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

107 CCF Svigt af 2/3 vingetippe

Ifølge indledningen til afsnittet er sandsynligheden for hændelsen sat til  $3.58E-4$  /år.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 3.58E-4

**Ref. nr. 8**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

111 Møllen i drift

Ifølge BONUS er møllernes rådighedsfaktor i gennemsnit 98-99 %, og generatortiden ca. 80% af tiden. Møllen vil derfor være i drift i brøkke-

len  $0.985 \cdot 0.8 = 0.79$  af tiden. De anførte hyppigheder for krav til sikkerhedssystemet (tophændelse nr. 5001, 5003 og 5004) har imidlertid enheden pr kalenderår, og derfor er her benyttet en beregningsmæssig værdi for sandsynligheden af denne hændelse på 1.0.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 1.0

**Ref. nr. 9**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

121 Blokering af fælles tip cyl dræn

Ifølge BONUS er hændelsen ikke observeret. Fejlhyppigheden sættes til  $1/900/3 = 3.7E-4$  /år, således at den samlede hyppighed af basishændelserne nr 103, 104 og 121 bliver 1 på den samlede driftstid til dato.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 3.7E-4

**Ref. nr. 10**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

114 Stop fra styr. tastatur

Ifølge BONUS er hyppigheden 8-13 gange pr. år. Der regnes her med middelværdien 10.5 gange pr. år = 10.5. Beregningsmæssigt er denne hændelse inkluderet i sandsynlighederne for basishændelserne nr. 103 (ref.nr.3), 104 (ref.nr.4) og 121 (ref. nr.9) Sandsynligheden for denne hændelse er derfor regnet til 1.0.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 1

**Ref. nr. 11**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

115 Stop via knap i nacelle

Ifølge BONUS er hyppigheden for denne hændelse = 0, da denne stopfunktion ikke anvendes i praksis.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 0

**Ref. nr. 12**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

122 Blok. af fælles dræn via sprængbl.

Ifølge BONUS er hændelsen ikke observeret. Ifølge analysens forudsætninger regnes sprængblikenheden for at fungere. Hyppigheden for denne hændelse sættes derfor = 0.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 0

**Ref. nr. 13**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

123 CCF blok. af 2 afløb fra tip cyl

Ifølge indledningen til afsnittet er sandsynligheden for hændelsen sat til  $3.58E-4$  /år.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 3.58E-4

**Ref. nr. 14**

\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

118 Falsk eller reelt signal fra sens.

Ifølge BONUS er hyppigheden = 13 gange pr. år. Beregningsmæssigt er denne hændelse inkluderet i sandsynligheden for basishændelse nr.102 (ref.nr.2). Sandsynligheden for denne hændelse er derfor regnet til 1.0.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 1

**Ref. nr. 15**  
\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

119 Svigt af netspændingen

Der regnes her med den for enkeltstående møl-  
ler gældende værdi, som ifølge BONUS er 1 gang  
pr. år. Sandsynligheden for denne hændelse er  
inkluderet i sandsynligheden for basishændelser-  
ne nr 103 (ref. nr. 3), nr.104 (ref.nr.4) og 121  
(ref.nr.9). Sandsynligheden for denne hændelse  
er derfor sat til 1.0.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 1

**Ref. nr. 16**  
\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

120 Sv. af netindkobl. v. start

Ifølge BONUS sker dette 3-5 gange pr. år pr.  
mølle. Der regnes derfor med en hyppighed på 4  
gange pr. år. Sandsynligheden for denne hændel-  
se er inkluderet i sandsynligheden for basishæn-  
delserne nr 103 (ref. nr. 3), nr.104 (ref.nr.4) og  
121 (ref.nr.9). Sandsynligheden for denne hæn-  
delse er derfor sat til 1.0.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 1

**Ref. nr. 17**  
\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

124 CCF svigt af 2 hydr. tip cyl

Ifølge indledningen til afsnittet er sandsynlig-  
heden for hændelsen sat til  $3.58E-4$  /år.

