



UPPSALA  
UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-KKI-2012/03-SE

Examensarbete 15 hp  
Juni 2012

# Val av överlastskydd för elektriska ventilmanöverdon på kärnkraftverket i Forsmark

---

Azur Bajramovic



UPPSALA  
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet  
UTH-enheten

Besöksadress:  
Ångströmlaboratoriet  
Lägerhyddsvägen 1  
Hus 4, Plan 0

Postadress:  
Box 536  
751 21 Uppsala

Telefon:  
018 – 471 30 03

Telefax:  
018 – 471 30 00

Hemsida:  
<http://www.teknat.uu.se/student>

## Abstract

Val av överlastskydd för elektriska ventilmanöverdon på kärnkraftverket i Forsmark

### **Selection of Overload Protection for Electrical Valve Actuators at the Nuclear Power Plant in Forsmark**

*Azur Bajramovic*

At nuclear power plants, electrical valve actuators are important for ensuring that the reactor core is water covered and the pressure in the reactor tank and containment is limited. The electrical actuators are provided with overload protection in case of drawing higher current than the motors are rated for. When safety manoeuvres are needed, the overload protection must not trigger and cause the valve to stop before completing the manoeuvre. Analyses have shown that the current settings of the overload protection may cause an illegitimate trigger at the worst theoretically possible accident. A new method has been developed with conservative assumptions and applies overload protections for all electrical valve actuators at the three reactors in Forsmark.

Handledare: Milan Savic  
Ämnesgranskare: Sandra Eriksson  
Examinator: Michael Österlund  
ISRN UTH-INGUTB-EX-KKI-2012/03-SE

## Sammanfattning

Kärnkraftverk använder sig av kärnklyvning för att koka vatten och producera ånga som under högt tryck roterar turbiner och generatorer för omvandling till elenergi. Vattnet fungerar inte bara som strålskydd mot strålning som uppkommer vid den kärnklyvningsprocess som sker i härden, utan även som kylning av härden och transport av värmeenergi. Använt kärnbränsle behöver kontinuerlig kylning då spontant sönderfall ständigt sker hos de radioaktiva ämnena i härden.

För att kontrollera vatten- och ångflödet används ventiler. Dessa kan manövreras på olika sätt och ska helt eller delvis begränsa flödet vid behov. Vid ett olycksscenario är det viktigt att härden hålls vattentäckt och att trycket i reaktortanken och reaktorinneslutning begränsas. Vissa ventiler är elektriskt styrda och kräver oavbruten strömförsörjning under manövreringen vid påkallad säkerhetsfunktion.

Elektriska och mekaniska faktorer belastar ventilmanöverdonen med högre ström än vad dem är dimensionerade för. Av denna anledning förses elektriska ventilmanöverdon med överlastskydd som skall bryta strömmen till motorerna vid överbelastning.

På kärnkraftverket i Forsmark finns inga konstruktionsförutsättningar för hur dessa överlastskydd ska ställas in och det misstänks att nuvarande inställningar inte tagit hänsyn till alla faktorer som kan förekomma.

Examensarbetet har gått ut på att ta fram elektriska och mekaniska faktorer som påverkar inställningen av överlastskydd, teori för hur motorerna dimensionerats samt samverkan ventil-motor-överlastskydd och beräkna ett lämpligt inställningsvärde för överlastskydden. Kraven är att skydden inte skall lösa ut obefogad vid påkallad säkerhetsfunktion så att ventilen fullbordar sin manöver, samt att lösa ut i tid så att motorerna inte tar skada.

Under arbetets gång har resultaten visat att den avgörande faktorn är hur hög ström motorerna drar under ventilens manöver. Efter utlåtande från experter inom aktuellt område och analys av rapporter har det visat sig vara konservativt att anta att ventilerna kräver motorernas maximala moment under sista tredje delen av manövern. Efter ytterligare krav och toleranser antogs att skyddet inte bör lösa ut innan motorerna belastats med 2/3 av manövern med maximalt moment medtaget strömökningar på grund av spännings- och frekvensvariationer samt tidstoleranser hos skyddet.

Vid nuvarande inställning visade det sig att ventilerna och deras manövreringsmotorer vara begränsade i vad som klaras av innan skyddet löser ut vid teoretiskt värsta tänkbara olycksscenario. Rekommendationer från leverantören av ventilmanöverdon och amerikanska standard visade sig inte uppfylla de krav som finns och egen analys utfördes.

Ny beräkningsmetod har tagits fram som med väldigt konservativa antaganden uppfyller de krav som finns på icke obefogad utlösning av skydd samt skydd av motorernas termiska begränsningar. Beräkningsmetoden omfattar de aktuella skydd och motorer på alla tre blocken i kärnkraftverket på Forsmark.

## **Förord**

Denna rapport är mitt examensarbete på högskoleingenjörsprogrammet i kärnkraftteknik och har genomförts Mars-Juni 2012. Det har varit otroligt lärorikt och kul att få sitta bland experter inom sina områden och ta del av deras kunskap under arbetets gång. Den mest positiva överraskningen var hur pass mycket alla hjälper varandra och lagarbetet.

## ***Tack till***

Mina handledare Milan Savic och Mattias Hermansson, för er teoretiska och praktiska kunskap och stöd, granskning av arbetet och ständiga tillgänglighet

Min ämnesgranskare Sandra Eriksson för din hjälp kring rapportens utformning och allmän diskussion kring examensarbetet

Alla på FTES och FTEK för hjälp med dokumentation, som skänkt uppmuntrande ord och bidragit med trevlig atmosfär och stämning

Björn Pihlgren för din ventilexpertis, ventilunderlag samt ditt tålamod när jag har bollat idéer med dig

Tommie Stridfeldt för dina åsikter, resonemang och underlag kring AUMA-donen

Ni på FTMT för ert resonemang kring ventilers flödeskaraktistik

Och naturligtvis ett stort tack till Magnus Falkenstrand och Vattenfall Research and Development för att ha tagit mig under Vattenfalls vingar och gett mig möjligheten att utföra examensarbetet samt hjälpt med alla praktiska frågor

<b>Sammanfattning .....</b>	<b>1</b>
<b>Förord.....</b>	<b>2</b>
Tack till .....	2
<b>Ordlista.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Inledning .....</b>	<b>6</b>
1.1 Bakgrund .....	6
1.2 Problematik.....	6
1.3 Syfte.....	7
1.4 Direktiv och avgränsningar .....	7
1.5 Ansats och metod.....	7
1.6 Målsättning .....	7
<b>2 Teori.....</b>	<b>8</b>
2.1 Ventiler .....	8
2.1.1 Kraven som ställs av en ventil.....	8
2.1.2 Hur uppfyllda krav verifieras .....	8
2.2 Ventilmanöverdon .....	10
2.2.1 Dimensionering av asynkrona motorer .....	10
2.2.1.1 Asynkrona motorers val av moment .....	12
Därefter kontrolleras att motorn kan leverera erforderligt moment vid 70 % av nominell spänning. ....	12
2.2.1.2 Asynkrona motorers starttidskontroll .....	12
2.2.2 Ventilmanöverdonens dimensioneringskrav .....	13
2.2.2.1 Ventilmanöverdonens val av moment .....	13
2.2.2.2 Ventilmanöverdons temperaturpåverkan .....	15
2.3 Termiska överlastskydd .....	15
2.3.1 Befintliga RVZP20 (D) .....	15
2.3.2 Ersättande TA25DU .....	16
2.4 Nuvarande inställningsvärde och rekommendationer .....	16
2.4.1 Forsmark Kraftgrupp AB inställningsvärde .....	16
2.4.2 AUMA rekommendationer .....	16
2.4.3 IEEE beräkningsmetod.....	17
<b>3 Framtagning av styrande faktorer och händelser.....</b>	<b>19</b>
3.1 Spännings- och frekvensvariationer .....	19
3.2 Låst rotor samt lossryckning och åtdragning av ventilkägla .....	20
3.3 Ökad friktion under manöver .....	21

3.4	Överlastskyddens drifttemperatur.....	22
3.5	Pågående generationsbyte av AUMA-don .....	22
<b>4</b>	<b>Framtagning av minsta gynnsamma driftfall och krav .....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Analys av nuvarande metoder .....</b>	<b>24</b>
5.1	Forsmark Kraftgrupp AB inställningsvärde .....	24
5.2	AUMA rekommendationer.....	25
5.3	IEEE beräkningsmetod.....	25
<b>6</b>	<b>Tillämpning av krav för ny beräkningsmetod.....</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Resultat.....</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>28</b>
8.1	Faktorer som talar för att obefogad utlösning inte förekommer vid nytt inställningsvärde.....	28
8.2	Faktorer som talar för att motorernas termiska begränsningar inte överskrids vid nytt inställningsvärde.....	29
<b>9</b>	<b>Slutsats och förslag.....</b>	<b>31</b>
9.1	Förslag för inställning av överlastskydd.....	31
9.1.1	Framtagning av specifikation för alla ventiler och tillhörande manöverdon ....	31
9.1.2	Analys av konservativa faktorer samt framtagning av momentval för ventilmanöverdon .....	31
9.1.3	1E klassade samt icke säkerhetsklassade manöverdon.....	31
<b>10</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>32</b>
<b>11</b>	<b>Appendix .....</b>	<b>33</b>
11.1	Appendix 1: Lista på storlekar och strömområden hos överlastskydden .....	33
11.2	Appendix 2: Kurva med utlösningsskarakteristik hos ett överlastskydd.....	34
11.3	Appendix 3: Mätning av aktiv effekt, ström och $\cos\phi$ vid åtdragning av en ventil	35
11.4	Appendix 4: Data för en standardmotor från AUMA med illustration av beroendet mellan ström, moment och $\cos\phi$ .....	36
11.5	Appendix 5: Mätning av flöde genom en yttre skalventil vid obefogad stängning	37
11.6	Appendix 6: Tabell med strömmar för gamla och nya SAN-don vid 380V, samt kvoter mellan $I_{max}$ och $I_m$ .....	38
11.7	Appendix 7: Tabell med strömmar för gamla och nya SAN-don vid 500V, samt kvoter mellan $I_{max}$ och $I_m$ .....	40