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed:  $3.58E-4$

**Ref. nr. 18**  
\*\*\*\*\*

Basishændelser med dette ref. nummer:

125 Nødstop

Ifølge BONUS er hyppigheden for denne hæn-  
delse = 0

**Pålidelighedstekniske data:**

Type nr. = 1  
Sandsynlighed: 0

## 6.7 Sandsynlighedsberegning

På grundlag af det i ovenstående afsnit 6.5 viste  
fejltræ og de i afsnit 6.6 anførte data er foretaget  
en beregning af sandsynligheden for at den ana-  
lyserede vindmølle løber løbsk, svarende til fejl-  
træets tophændelse nr 5010.

Beregningen er udført med edb programmet  
FAUNET (ref.3)- et af Risøs programmer til ana-  
lyse af tekniske systemers pålidelighed. Til disse  
beregninger anvendtes som input to edb genere-  
rede datafiler,- en fejltræfil på basis af inputfilen  
til fejltræet på fig.6.2 samt en basishændelsesfil  
på grundlag af tekstbehandlingsfilen til afsnit 6.6  
i denne rapport.

Beregningen gav følgende resultat:

Sandsynligheden for at møllen løber løbsk er  
 $1.11E-3$  pr. år, hvilket svarer til at der i gennem-  
snit vil gå  $1/1.11E-3 = ca. 900$  år mellem hver  
løbskkørsel af en enkelt mølle af den analyserede  
type. Dette er NB et pessimistisk resultat, da det  
er baseret på data, som alle er vurderet pessimi-  
stisk, så den observerede tid mellem hver mølle-  
løbskkørsel vil vise sig at være større end den her  
beregne.

Det skal understreges, at analysens resultat  
kun er korrekt i den udstrækning, alle dens for-  
udsætninger er gældende.

Udover sandsynligheden for analysens top-  
hændelse giver analysen mulighed for at fastsætte  
hyppigheden af kombinationer af basishændelser  
(de såkaldte cutsets). På grundlag af hyppighe-  
derne for cutsettene, som anføres i størrelsesræk-  
kefølge, er det muligt at identificere de mest be-  
tydningsfulde, hvilket er et udmærket udgangs-  
punkt for identifikation af de svageste punkter i  
systemet subsidiært for eventuelle rekommenda-  
tioner til forbedringer.

## 7 Vurdering af metoden i forhold til havarier

I dette kapitel forsøges pålidelighedsanalysemetoden, der er beskrevet i de foregående afsnit, vurderet i forhold til havarier, der er indtruffet i løbet af de seneste 5 år på vindmøller af nogenlunde samme koncept som Bonus 150 kW-møllen.

Det skal gøres klart, at metoden langt fra er færdigudviklet, samt at den kun beskriver møllens sikkerhedssystem. På den anden side er vindmøllers sikkerhedssystemer meget begrænsede systemer, som er relativt nemme at analysere ved hjælp af en systematisk metode.

Derfor kan der ikke gives definitive svar på metodens dækningsgrad men nok et overordnet skøn.

For den anvendte analysemetode er der opstillet et sæt forudsætninger. Som det fremgår af det efterfølgende, er disse forudsætninger- specielt forudsætningen om korrekt service og vedligeholdelse af vindmøllerne og deres sikkerhedssystemer- ofte ikke opfyldt.

De nedennævnte havarier har alle relation til møllernes sikkerhedssystemer. De tilhørende havari-rapporter er anført i referencelisten.

### Wincon W99XT og Wincon W200

De fire havarier beskrevet i ref. 14, 15, 16 og 17 omhandler havarier på disse to mølletyper (tre havarier på Wincon W99XT og et på Wincon W200). De to mølletyper har (næsten) identiske sikkerhedssystemer. Havariforløbene og skaderne er ret ens for de fire havarier, hvorfor de behandles under et.

De fire havarier er sandsynligvis alle startet med et netudfald ved høj vind. På grund af for sen aktivering/for lille bremsemoment har den mekaniske bremse ikke kunnet bringe møllen til standsning. De aerodynamiske bremsere (faldskærme) har heller ikke fungeret efter hensigten, sandsynligvis på grund af for sen aktivering i høj vind, hvorefter de er blevet revet i stykker.

Herefter er møllerne løbet løbsk med totalhavari til følge.

Den beskrevne analysemetode vil med sikkerhed kunne identificere samtidigt svigt af begge bremsesystemer som årsag til en løbskkørsel.

Imidlertid er det et spørgsmål, om metoden ville have vurderet havarisandsynligheden korrekt.

De pågældende mølletypers to bremsesystemer var begge af et nyt koncept. Faldskærme havde ikke før været anvendt som luftbremser, hvorfor der ikke forelå relevante erfaringsdata vedrørende svigthyppigheder. De målinger, som blev udført til dokumentation af faldskærmenes anvendelighed som luftbremser, fokuserede især på problemet omkring holdbarheden ved langvarig udfældning, medens problemet med reaktionstiden og dermed af holdbarheden ved udfældning ved overhastighed i høj vind ikke blev belyst tilstrækkeligt.

Endvidere har mølletyperne et mekanisk bremsesystem, hvis reaktionstid i forbindelse med netudfald er meget større end forudsat, hvorfor vurderingen af havarisandsynligheden også for dette bremsesystem har været problematisk.

Det betyder, at i sådanne tilfælde, hvor fejl skyldes svigt af komponenter, for hvilke der ikke foreligger erfaringsdata vedrørende svigthyppigheder, vil metoden ikke kunne anvendes til vurdering af havarisandsynligheder. Metoden vil derimod med stor sikkerhed kunne sikre mod gentagelser.

For ref. 14 og 15 er forudsætningerne om service, vedligehold og afprøvning ikke opfyldt.

### Nordtank 55 kW

De to havarier beskrevet i ref. 18 og 19 omhandler begge havarier på denne mølletype. Havariforløbene og skaderne er ret ens for de to havarier, hvorfor de behandles under et.

Havarierne skyldes samtidigt svigt af begge bremsesystemer (mekanisk bremse og aerodynamisk bremse), hvorefter møllerne er løbet løbsk med totalhavari til følge.

Analysemetoden vil med sikkerhed kunne identificere samtidigt svigt af begge bremsesystemer som årsag til en løbskkørsel jvf. afsnit 6.1. Ligeledes ville den sikre mod gentagelser med en ønskelig sikkerhed.

Også for disse to havarier er metodens forudsætninger vedrørende kvalitetssikring af service, vedligehold og afprøvning ikke opfyldt (se også afsnit 8.2.2).

## Vindsyssel 150 kW

Havariet er beskrevet i ref. 20.

Dette havari skyldes også samtidigt svigt i begge bremsesystemer. Imidlertid skyldes de aerodynamiske bremser et havari i møllens krøjesystem, hvorefter møllen gik i bagvind. De aktuelle aerodynamiske bremser er ikke designet til at fungere i bagvind.

Krøjesystemet indgår ikke umiddelbart i møllens sikkerhedssystem. Alligevel burde metoden efter vort skøn kunne identificere muligheden for samtidigt svigt i de to bremsesystemer, ligesom den vil kunne sikre mod gentagelser.

Metodens forudsætninger vedrørende kvalitetssikring af service og vedligehold er ikke opfyldt, blandt andet er møllens styring og sikkerhedsfunktioner ændret uden en tilstrækkelig analyse af mulige konsekvenser.

## Vestas V27

Havariet er beskrevet i ref. 21.

Havariet skyldtes en kombination af mange omstændigheder, hvoraf nogle ikke havde relation til møllens sikkerhedssystemer.

Derfor er det svært at vurdere, om metoden ville have kunne forudsagt forløbet. Imidlertid ville den kunne sikre mod gentagelser af havari-forløbet.

Da tilspændingen af nogle bolte i møllens vindgrejningsmekanisme ikke var som forudsat, hvilket sandsynligvis har været medvirkende til havariet, er metodens forudsætninger vedrørende kvalitetssikring ikke opfyldt.

## Mod-2

Mod-2 var en tobladet vindmølle på 2.5 MW, som blev opført af US Department of Energy i staten Washington. Under en indledende afprøvning i juni 1981 løb møllen løbsk og havarede.

Havariet er beskrevet i ref. 22.

Mod-2 møllen havde været underkastet en fejl-måde-fejleffekt analyse, som er beskrevet i ref. 7.

Havariet skyldtes samtidigt svigt (common cause failure) af kantstillingen af begge rotorblade, og denne svigtmulighed var ikke blevet identificeret ved ovennævnte analyse.

Den beskrevne analysemetode ville givetvis have kunnet identificere muligheden for det indtrufne svigt. Man ville derimod næppe ved hjælp af metoden have kunnet fastsætte dets hyppighed på grund af mangel på erfaringsdata på daværende tidspunkt.