## Ordlista

1E	Elektrisk säkerhetsklassning som innebär risk för radioaktivt utsläpp förhöjt vid felfunktion
2E	Elektrisk säkerhetsklassning som innebär viktigt för verkets kontinuerliga drift, vid felfunktion ges ej signifikant radioaktivt utsläpp
ABB	Leverantör av överlastskydd
AUMA	Leverantör av manövreringsdon
Cosφ	Förhållandet mellan aktiv och skenbar effekt, mått på förhållandet mellan aktiv och reaktiv effekt
DBE	Design Basic Event, postulerat händelser som tas till hänsyn vid design av system och dimensionering av komponenter
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, icke vinstinriktad organisation som publicerar standarder inom data- och elektroteknik
Im	Märkström, det motorerna är dimensionerade för att dra vid kontinuerlig drift
Imax	Maximala strömmen motorn drar vid maximala momentet vid märkspänning
KFE	Konstruktionsförutsättningar, dokument som anger de teoretiska och praktiska förutsättningar för system eller komponenter
Kippmoment	Det största moment ett manöverdon kan åstadkomma, erhålles vid mekaniskt ändläge
LOCA	Loss Of Coolant Accident, postulerad händelse av typ giljotinbrott på ång- eller vattenrör
SAI	AUMA nukleära manöverdon speciellt anpassade för att sitta inom reaktorinneslutningen
SAN	AUMA nukleära manöverdon speciellt anpassade för att sitta utanför reaktorinneslutningen
Skalventil	Ventiler som sitter på rör som går igenom skalet reaktorinneslutningen och som ska kunna stänga och täta så skalets funktion uppehålls
SODEM	Mät dator som kopplas till bland annat ventilmanöverdon för att mäta effekter under ventilmanöver
Startström	Uppnås i motorn vid kippmoment
TBE	Tekniska Bestämmelser, rådande tekniska krav på komponenter
UPS	Uninterrupted Power Supply, batterisäkrat nät
Ventilslag	Då ventil går från fullt öppen till fullt stängt, och vice versa

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Dagens kommersiella kärnkraftverk, av typen lättvattenreaktor, använder klyvning av tunga kärnor för att koka vatten och producera ånga som under högt tryck roterar turbiner och generatorer för omvandling till elenergi. Vattnet fungerar inte bara som strålskydd mot strålning som uppkommer vid den kärnklyvningsprocess som sker i härden, utan även som kylning av härden och transport av värmeenergi. Använt kärnbränsle behöver kontinuerlig kylning då spontant sönderfall ständigt sker hos de radioaktiva ämnena i härden

Det dynamiska i en reaktor är vattnet i flytande form eller som gas. Vattnet är i ständig rörelse och fungerar ur säkerhetsperspektiv som kylmedel och strålskydd. Vid ett olycksscenario är det viktigt att reaktorhärden alltid är vattentäckt samt att trycket i reaktortanken och reaktorinneslutningen ligger inom de begränsningar som finns. Vid påkallad säkerhetsfunktion måste ventiler som skall säkerställa att härden inte töms på vatten och trycket begränsas.

Ventiler som styrs av elektriska motorer är beroende av att motorerna får sin strömförsörjning under den tid som krävs för att ventilen ska manövreras. Exempel på elektriskt motormanövrerade ventiler i Forsmark är yttre skalventiler. Dessa har elektrisk klassning 1E, vilket innebär att i händelse av felfunktion är risken för radioaktiv utsläpp förhöjt. Vid ett haveri ska ventilerna hindra radioaktiv ånga eller radioaktivt vatten från att läcka ut från reaktorinneslutningen och att reaktortanken töms på kylmedel.

Motorerna kopplas till det dieselsäkrade nätet eller batterisäkrade nätet, UPS. Då växelriktaren i UPS-nätet inte är tillgängligt kan motorerna som matas från detta nät förbikopplas till det dieselsäkrade nätet, som följer stamnätets spänning och frekvens. För ventilmanöverdon är de aktuella spänningsnivåerna 500V och 380V för block F1/F2 respektive F3. Enstaka special objekt kopplas till andra spänningsnivåer.

I stamnätet förekommer spännings- och frekvensvariationer och NORDEL anger vilka intervall som finns samt deras tidsförlopp [1]. Motorerna dimensioneras för en viss belastning och förses med överlastskydd i händelse av överbelastning som skulle kunna orsaka brand och utöver den förstörda motorn även riskerar att sprida sig och orsaka skada på andra komponenter och utrymmen. Överlastskyddens utlösningssområde väljs så att spännings- och frekvensvariationer som tillåts låter motormanövrerade ventiler fullfölja sina manövrer utan att skada motorn. Spännings- och frekvensvariationen hos UPS-nätet är avsevärt lägre än hos stamnätet varför val av inställningsvärde hos överlastskydd sker med hänsyn till stamnätet. Hänsyn måste även tas till andra typer av belastningar, som t.ex. giljotinbrott där det ökade differentiella trycket belastar ventilen mer än vid normal drift.

Det finns olika standarder och guider för hur överlastskyddens ska ställas in. Leverantören AUMA rekommenderar ett värde och den icke vinstinriktade organisationen Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) rekommenderar beräkningar som ska tas till hänsyn. Forsmark ställer in överlastskydden på motorernas märkström.

De nuvarande motorerna och skydden skall bytas ut inom en snar framtid till nyare generationers motorer och annan modell av överlastskydd.

## 1.2 Problematik

Det finns inga konstruktionsförutsättningar, KFE, för val av inställningsvärde av överlastskydd för ventilmanöver don. Dagens överlastskydd har ställts in på ett värde där det misstänks att alla händelser inte tagits hänsyn till. Det finns olika rekommendationer och dessa överensstämmer inte med varandra.



### **1.3**            *Syfte*

Syftet är att analysera befintliga inställningar av överlastskydd, rekommendationer och guider samt kombinerat med teorin ge eget förslag på inställningsvärde hos överlastskydden. Arbetet ska sluta i en rapport som står till förfogande som referens till framtida konstruktionsförutsättningar i Forsmark för inställningsvärde av överlastskydd för motormanövrerade ventiler.

### **1.4**            *Direktiv och avgränsningar*

Endast öppna-stäng ventiler med läge helt öppen eller helt stängd tas till hänsyn, med speciell fokus på att ventilmanöverdon med säkerhetsklassning 1E tillåts fullfölja sin manöver och att ej säkerhetsklassade ventilmanöverdon ska skyddas mot skada. Guider, praxis och rekommendationer som analyseras är Forsmarks inställningsvärde, leverantören AUMA rekommendationer samt IEEE standarder. Reglerventiler samt andra rekommendationer och praxis ligger utanför arbetets ramar. Beräkningsmetod ska tas fram som omfattar alla faktorer.

### **1.5**            *Ansats och metod*

Särskilda händelser och faktorer som påverkar motorerna och inställningen av överlastskydden tas fram. Guider, praxis och rekommendationer analyseras med hänsyn till de särskilda händelserna. Vid händelse av att metoderna som analyserats inte uppfyller kraven utförs egen analys. Den egna analysen utgår ifrån teorin om motorer, ventiler och överlastskydd samt teknisk specifikation och mätdata som finns tillgängligt. De mest utsatta ventiler, och därmed de som påverkas av flest faktorer, analyseras.

### **1.6**            *Målsättning*

Metoden och beräkningarna som tas fram för inställning av överlastskydden skall vara enkla att använda, omfatta de aktuella händelserna samt vara robust. Om ett idealt inställningsvärde inte kan uppnås, ska olika förslag på inställningsvärde ges och konsekvenserna presenteras. Förslagen ska kategoriseras efter särskild klassning och prioritering.

## 2 Teori

### 2.1 Ventiler

En ventil är en apparat vars uppgift är att helt eller delvis begränsa flödet av ett medium. I kärnkraftsammanhang handlar det oftast om vatten, som flytande eller i gasform. Det förekommer många olika typer av ventiler och alla används i olika sammanhang beroende på funktion, design och prestanda som styrs av ändamålet.

Ventiler kan manövreras på olika sätt. Möjligheten finns för en tekniker att manuellt vrida på ventilen via en ratt, annars fjärrmanövreras de oftast via manöverdon från ett kontrollrum. Manöverdonet kan styras elektriskt, magnetiskt, pneumatiskt eller hydrauliskt [2].

Ett ventilslag sker då ventilen går från fullt öppen till fullt stängt, eller vice versa. En arbetscykel anger hur många slag som behövs för den avsedda servicen. Vid drift av en anläggning eller tester krävs successiva slag och olika antal slag för alla ventiler, beroende på funktion [3].