På baggrund af ovenstående afsnit må det konkluderes, at den i afsnit 5 foreslåede analysemetode måske med en enkelt undtagelse efter vort skøn ville have kunnet identificere de indtrufne hændelser på forhånd. I de tilfælde, hvor uheldene skyldtes svigt af udstyr, for hvilket der ikke forelå erfaringsdata vedrørende svigthyppigheder, ville metoden derimod ikke have kunnet anvendes til vurdering af havarisandsynligheden.

Som det fremgår, er det meget vigtigt, at den anvendte analysemetode i et stort omfang tager hensyn til det aktuelle kvalitetsniveau for service, vedligehold og afprøvning. Hvis forudsætningerne med hensyn til dette ikke opfyldes, er det klart, at metoden ikke altid vil kunne forudsige fejl og/eller havarier.

På basis af de ovenfor omtalte havarier bør man overveje at indføre den regel, at alle vindmøller skal indstilles til stop ved den maksimale vindhastighed, som den pågældende møllertypes sikkerhedssystem er afprøvet ved i forbindelse med typegodkendelsen.

# 8 Forslag til hovedprojektet

## 8.1 Formålet med hovedprojektet

Formålet med hovedprojektet er følgende:

1. Udarbejdelse af en praktisk metode til analyse af pålideligheden af sikkerhedssystemerne i vindmøller.
2. Etablering af en operationel og brugervenlig database med pålidelighedstekniske data for relevante møllekomponenter fra drift, afprøvning og vedligehold af vindmøller.

## 8.2 Hovedprojektets indhold

### 8.2.1 Afgrænsning af sikkerhedssystemet

Det fastlægges så præcist som muligt, hvilke komponenter og delsystemer, som skal inkluderes i en vindmøllers sikkerhedssystem.

### 8.2.2 Udarbejdelse af analysemetoden.

Analysemetoden udarbejdes med udgangspunkt i nærværende rapport over forprojektet. Erfaringerne fra EF's projekt vedrørende NEWECS-45 møllen udnyttes, og der oprettes en passende kontakt til det hollandske projekt »Probabilistic Safety Assessment for Wind Turbines« (ref. 9).

Analysemetoden skal kunne anvendes af fabrikanter af vindmøller til vurdering af sikkerhedssystemerne ved konstruktionsarbejde med nye vindmølle typer og med ændringer af bestående typer. Analysemetoden skal endvidere kunne anvendes af myndighederne til vurdering af vindmøllers sikkerhed.

Det er vigtigt, at der lægges stor vægt på, at metoden bliver et praktisk, anvendeligt værktøj samtidig med at man opretholder det fornødne kvalitetsniveau på analysearbejdet.

Det er ønskeligt, at metoden kommer til at fungere som en hjælp til selvhjælp for vindmøllefabrikanterne, så den stadig udbygges i overensstemmelse med - på den ene side driftserfaringerne - og på den anden side anvendelsen af metoden. Metoden bør derved blive et værktøj, som i vid udstrækning anvendes til sikring af at driftserfaringerne på systematisk vis kommer konstruktionsarbejdet til gode.

Metoden skal kunne hjælpe konstruktøren til at stille sådanne spørgsmål vedrørende krav til

sikkerhedssystemernes udformning, at systemerne vil kunne fungere med fornøden pålidelighed overfor alle relevante hændelser og hændelseskombinationer.

Metoden skal også hjælpe til at sikre, at al typegodkendelse, afprøvning, inspektion, vedligehold og reparation af udstyret udføres på et sådant kvalitetsniveau, at kravet til sikkerhedssystemernes pålidelighed kan opretholdes i praksis.

Der udarbejdes først en 0-version af metoden i form af en procedure, hvor hvert enkelt trin i analysearbejdet understøttes af en eller flere checklister. 0-versionen sendes derefter ud til to forskellige vindmøllefabrikanter, hvor den afprøves grundigt både på nykonstruktioner, hvori der indgår komponenter, for hvilke der ikke foreligger driftserfaringer og på et modifikationsprojekt. Alle erfaringerne med anvendelse af metoden tilbagemeldes, og metoden udbygges og kompletteres tilsvarende med henblik på, at den kan blive så formålstjenlig som overhovedet muligt.

Metoden implementeres på PC, hvori en database indeholder oplysninger om mulige fejlmåder for komponenter og delsystemer.