#### 2.1.1 Kraven som ställs av en ventil

Ventilen erfordrar tillräckligt mycket effekt för att påbörja manövreringen.

Tomgångseffekten under transportsträckan mellan öppen och stängd ventil, och vice versa, ska inte överstiga vad som är tillåtet. Överstigs denna gräns kan det tyda på att friktionen mellan delarna i manöverdonet eller i ventilen har ökat mer än vanligt på grund av t.ex. en kärvning. Konsekvensen kan vara att den tillgängliga effekten och momentet som finns för att utföra manövreringen inte räcker till på grund av de ökade förlusterna i kärvningen.

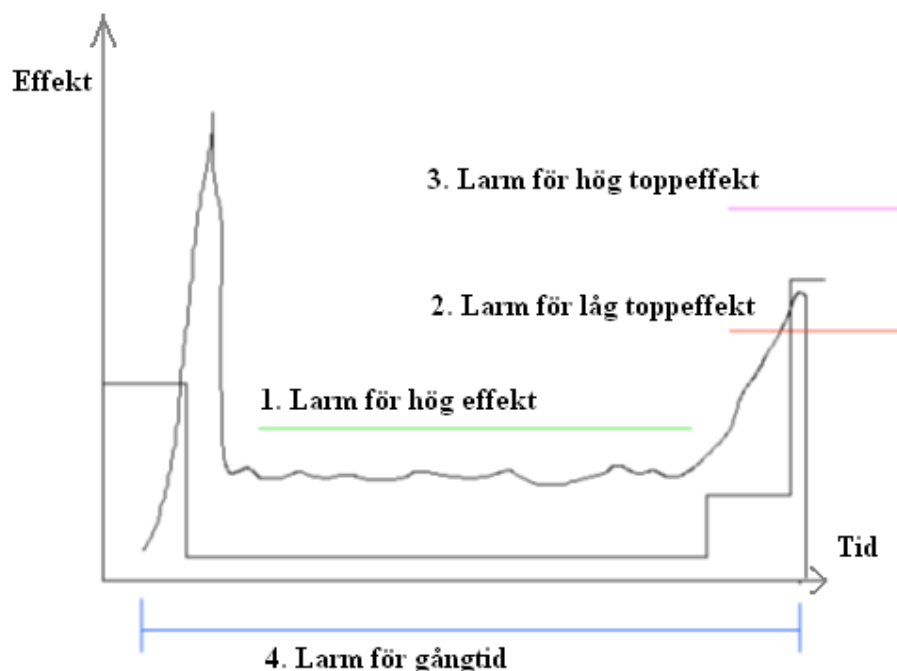
Tillräckligt mycket effekt ska erfordras till ventilen så den stänger och tätar som önskat.

För mycket erfordrad effekt kan resultera i ett moment som är tillräckligt stort för att vrida sönder ventilen. Om ventilen inte skadas kan den istället hamna i ett stängt läge, då inställningsvärdet av momentet i öppningsriktning kan vara för lågt, om ventilen stängs med mer moment än vad som är beräknat. Denna gräns bestäms av det värde som är lägst av ventilens hållfasthet och effekten som motsvarar manövrering donets maximala moment [4].

#### 2.1.2 Hur uppfyllda krav verifieras

SODEM mät dator används för att verifiera om en ventil har uppfyllt sin funktion utan att ha tagit skada. Där finns referenskurvor som ska spegla en ventil- och manöverdon kombination när dessa är optimalt servade och i nyskick. Aktuell ventil och don kombination jämförs med referenskurvorna för driftklarhetsverifiering [4].

Larmgränser i SODEM användas för att kontrollera den erfordrade effekten under manövreringen av en viss ventil. Gränserna är beräknade och fastställda för varje ventil för vad de kan och bör utsättas för. Ansvaret för beräkningar av larmgränser samt hålla alla larmgränser aktuella ligger på underhållavdelningen [5].



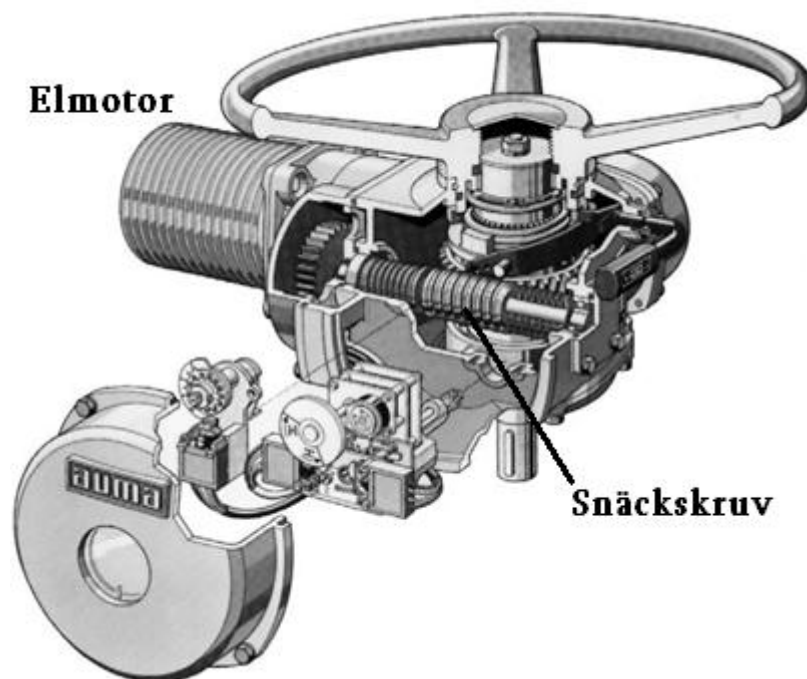
Figur 1: Illustration av en kurva i SODEM vid stängning av ventil med larmgränser [5].

Beskrivning av larmgränser i SODEM som visas i figur 1 [4]:

1. Larm för hög effekt: Ventilen kan ha stannat innan den nått ändläget. För hög effekt har gått åt under transportsträckan mellan öppen och stängd ventil, eller tvärtom, på grund av en kärvning och/eller ökad friktion mellan ventilens och/eller manöverdonets delar. Effekten som erfordras för att ventilen ska fullfölja sin manöver räcker inte till, och ventilen riskerar stanna innan fullbordad manöver.
2. Larm för låg toppeffekt: Ventilen har inte stängt ordentligt och är inte riktigt tät. Den erfordrade effekten har inte räckt till.
3. Larm för hög toppeffekt: Ventilen har stängts med större kraft än beräknat vilket kan resultera i att ventilens hållfasthet inskränkts. Eftersom öppningsmomentet beror av att ventilen inte stängs för hårt kan detta även resultera i ett stängt läge när ventilen sedan ska öppnas.
4. Larm för gångtid: Ventilen har inte nått ända fram.

## 2.2 Ventilmanöverdon

AUMA ventilmanöverdon drivs av en elektrisk motor, oftast trefas asynkronmotor med kortsluten rotor, och består av en speciell snäckväxel. Donets uppgift är att fjärrmanövrera avstängnings- och reglerobjekt, som t.ex. ventiler. Via en utväxling genom snäckväxeln överför den elektriska motorn ett moment och en vridande rörelse till ventilen. I figur 2 visas ett standard manöverdon där motorn och snäckväxeln huvuddel, snäckskruvan, ses.



Figur 2: Standard AUMA manövreringsdon [6].

För att bryta strömmen till motorn vid rätt tillfälle, förses donet normalt med både läges- och momentbrytare. Lägesbrytaren bryter strömmen vid ett inställbart läge på ventilen, medan momentbrytare bryter strömmen då ett inställbart vridmoment uppnåtts. Donen är försedda med två inställbara momentbrytare (en för vardera rörelseriktningen) och två inställbara vägberoende brytare (en för vardera läget, öppet och stängt) [6][7][8].

### 2.2.1 Dimensionering av asynkrona motorer

#### Avsnitt baserat på [1]

Asynkrona motorer dimensioneras efter effekten som erfordras vid lastens fulla belastning vid kontinuerlig drift. Hänsyn tas till spännings- och frekvensvariationer som förekommer på matande skena dessutom jämförs motorernas och lasternas momentkurvor. Starttidskontroll utförs på motorerna.

Lastens erfordrade effekt och moment styr initialt vilken motoreffekt som behövs. Standardstorlek väljs direkt ur leverantörens katalog. En viss överdimensionering sker till följd av de strömökningar som tillkommer vid spännings- och frekvensvariationer på matande skena.

Vid spänningsfall och konstant erforderlig effekt fås en strömökning. Om spänningen minskar till X % så ökar strömmen med 1/X % för samma effekt enligt:

$$P \propto U * I = \left( U * \frac{X}{100} \right) * \left( I * \frac{100}{X} \right) \quad (1)$$

Vid frekvensökning erhålles en belastningsökning och strömökning i fläktar och pumpar av centrifugaltyp. Effekten är linjärt beroende av moment och varvtal,  $w$  [varv/sek], medan momentet är kvadratisk beroende av varvtalet. Detta innebär att effekten är kubiskt beroende av varvtalet och därmed frekvens,  $f$  [1/s]. Vid konstant spänningsnivå och beroendet från (1), fås en strömökning enligt:

$$P = M * 2 * \pi * \omega \Rightarrow (M \propto \omega^2) \Rightarrow P \propto \omega^3 \Rightarrow P \propto f^3 \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} \propto \left( \frac{f_2}{f_1} \right)^3 \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} \propto \left( \frac{f_2}{f_1} \right)^3 \quad (2)$$

Dimensionerande fallet är kontinuerlig drift och det svåraste fallet av kombination låg spänning med hög frekvens för belastningsobjekt av centrifugaltyp (pumpar, fläktar) bestämmer överdimensioneringsfaktorn.

Block		Drifttid	Frekvens [Hz]	Generatorspänning U (%)	Motorklämspänning U (%)	Överdim-faktor
F1/F2	5.1 / 6.1	Kontinuerlig, alla kombinationer av frekvens och spänning	49-51	90-105	90-105	1,18
F3	5.1 / 6.1	Kontinuerlig, alla kombinationer av frekvens och spänning	49-50,3	90-105	87-108	1,18

Tabell 1: Dimensionerande driftfall för F1/F2/F3 med tillhörande frekvens- och spänningstålighet [1].

Tabell 1 visar de dimensionerande driftfallen för F1, F2 och F3. För F3 har man tagit hänsyn till spänningsfall i kablar (ca 3 %) vilket anses vara korrekt. Kombination av låg motorklämspänning och hög frekvens resulterar hos båda verken i en överdimensioneringsfaktor på 1,18 för att motorer ska dra maximalt märkström vid kontinuerlig drift.

Beräkningen:

$$F1/F2: \frac{100}{X} * \left(\frac{Y}{50}\right)^3 \Rightarrow \frac{100}{90} * \left(\frac{51}{50}\right)^3 = 1,17912 \approx 1,18$$

$$F3: \frac{100}{X} * \left(\frac{Y}{50}\right)^3 \Rightarrow \frac{100}{87} * \left(\frac{50,3}{50}\right)^3 = 1,17024 \approx 1,18$$

Överdimensioneringsfaktorn gäller under förutsättning att motorns märkspänning är lika med den matande skenans nominella spänning. För motorer med högre märkspänning än matande nominell spänning fås en högre överdimensioneringsfaktor, men dessa fall är inte dimensionerande enligt Tekniska Bestämmelser för kortslutna asynkronmotorer, TBE 103 [9].

Det maximala effektbehovet vid dimensionerande driftfall,  $P_{last}$ , för belastningsobjekt erhålles från processsystemansvariga. Pumpar och fläktar av centrifugaltyp är den typ av belastningsobjekt som kräver högst överdimensionering, varav 18 % överdimensionering sker efter dessa. Motoreffekten,  $P_{märk}$ , beräknas med känd  $P_{last}$  och överdimensioneringsfaktor:

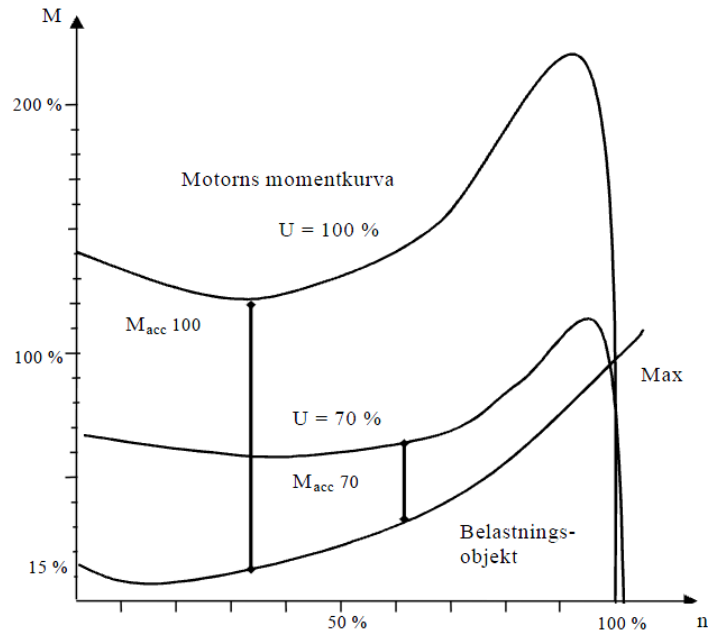
$$P_{märk} = 1,18 * P_{last} \tag{3}$$

Från den beräknade erforderade motoreffekten väljs motor efter närmast högre liggande standardmotoreffekt.

### 2.1.1.1 Asynkrona motorers val av moment

#### Avsnitt baserat på [1]

Efter val av motor jämförs momentkurvorna hos motorn och belastningsobjektet. Kippmomentet som uppnås då rotorn är låst, är linjärt beroende av spänningen. Den reaktiva effekten magnetiserar motorlindningarna och reaktiv effekt är beroende av spänningen. Motorer ska kunna starta vid 70 % motorklämspänning enligt TBE 103 [9]. Detta illustreras i figur 2. Därav får belastningsobjektets erforderliga moment inte överstiga motorns tillgängliga moment vid 70 % av nominella spänning på matande skena under motorns acceleration till nominellt varvtal. Kravet på moment vid start på 70 % av nominell spänning utgås från belastningsobjekt av typ centrifugalpump/fläkt.



Figur 2: En asynkronmotors momentkurva med momentkurva för ett belastningsobjekt av typ centrifugalpump[1].

Från belastning objektets maximala effektbehov beräknas erforderliga momentet motorn behöver leverera enligt:

$$M = \frac{P_{LAST}}{2\pi\omega} [Nm] \quad (4)$$

Därefter kontrolleras att motorn kan leverera erforderligt moment vid 70 % av nominell spänning.

### 2.2.1.2 Asynkrona motorers starttidskontroll

#### Avsnitt baserat på [1]

Vid beräkning av starttid har de svåraste startförloppen för centrifugalpumpar tagits hänsyn till. Starttiderna för motorerna ska jämföras med överlastskyddens utlösningsskurvor. Maximala starttiden för en motor får inte överstiga överlastskyddets utlösningstid. Fallet gäller vid dimensionerad belastning hos belastningsobjektet.

Starttiden beräknas enligt:

$$t_{start} = \frac{J_{total} * n_{motor}}{9,55 * M_{medelacc}} [s] \quad (5)$$

$$J_{total} = \text{totalt masströghetsmoment} = J_{motor} + \left( \frac{n_{last}}{n_{motor}} \right)^2 * J_{last} [kgm^2] \quad (6)$$

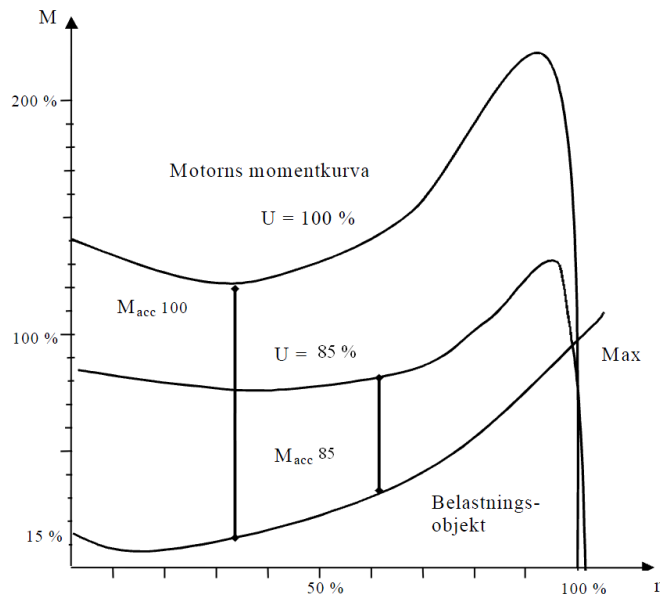
Medelaccelerationsmomentet bestäms från momentkurvorna med hjälp av flera punkter och utgörs av medelskillnaden mellan motorns och belastningsobjektets moment under starttiden. Medelaccelerationsmomentet bestäms vid nominell spänning och lägsta möjliga spänning, vilket ses i figur 2. Starttiden beräknas sedan med värden på medelaccelerationsmoment vid respektive driftfall. Beräkningen som ger längsta tiden bestämmer maximala starttiden.

## 2.2.2 Ventilmanöverdonens dimensioneringskrav

”Den elektriska motorn skall väljas så att ventilmanöverdonet vid lägsta spänning, högsta temperatur och inom angiven tid klara [sic] av att med marginal öppna och stänga med det slag och kraft som anges”, enligt Tekniska Bestämmelser för elmotordrivna ventilmanöverdon, TBE 108 [10].