### 8.2.3 Etablering af en database

Med udgangspunkt i de bestående arbejdsordresedler, jf bl.a. fig. 4.1. og databaser, jf. ref. 10-12 etableres en database.

Det er nødvendigt, at der gøres en særlig indsats, for at databasen skal få mulighed for en udstrakt anvendelse i praksis.

Databasen skal i videst mulig udstrækning udformes med en hensigtsmæssig brugergrænseflade og et relevant indhold. Databasen skal være let at anvende af kontorpersonalet og skal iøvrigt frembyde så fordelagtige ny muligheder for fabrikanterne, at de gerne vil gøre brug af den. Den skal indeholde data for komponent- og systemfejl og skal kunne anvendes af alle vindmøllefabrikanter og myndigheder til vurdering af pålideligheden af sikkerhedssystemerne i vindmøller. Den skal endvidere indeholde den nødvendige information af hensyn til virksomhedens bogholderisystem og lagerstyring, så dobbelt indtastning af data vedrørende det udførte arbejde undgås.



Et meget vigtigt formål med en sådan database er at muliggøre en effektiv tilbagemelding om driftserfaringer til vindmøllekonstruktørerne, så de f.eks. kan få et overblik over eventuelle svagheder i sikkerhedssystemet.

Der udarbejdes først en 0-version af databasen, som sendes til afprøvning hos to vindmøllefabrikanter. Fabrikanterne afprøver databasen grundigt, og på basis af deres erfaringer foretages de nødvendige korrektioner af 0-versionen af databasen.

#### 8.2.4 Afprøvning af metode og database

Metode og database afprøves af en vindmøllefabrikant, som ikke hidtil har deltaget i projektet. Erfaringerne fra denne afprøvning vurderes, hvorefter der udarbejdes endelige versioner af analysemetode og database.

### 8.3 Deltagere i hovedprojektet

Hovedprojektet udføres af Risø i samarbejde med tre vindmøllefabrikanter. Fra Risø deltager Risikoanalysegruppen i Afdelingen for Systemanaly-

se og Prøvestationen for Vindmøller i Afdelingen for Meteorologi og Vindenergi.

I tilknytning til hovedprojektet foreslås endvidere nedsat en projektfølgegruppe med deltagelse af ovennævnte samarbejdspartnere og ELSAM-PROJEKT A/S.