### 2.2.2.1 Ventilmanöverdonens val av moment

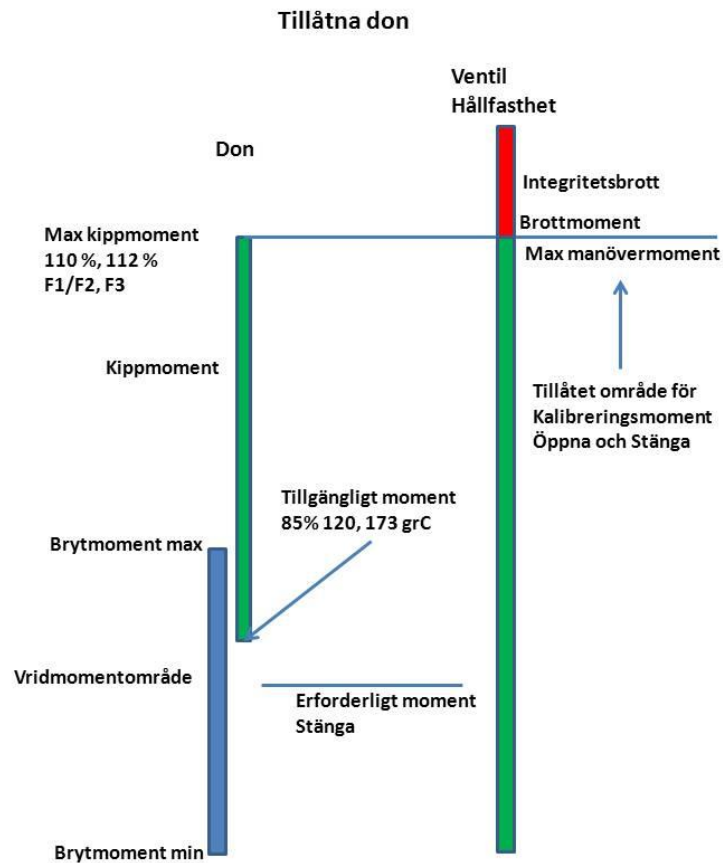
Motorer som driver ventiler ska kunna starta vid 85 % motorklämspänning enligt TBE 108 [10]. Därav får belastningsobjektets erforderade moment inte överstiga motorns tillgängliga moment vid 85 % av nominella spänning på matande skena under motorns acceleration till nominellt varvtal, vilket illustreras i figur 3.



Figur 3: En asynkronmotors momentkurva med momentkurva för ett belastningsobjekt modifierad enligt kriterier i TBE 108 [1][10].

AUMA anger moment vid rumstemperatur och att momentet sjunker vid högre temperatur [11]. Kravet är att don på insidan av inneslutningen ska kunna starta vid lägst 85 % av nominell spänning och 173°C, och don utanför reaktorinneslutningen ska kunna starta vid 85 % av nominell spänning och 120°C enligt TBE 108 och Tekniska bestämmelser för miljöspecifikation för haveriförhållanden, TBE 102:1 [10][12].

Momentet väljs så att tillräcklig stängnings- och öppningskraft erhålles samt att ventilens integritet gällande hållfasthet ej överskrids. En illustration av hur donen väljs utifrån kraven på moment och ventilens hållfasthet visas i figur 4.



Figur 4: Illustration av hur donens momentområde, min och max kippmoment väljs utifrån erforderligt moment och hållfasthet hos ventilen.

Det erforderliga momentet måste ligga inom donets tillgängliga arbetsmoment. Lägsta kippmoment skall vid lägsta spänning och högsta temperatur vara större än ventilens erforderliga moment för att motorns skall kunna starta. Maximala kippmomentet ska vid högsta spänning inte vara större än vad som är tillåtet för att ventilens hållfasthet inte ska överskridas.



### 2.2.2.2 Ventilmanöverdons temperaturpåverkan

AUMA anger den tillåtna omgivningstemperaturen för vad vardera manöverdon kan köras under utan att lindningarna riskerar uppnå skadlig temperatur. Manöverdon speciellt framtagna för nukleära ändamål kan utsättas för högre temperaturer under kortare tid. I tabell 2 visas vilka nukleära typer av manöverdon som AUMA har och deras maximala omgivningstemperatur samt tidsförlopp under DBE av typ LOCA utan att motorerna tar skada.

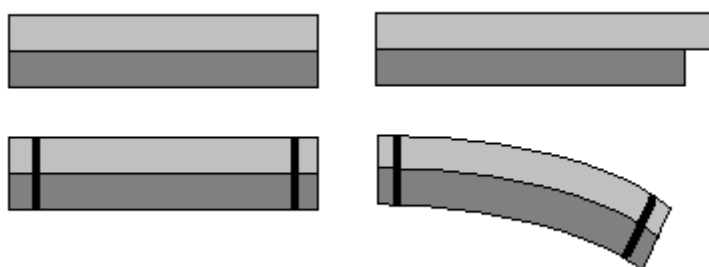
Typ	Användning	Omgivningstemperatur °C	Tidsförlopp
SAN	Atomutförande	från 0 till +120 (DBE)	upp till 30 min under DBE förhållanden
SAI	Atomutförande, inom reaktorinneslutningen	från 0 till +172 (DBE)	kort tid under DBE förhållanden

Tabell 2: AUMAs två olika kärnkraftsutformade manöverdon, deras användning och omgivningstemperatur [11].

## 2.3 Termiska överlastskydd

Elektriska motorer kan komma att belastas med högre strömmar än vad de är dimensionerade för. Överlastskydd ska skydda motorer från dessa överbelastningar genom att bryta strömmen till dem innan lindningarna kommit upp i den temperatur som orsakar skada, genom t.ex. smältning av isoleringsmaterial och brand.

Forsmark använder överlastskydd av typen termisk överlastrelä med bimetallutlösare. De består av två olika metaller som är permanent hopfogade till en stav. Eftersom det är två olika metaller så reagerar de olika mycket på värme och har olika stora längdutvidgningskoefficienter. Den ena utvidgar sig snabbare/mer än den andra vilket leder till att staven böjs vid uppvärmning av ohmiska förluster när en ström leds genom bimetallen. När motorströmmen som går genom elementet orsakat tillräcklig uppvärmning, så böjer sig staven så pass mycket att det medför en kontaktlägesväxling [13], illustreras i figur 5.



Figur 5: Illustration av hur bimetallrelä fungerar vid uppvärmning via ohmiska förluster.

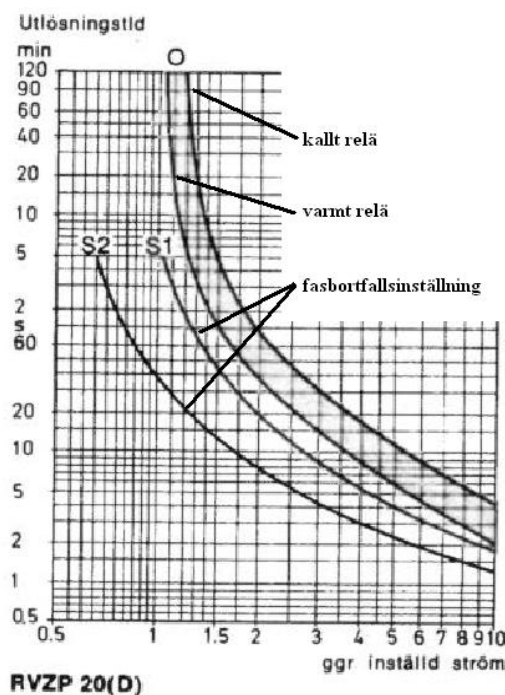
Själva processen sker inte momentant utan tiden är strömberoende. Högre ström resulterar i snabbare omslag och vice versa. Tekniska specifikationer för skydden anger deras tid-ström karakteristik. Skyddet har ett toleransintervall. Den minsta utlösningstiden ska så att falsk utlösning undviks under ventilens manövrering, och den maximala utlösningstiden ska väljas så att en överskridning av motorns termiska begränsningar undviks.

Forsmarks Kraftgrupp AB använder RVZP 20 (D), men inom snar framtid skall dessa ersättas med nyare TA25DU. Båda överlastskydden levereras av ABB.

### 2.3.1 Befintliga RVZP20 (D)

Reläerna är temperaturkompenserade vilket gör utlösningstiden oberoende av omgivningstemperaturen inom intervallet  $-10^{\circ}\text{C}$  till  $+50^{\circ}\text{C}$ . I en utlösningsskarakteristik kurva kan utlösningstiden utläsas vid kallt och driftvarmt relä. För driftvarmt relä minskar utlösningstiden till ca 1/3 från utlösningstiden för kallt relä.

Det finns en utlösningsskurva som används för alla motorstorlekar och strömvärden. Skyddet ställs in efter önskat värde, och utlösningstider fås från kurvan vid olika faktorer av det inställda värdet. Hos RVZP20D ingår även fasbrottskydd, vilket innebär att skyddet löser ut vid ett fasbortfall. Utlösningsskarakteristiken illustreras i figur 6 [14].



Figur 6: Illustration av överastreläts RVZP 20(D) utlösningsskarakteristik för kallt och varmt relä samt vid olika inställningar på fasbortfallsskyddet [14].

### 2.3.2 Ersättande TA25DU

Reläerna är temperaturkompenserade för intervallet  $-25^{\circ}\text{C}$  till  $+55^{\circ}\text{C}$  vilket gör utlösningstiden oberoende av omgivningstemperaturen inom intervallet. På samma sätt som vid den nuvarande modellen, så ställs skyddet in på önskat värde och utlösningstider fås från kurvan vid olika faktorer av det inställda värdet. Skillnaden är att den nyare modellen har flera storlekar på skydd med respektive arbetsområde. Lista på alla storlekar av TA25DU hänvisas till appendix 1. Det finns 18 strömområden, från 0,10 till 32 A. Utlösningstiderna i kurvorna anges vid kallt tillstånd, och för strömmar tre gånger värdet av inställningsströmmen och högre finns en tidstolerans på  $\pm 20\%$  [13][15].

I appendix 2 ses en typisk karakteristisk utlösningsskurva hos TA25DU (storlek 2,3-3,1 A) med tid som funktion av driftström relativt inställningsström.

## 2.4 Nuvarande inställningsvärde och rekommendationer

### 2.4.1 Forsmark Kraftgrupp AB inställningsvärde

På Forsmark ställs överlastskydden på motorns märkström [16].

### 2.4.2 AUMA rekommendationer

AUMA rekommenderar att överlastskydden ställs in på den maximala strömmen motorn kan dra vid maximalt moment för de flesta motorerna för spänningar 380 och 500V. Det finns enstaka fall där rekommendationen inte är maximala strömmen vid maximalt moment utan något lägre, men fortfarande högre värde än märkström. De enstaka fallen gäller vissa motorer med effekter 3 kW och mer. [17].

## 2.4.3 IEEE beräkningsmetod

### *Avsnitt baserat på [3]*

Data för motormanövrerade ventilers strömmar ska erhållas från manöverdonstillverkare vid nominellt moment, valt belastningsmoment (150 % till 300 % av nominellt moment) och vid låst rotor. Strömvärden ska mätas vid nominell spänning och mätas eller beräknas för förväntade klämspänningar. Dessa strömvärden ska betraktas vid det slutliga valet av överlast skyddsanordning.

Strömmen som dras av ventilmanöverdonet varierar i storlek, och medelströmmen över ett slag kan vara större än ventilmanöverdonets märkström. Därför, baserat på industriell erfarenhet, rekommenderas att strömmen vid dubbelt nominellt moment används som riktpunkt för termiska överlastskydd för att undvika utlösning under slaget.

Tid-ström karakteristiken för ett överlastskydd ska koordineras med tid-ström karakteristiken hos motorn vid nominellt moment för hela arbetscykeltiden, dubbla nominella momentet för slagtiden, samt vid låst rotor. Ventilmanöverdonens accelerations tid är normalt väldigt kort. Falsk utlösning under accelerationstiden kan normalt undvikas om skyddsanordningens minsta utlösningstid vid låst rotor överstiger en sekund. Följande information krävs vid val av termiska överlastskydd:

- a) Ventilmanöverdonets strömmar vid märkspänning och förväntad minimum och maximum spänning
  1. Nominell ström
  2. Ström vid dubbelt nominellt moment eller vid valt moment för motsvarande termiska kapacitet som finns tillgängligt
  3. Ström vid låst rotor
- b) Tid-temperatur karakteristiken hos motorn
  1. Märkström
  2. Tiden då motorn säkert kan dra ström som motsvarar det dubbla nominella momentet
  3. Varaktigheten av låst rotor som motorn kan säkert tolerera
- c) Överlastskyddens tid-ström karakteristiska kurvor, typ, lista på olika storlekar, applikations riktlinjer från den valda leverantören eller från IEEE Std C37.96-2000
- d) Motorns dimensionerande omgivningstemperatur, isoleringsklass, nominella momentet samt nominella varvtalet
- e) Slagtiden för ventilmanöverdonet
- f) Maximala tillåtna arbetscykeln
- g) Skyddets omgivnings temperatur under normala och onormala stationsförhållanden (om omgivningstemperatur kompenserade reläer inte används).

Det är önskvärt att ställa in skydden så att de tillåter motorer att dra överbelastningsströmmar som inte skadar motorn, då åtdragningsmomentet är varierande och slagtiden är relativt kort jämfört med dimensionerande operativa tiden. Av denna anledning bör skyddens drift väljas så motorn tillåts köras vid dubbla nominella momentet under dess slag tid eller vid nominella momentet under arbetscykeltiden. Vid val av skydd, skall en multiplikationsfaktor användas för att reducera värdet av motorns ström vid full last. Denna information ska erhållas från skyddens tillverkare. Om detta inte är möjligt, referera till information som finns tillgänglig i IEEE Std C37.96-2000.

Strömmen som motsvarar det dubbla nominella momentet och motorns ström vid låst rotor divideras med strömmen som motsvarar 1 pu för att få fram strömmar med pu värden. Dessa bestämmer utlösningstiden vid överbelastning och låst rotor. Om utlösningstiden är för kort, så utvärderas skyddsanordningen av storleken större.

När utlösningstiden vid låst rotor är tillräcklig, bestäms utlösningstiden vid nominellt moment och dubbla nominella momentet. En utvärdering görs baserat på dess utlösningstider relativt arbetscykler för ventilen och motorns termiska begränsningar som definieras av motorns prestandakurva. Maximala och minimala utlösningstiden beräknas vid eventuell omgivnings temperatur korrigering samt spänningsvariationer. Vid låst rotor och spänningsökning ökar strömmen som dras. Energi kan uttryckas enligt:

$$Q = K * I^2 * t \quad (7)$$

Formel 7 används för att med hjälp av angiven låst rotor ström och angiven tid som motorn klarar av att dra den strömmen, beräkna uthållnings tid för låst rotor strömmen vid högre spänning då energin i båda fallen är lika stor och vid dividering för att extrahera en variabel försvinner den okända konstanten. Maximala utlösningstiden kontrolleras med avseende på motorns termiska begränsningar. Minimala utlösningstiden kontrolleras med avseende på tiden för acceleration samt falsk utlösning under slagtiden.

### 3 Framtagning av styrande faktorer och händelser

Händelser som tagits fram påverkar motorerna genom att en strömökning uppnås utöver de dimensionerande fallen. Belastningar på motorlindningarna i form av upphettning skilt från ohmska förluster kan inte skyddas av överlastskydden då dessa enbart reagerar på ström. Strömmen genom motorlindningarna är samma ström som går genom skyddet.

Vid ett DBE av typ LOCA som resulterar i betydligt högre omgivningstemperatur för motorerna än vid vanlig drift, skulle överlastskyddens temperatur inte spegla motorlindningarnas temperatur. Strömmen slås på till motorerna vid påkallad manöver och slås av vid färdigställd manöver. En uppvärmning av motorlindningar på grund av LOCA kan inte stängas av utan skulle fortsätta även efter överlastskyddet löst ut. Motordonen är dock valda för att klara av de speciella förhållanden vid LOCA enligt tabell 5 och TBE 102:1 [12] samtidigt som inga ventilgångtider är så långa.

Skyddets utlösningstid påverkas inte av extern uppvärmning av motorer, och termiska begränsningar kan inte säkerställas av överlastskydd vid extern uppvärmning, men motorerna är valda så att funktionen kan säkerställas. Extern uppvärmning av motorlindningarna tas inte med som påverkande faktor för inställningsvärde av överlastskydd.

#### 3.1 Spännings- och frekvensvariationer

Spännings- och frekvensvariationer som motorerna inte är dimensionerade för. Förekommande driftfall utöver det dimensionerande kontinuerliga driftfallet för motorer listas i tabell 3.

Kraftverk	Drifttid	Frekvens f [Hz]	Generatorspänning U (%)	Motorklämspänning U (%)	Överdimfaktor
F1/F2	1 timme, enstaka störningstillfällen	49,7-50,3	105-110	105-110	1,11
F1/F2	1 timme, enstaka störningstillfällen	49,7-50,3	85-90	85-90	1,20
F1/F2 (1)	3 minuter, bortfall av en linje	51-53	95-105	95-105	1,26
F3	1 timme, några gånger per år	49,7-50,3	105-110	108-112	1,13
F3	10 timmar per år, alla kombinationer av frekvens och spänning	50,3-51	90-105	87-108	1,22
F3	1 timme, några gånger per år	49,7-50,3	85-90	82-95	1,24
F3 (2)	3 minuter, bortfall av en linje	51-53	95-105	92-108	1,30

Tabell 3: Driftfall utöver det dimensionerande driftfallet för motorer, samt strömökningen relativt märkströmmen för respektive driftfall [1].

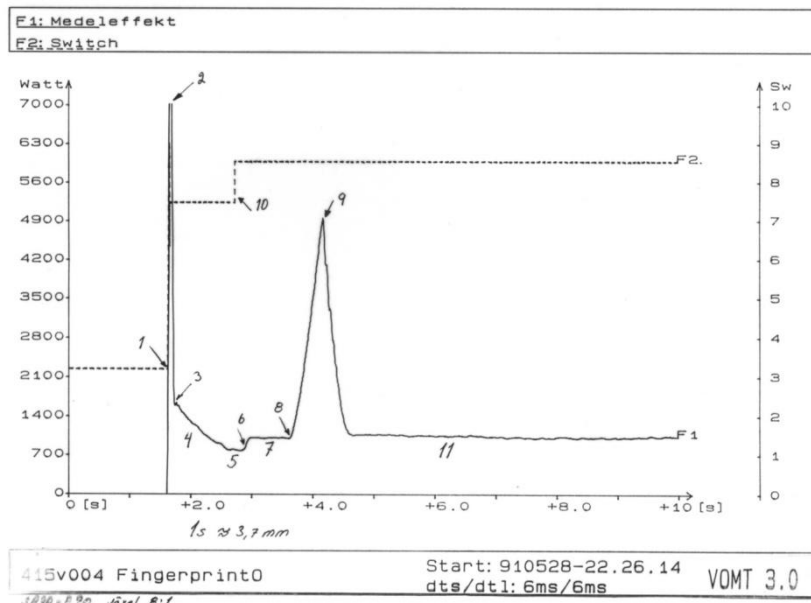
Det dimensionerande fallet är en överdimensionering på minst 18 %. De värsta driftfallen skiljer sig för F1/F2 och F3. Tabell 4 listar de värsta driftfallen och deras tidsåtgång. Driftfall med högre tidsåtgång är inte relevanta vid inställning av överlastskydd för ventiler då de inte har längre gångtider än 10 minuter för de ventilerna med absolut längst gångtid.