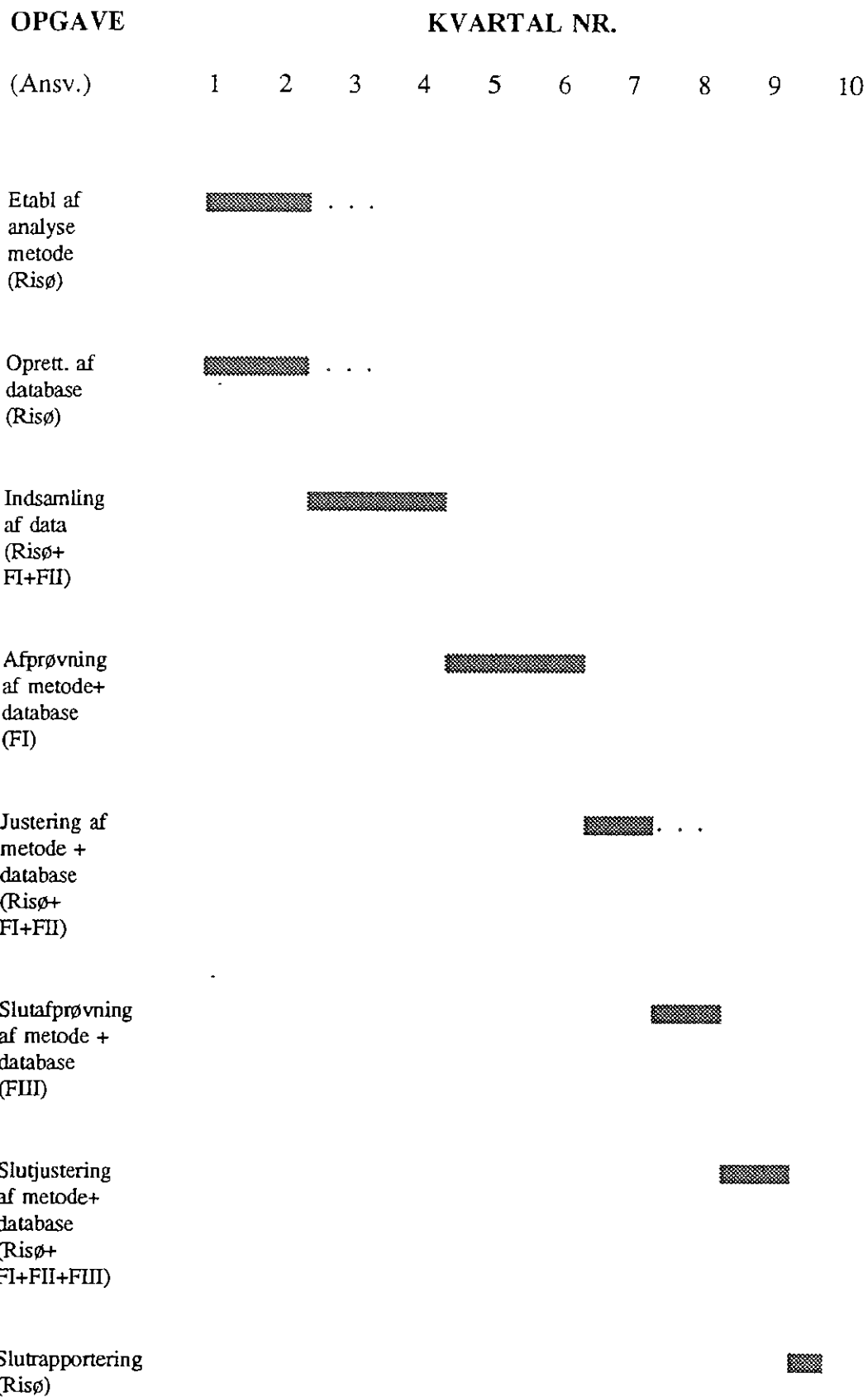
### 8.4 Tidsplan for hovedprojektet

En præliminær tidsplan for hovedprojektet er vist på fig. 8.1. Projektets start er ved kvartal nr 1. Den samlede varighed af projektet ventes at blive ca. 25 måneder.

### 8.5 Budget for hovedprojektet

På fig. 8.2 er vist et præliminært budget for hovedprojektet, regnet i mand-måneder. Den samlede indsats på hovedprojektet ventes at blive ca. 28 mand-måneder.

Det totale budget for hovedprojektet ventes derfor at blive ca. 1.9 mio. kr.



Figur 8.1. Tidsplan for hovedprojektet.

Opgave (ansv)	1.kvartal	2.kvartal	3.kvartal	4.kvartal	5.kvartal	6.kvartal	7.kvartal	8.kvartal	9.kvartal
Etabl.af metode (Risø)	2								
Oprettel-se af database (Risø)	2								
Indsam-ling af data (Risø)		1							
Indsam-ling af data (Fabr.I)		4							
Indsam-ling af data (Fabr.II)		4							
Afprøv-ning af metode & data-base (Fabr.I)				3					
Justering af meto-de & database (Risø)						3			
Justering af meto-de & database (Fabr.I)						1			
Justering af meto-de & database (Fabr.II)						1			
Slutaf-prøvning (Fabr.III)							2		
Slutjust. (Risø)								2	
Slutjust. (Fabr. I)								0.5	
Slutjust. (Fabr.II)								0.5	
Slutjust. (Fabr. III)								0.5	
Slutrapp. (Risø)									1.5

Figur 8.2. Budget (mand-måned) for hovedprojektet.