Kraftverk	Drifttid	Strömökning
F1/F2 (1)	3 minuter	$\frac{1,26}{1,18} = 7\%$
F3 (2)	3 minuter	$\frac{1,30}{1,18} = 10\%$

Tabell 4: De driftfall som ger högst procentuell strömökning [1].

### 3.2 Låst rotor samt lossryckning och åtdragning av ventilkägla

Vid start av motor för ventilmanövrering sker två saker. Först drar motorn en startström under en relativt kort tid. När startströmmen och starteffekten resulterat i att ingående delar i manöverdonet börjat släppa så rör sig delarna mot det läge som förbereder lossryckning. När de ingående delarna i manöverdonet ska rycka loss själva blockmekanismen i ventilen så dras en effekt som kallas lossryckningseffekt. När motorn lyckats rycka loss kägla som står för blockeringen av flödet så övergår manöverdonet till själva manövern av ventilen. Dessa två förlopp illustreras i figur 7 som kommer från en effektmätning av en ventil som skall börja manövreras från stängt tillstånd. Vid stängning av ventil uppnås på samma sätt som vid lossryckning, en åtdragningseffekt som ökar vid åtdragning och slutar vid brytning av strömtillförsel [18]. Tiden då startström dras av motorn sker oftast under sekunden [3][18] och tiden för lossryckning sker under ett par sekunder [18], båda tidsförloppen ses i figur 7. En mätning vid åtdragning av ventil ses i appendix 3 [18] där tidsförloppet är i samma storleks ordning som tidsförloppet vid lossryckning.



Figur 7: Effektmätning av ventil som ska manövreras från öppen till stängt läge där de två startförloppen illustreras, startström(2) och lossryckning (9) av flödesblockerande kägla [18].

Eftersom motorn inte drar någon aktiv effekt i låst läge så ökar strömmen om spänningen skulle öka enligt:

$$I \propto \frac{U}{Z} \quad (8)$$

Strömmen vid låst rotor anges av leverantören för varje motor vid märkspänning. En högre spänning skulle orsaka högre startström enligt formel (8). Den högsta spänning som förekommer är 110 och 112 % av nominell spänning för F1/F2 respektive F3 enligt tabellerna 1 och 3. Detta skulle innebära att startströmmen skulle öka med 10 och 12 procent för respektive block vilket ses i tabell 5.

Kraftverk	Spänning (%)	Strömökning
F1/F2	110	$I \propto \frac{U}{Z} \rightarrow I * 1,10 \propto \frac{U}{Z} * 1,10 \Rightarrow 10\%$
F3	112	$I \propto \frac{U}{Z} \rightarrow I * 1,12 \propto \frac{U}{Z} * 1,12 \Rightarrow 12\%$

Tabell 5: Startströmsökning vid värsta fall av spänningsökning för F1/F2 och F3.

För nuvarande och nya motorer med störst skillnad mellan startström och märkström löses skyddet inte ut innan start oavsett strömökningen på grund av spänningsökning vid låst rotor. Största kvoten mellan startström och märkström sker hos de nya motorerna och är 10 [17]. Detta ger en utlösningstid på strax över tre sekunder med den kurva som ger snabbaste utlösning (TA25DU 2,3–3,1 A ses i appendix 2). Värsta fallen av spänningsvariation ger en strömökning på 12 % ger en kvot mellan startström och märkström på 11,2. Utlösningstiden skulle då bli strax under tre sekunder. Eftersom startströmmen dras under en sekund antas inte strömökningen under starten orsaka obefogad utlösning av överlastskydd samt påverka motorernas termiska begränsningar. För högre inställningsvärden minskar kvoten mellan startström och märkström vilket anses vara bättre ur obefogad utlösning synpunkt.

Gällande lossrycknings- och åtdragningseffekt så har mätningar visat att strömmen inte ökar linjärt med effekten. Den aktiva effekten ökar och effektfaktorn,  $\cos\phi$ , ökar vilket kompenserar för att strömmen inte ökar i samma omfattning. En sådan mätning vid åtdragning av ventil visas i appendix 3 [18]. Mätningen är utförd på en motormanövrerad ventil med relativt låg  $\cos\phi$  vilket innebär att  $\cos\phi$  kan kompensera i större utsträckning än en motor med högre  $\cos\phi$ . Förhållandet mellan moment,  $\cos\phi$  och ström för en viss motor från AUMA ses i appendix 4. Databladet är komponentspecifikt men förhållandet antas gälla alla motorer när det gäller ett inte linjärt beroende mellan ström och  $\cos\phi$  men inte nödvändigtvis med samma värden.

Att strömökning vid effektökning kompenseras till viss del av  $\cos\phi$ , kombinerat med att start och slut förloppen går på relativt kort gångtid så kan slutsatsen dras att strömmens ökning under start och slutförlopp inte påverkar termiska egenskaperna hos motorn samt utlösningstiden för överlastskyddet. Samma fenomen antas uppnås vid lossryckning av ventil.

### 3.3 *Ökad friktion under manöver*

Två kända fall kan orsaka ökning av friktion under manövern som förbrukar effekten för funktionen så tillgänglig effekt inte räcker till och kan resultera i att skyddet värms upp så fort att det löser ut innan fullbordad manöver.

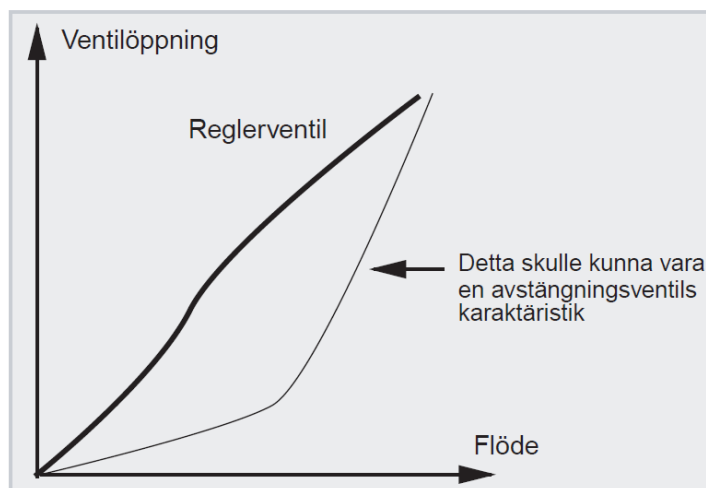
- En kärvning mellan delarna i manöverdon eller ventil
- Ökad strömning och därmed motståndsökning på ventilerna vid rörbrott på grund av det ökade differentiella trycket, speciellt vid giljotinbrott (DBE av typ LOCA)

Varje motordon har en gräns på högsta momentet som kan levereras inom arbetsområdet. I värsta fall så kan motordonet tvingas leverera max moment under hela ventilslaget. Vid max moment dras en specificerad max ström som anges av leverantören.

AUMA påstår i sin produktkatalog att donen kan vara i bruk i flera år utan underhåll [6]. Alla SODEM mätningar som körts har aldrig uppvisat en effektökning under gångtiden som skulle uppstå vid en kärvning. En tendens på att friktion mellan delar i manöverdon eller ventil skulle öka under gångtid på grund av kärvning eller liknande har aldrig påvisats och det vore högst osannolikt att en kärvning skulle resultera i att motorn drar precis ström vid maximalt moment. Skulle det kärva så är det mer sannolikt att kärvningen skulle få motorn att stanna helt. Detta utesluter i princip att faktorer som kärvning kan orsaka ökad friktion under manöver och därav få motorn att dra högre ström. En kärvning där ventilen fastnar helt och rotor står still faller inte in under kategori manöver och i en sådan drift skulle motorn dra startström och skyddet löser ut betydligt fortare än vid manöver.

En ökad strömning i rören vid rörbrott, på grund av det ökade differentiella trycket, kommer att belasta ventiler mer än vid vanlig drift vilket får motorn att dra mer ström. Detta är det stora problemet då gångtiderna är betydligt längre än vid start och slutförloppen. Ett konservativt antagande är att ventilerna begränsar stora delen flödet i sista tredjedelen av slaget vilket innebär att den ventilen då kan kräva erforderligt maximalt moment [16][19].

Figur 8 visar en bild, tagen från utbildningskompendium för Forsmark, där en typisk ventilkarakteristik för öppna-stäng ventiler visas. Där ses hur ventiler för öppna-stäng typiskt har en flödeskarakteristik som begränsar till stora delar flödet i sista delen av slaget, till skillnad från reglerventiler som har en mer linjär flödeskarakteristik. I appendix 5 ses en mätning av flödet genom en yttre skalventil vid obefogad stängning av ventilen [20]. Från det att ventiler börjar stängas tills den nått slutläget har det gått ca 0,35 sekunder. Mätningen visar tydligt att flödet genom ventiler minskar drastiskt efter ca 0,3 sekunder.