## 9 Referencer

1. Failure Mode and Effects Analysis of Electronic Circuits. Marita Lehtelä et al. Technical Research Centre of Finland. Electrical Engineering Department.
2. Manual BT 4310 for Windturbine Control. Type 20E- 150/20 kW (DK) BONUS. KK Electronic A/S. Rev. 21. aug. 1991.
3. FAUNET: A Program Package for evaluation of fault Trees and Network. Risø Report No 348. O. Platz and J.V. Olsen. Risø National Laboratory, September 1976.
4. Projektinformation for ENS-sagsnummer 1364/92-0007: Sikkerhedssystemer for vindmøller (Risø projekt RAG-3261-00).
5. Reliability, Safety & Risk Management. An Integrated Approach. S.J. Cox and N.R.S. Tait. Butterworth-Heinemann. 1991.
6. Reliability Engineering for Nuclear and other high Technology Systems. A Practical Guide. Armand A. Lakner and Ronald T. Anderson. Elsevier Applied Science Publishers. 1985.
7. MOD-2 Failure Mode and Effects Analysis. DOE / NASA / 002-79/1. NASA CR-159632. Robert Lynette and Robert Poore. Boeing Engineering and Construction Co. July 1979.
8. Driftspålidelighed af mindre vindmøller. Risø-M-2872. Kurt E. Petersen, Peter Hjuler Jensen, Jørgen Krogsgaard, Birgitte Rasmussen og Martin Winther-Jensen. Forskningscenter Risø, 4000 Roskilde, Danmark. Maj 1990.
9. Reliability Analysis Methods for Wind Turbines. Task 1 of the projekt: Probabilistic Safety Assessment for Wind Turbines. ECN-C-92-018. L.W.M.M. Rademakers et al. Netherlands Energy Research Foundation ECN. June 1992.
10. OREDA. Offshore Reliability Data Handbook. OREDA-84. Published by the OREDA participants, P.O.Box 370. N-1322 Høvik, Norway. 1984.
11. IEEE Std.500-1984. Reliability Data. IEEE Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, Sensing Component and Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear-Power Generating Stations. IEEE Inc. New York 1983.
12. T-boken Version 3. Tillförlitlighetsdata för komponenter i nordiska kraftreaktorer. ATV-kansliet och Studsvik AB. Vattenfall Support Grafiska 1992.
13. Reliability data banks. Cannon and Bendell. 302 p. Elsevier. 1991.
14. Havarirapport for Wincon W99XT. Martin Winther-Jensen og Peter Hjuler Jensen. Prøvestationen for Vindmøller, 13.01.1987.
15. Havarirapport: Havari på Wincon W99XT d. 25.03.1989. Martin Winther-Jensen. Prøvestationen for Vindmøller.
16. Havarirapport: Havari på Wincon W99XT d. 28.01.1990 (ver. 2). Martin Winther-Jensen. Prøvestationen for Vindmøller, oktober 1990.
17. Havarirapport: Havari på Wincon W200 d. 26.12.1990. Poul Højholdt og Martin Winther-Jensen. Prøvestationen for Vindmøller, februar 1991.
18. Havarirapport: Nordtank 55/11 kW. Troels Friis Pedersen og Erik Jørgensen. Prøvestationen for Vindmøller, april 1990.
19. Havarirapport: Nordtank 55/18 d. 03.01.1992. Poul Højholdt. Prøvestationen for Vindmøller, maj 1992.
20. Havari på Vindsyssel 150 kW d. 09.01.91. Poul Højholdt og Jørgen Krogsgaard. Prøvestationen for Vindmøller, maj 1991.
21. Rapport over: Havarieriet på en Vestas V27-225 kW vindmølle i: »Vælling Mærsk« vindmøllepark. (Ikke offentlig).
22. Wind Energy Report. The International Newsletter of Wind Power. June 1981, p. 3-4.

Titel og forfatter(e)

**EFP-92 / Sikkerhedssystemer for vindmøller  
Forprojekt**

Afdeling eller gruppe

Dato

**Afdelingen for Systemanalyse Februar 1993**

Gruppens eget registreringsnr.

Projekt/kontraktur.

---

Sider	Tabeller	Figurer	Referencer
28		6	22

---

Abstract (Max. 2000 karakterer)

Under Energistyrelsens EFP-92 program på vindenergiområdet er udført et forprojekt med titlen: »Sikkerhedssystemer for vindmøller. Metode til vurdering af svigtmåder og pålidelighed«. Projektet er udført i et samarbejde mellem BONUS Energy A/S, ELSAMPROJEKT A/S og Risø. Rapporten vedrører det under forprojektet udførte arbejde. Den indeholder en oversigt over kendte pålidelighedstekniske metoder, og et forslag til en analysemetode er præsenteret. Der er endvidere vist et eksempel på metodens anvendelse, og metoden er vurderet i forhold til indtrufne havarier. Et forslag til hovedprojektet er beskrevet.

---

Kopier til: Biblioteket (2)