Figur 8: Flödeskarakteristik för typiska regler och avstängningsventiler[2]

### 3.4 Överlastskyddens drifttemperatur

Beroende på om överlastskyddet är driftvarmt eller kallt löser det ut olika snabbt. Två fall är då aktuella. I ena fallet är skyddet kallt när manövern påbörjas. Detta ger en viss utlösningstid. Andra fallet är då en manöver fullbordats, överlastskyddet värmts upp, och ännu en manöver startas. Detta ger en kortare utlösningstid än vid kallt skydd för samma manöver och förutsättningar och därmed finns risken för obefogad utlösning. Är skyddet däremot dimensionerad för driftvarmt läge, utlöses skyddet långsammare om skyddet är kallt vilket innebär en risk för överskridning av motorn termiska begränsningar. De nuvarande (gamla) överlastskydden kom med beskrivningen att driftvarmt relä löser på ca 1/3 av tiden som det tar för ett kallt relä [14]. Data till dessa skydd är ganska grovt beräknade. För de nya skydden finns inte data för driftvarmt.

### 3.5 Pågående generationsbyte av ventilmanöverdon

Forsmark Kraftgrupp AB skall inom en snar framtid byta ut de nuvarande ventilmanöverdonen mot don av samma märke men av en senare generation. De nya donen kommer att kopplas in på samma spänning och ska klara av att utföra samma funktion som föregående motordon dimensionerats för att klara av. På grund av nyare design och beroende av att ny standard kräver ett nytt definitionssätt så finns en skillnad på elektrisk data mellan nuvarande don och ersättande don. De nuvarande donens märkström har definierats som ström vid 50 % av maximalt moment. De nya donens märkström är satt vid 35 % av maximalt moment. Maximala strömmen, märkströmmen och startströmmen samt differensen mellan inbördes värden skiljer sig mellan gamla och nya don [17].



## 4 Framtagning av minsta gynnsamma driftfall och krav

- Värsta fall av spännings- och frekvensvariation ansetts till ökning med 10 % och har störst påverkan under den tredjedel av slaget som maximal ström dras.
- På grund av relativt låga  $\cos\phi$  hos alla motorer [17] samt det korta tidsförloppet för lossryckning och åtdragning antas dessa inte påverka motorernas termiska egenskaper samt utlösningstiden för överlastskydden.
- Största kvoten mellan startström och märkström är hos nya motorer 10. Detta ger en utlösningstid på strax över 3 sekunder. Värsta fallen av spänningsvariation som skulle ge ökning av ström på 12 % skulle ge en kvot på 11,2. Utlösningstiden skulle då bli strax under 3 sekunder. Eftersom startströmmen under en sekund antas strömökning under starten inte orsaka obefogad utlösning av överlastskydd samt påverka motorernas termiska begränsningar.
- De nya överlastskydden kommer inte med specifikation på skillnaderna mellan driftvarmt och kallt relä. Därför anses att skyddet inte bör lösa innan  $2/3$  av slaget med maxström utförts inklusive 20 % tolerans under alla utlösningstider. Enligt SODEM kurvor dras en låg ström relativt märkström vid tomgång. Eftersom ventilerna bara stänger en gång mot rörbrott antas uppvärmning av motorn innan potentiell stängning mot rörbrott ske vid nominella eller lägre värden. Motorerna ska klara märkström i 15min utan att lindningen värms upp till skadlig temperatur [21]. Uppvärmningen till driftvarm motor och skydd antas täckas in genom att tillåta ventilen dra maxström under  $2/3$  av slaget medtaget 20 % tolerans vid alla inställningsvärden.
- De nya generationerna kommer leverera samma moment som tidigare generationer men märkströmmen, ström vid maximalt moment och startströmmen kommer skilja sig för alla don.

Krav: Skyddet skall tillåta att maxström dras under  $2/3$  av slaget inklusive 20 % tidstolerans och spännings- och frekvensvariationer.

## 5 Analys av nuvarande metoder

### 5.1 Forsmark Kraftgrupp AB inställningsvärde

Följande analys har utförts på F1 system 314-700 där alla avstängningsventiler täckts [22]. De flesta ventilerna har en gångtid på 1 minut eller kortare. Eftersom kvoten mellan maxströmmen vid maximalt moment,  $I_{max}$ , och märkströmmen,  $I_m$ , för nästan alla motorer är runt två och mindre tillåts minst ett slag genomföras vid kallt tillstånd utan att reläet löser ut. Enstaka motorer har en kvot på nära 2,5 men även dessa tillåts utföra ventilmanöver utan att reläet löser inklusive tidstoleranser på 20 % och spännings- och frekvensvariationer. I bilaga 6 och 7 finns tabell med strömvärden och kvoter mellan  $I_{max}$  och  $I_m$  för SAN-don vid 380V respektive 500V.

Speciell analys har utförts på ventiler med längre gångtider. Dessa visas i tabell 6 med systemnummer, gångtid, tillhörande motor och skyddets utlösningstider. För två ventiler finns risk för obefogad utlösning under manöver även från kallt tillstånd varav ett av manöverdonen har klassning 1E.

System	Ventil	Gångtid (s)	Gångtid med max moment (s)	Motor don	$I_m$ (A), 50% av max moment	$I_m$ (A), 35% av max moment	$I_{max}$ (A) vid U & f variation	Kvot $I_{max} / I_m$	Skydd löser efter (s) - 20%	Obefogad utlösning
322, 1E	V407 V307 V207 V107	90	30	SAN 14,1-A11	0,8		$1,4 * 1,1 = 1,5$	1,9	40	NEJ
321, 1E	V34 V33	100	33	SAN 14,5-B11	1,5		$2,5 * 1,1 = 2,75$	1,8	48	NEJ
361, 1E	V2 V3	256	85	MDN7 1-4/50	2,5		$3,2 * 1,1 = 3,5$	1,4	144	NEJ, SAN data
415, 2E	V9 V10	435	145	ADN01 12-4/110	13		$18 * 1,1 = 20$	1,5	120	JA
415, 1E	V3 V4	100	33	ADN01 12-2/140		18	$40 * 1,1 = 44$	2,5	24	JA

Tabell 6: Ventiler med längre gångtid än en minut på F1 med tillhörande motor och utlösningstider [22][23].

Ställer man in motorskydden på märkström så kan ventilerna utföra minst ett slag från kallt tillstånd vid belastning  $I_{max}$  under en tredjedel av slaget med tidstolerans på 20 % och spännings- och frekvensvariationer. Två ventiler riskerar stanna mitt i manövern vid inställning på märkström. Alla ventiler riskerar stanna mitt i manövern om dessa skulle börja manövreras vid driftvarmt relä.

Eftersom skyddet ställs in på märkströmmen som står på märkplåten så finns det risk för fel vid byte av generationen då AUMA valt att omdefiniera märkströmmen. För ventiler med gångtid under 1 minut klaras fortfarande manövern från kallt tillstånd. Det uppstår problem för ventiler med längre gångtider.

## **5.2**            ***AUMA rekommendationer***

Att ställa in skydden på AUMA rekommendationer skulle innebära eliminering av obefogad utlösning av överlastskydd. Dock anses det vara för konservativt att anta att motorn skulle kunna belastas med maximal ström under hela slaget. För ventiler med gångtider under minuten antas motorernas termiska begränsningar inte överskridas på grund av de korta gångtiderna och obefogad utlösning skulle inte förekomma. För ventiler med längre gångtid finns risk för överskridning av motorernas termiska begränsningar då exakt data på termiska begränsningarna inte finns. Garantin gäller 15 min med belastning på märkström, och med ventiler som går 10 min är det inte rimligt att anta att motorn klarar av att belastas med max ström under hela slaget även om driftfallet är osannolikt i sig.

Med inställning på max ström så löser inte skyddet alls om max ström uppnås vilket kan skada motorer som manövrerar ventiler med långa gångtider. Längre utlösningstider uppnås vid startström, vilket inte är önskvärt.

## **5.3**            ***IEEE beräkningsmetod***

I princip samma rekommendationer som AUMA men metoden kräver att man känner till exakta termiska begränsningar hos motorn. Erfarenheter säger att man ska klara dubbla moment under hela slaget vilket är oftast max moment för de flesta motorer eller högre än erforderligt moment.

## 6 Tillämpning av krav för ny beräkningsmetod

Då data på termiska begränsningar inte levereras utgår beräkningen ifrån att först säkerställa ventilens funktion.

Kravet är att klara 2/3 av slaget med maximal ström samt toleranser och spännings- och frekvensvariationer. Beräkningsmetoden skall omfatta alla ventelmanöverdon och spännings- och frekvensvariationen som ger störst strömökning, 10 % på F3, används för alla motorer på alla block. För ventiler med gångtider under minuten antas hela slaget belastas med ström vid maximalt moment.

Eftersom skyddet och motorn påverkas mest under manövern så är kvoten mellan  $I_{max}$  och inställningsvärdet det avgörande. Med tillgängliga krav kan en faktor beräknas som används för att beräkna inställningsvärdet på skydden.

Ventilgångtider delas in i intervaller på 1 min upp till sju minuter, varefter ett intervall täcker sju till tio minuter. Faktorer för respektive intervall beräknas.

Beräkningsekvation för ventiler med gångtid 0-1min:

$$\frac{\text{Gångtid}}{0,8} \Rightarrow \text{Faktor inställningsvärdet} \Rightarrow \frac{I_{\text{FAKTOR}}}{1,1} = K_{\text{INSTÄLLNINGSAKTOR}} \quad (8)$$

Beräkningsekvation för ventiler med gångtid 1-10min:

$$\frac{\text{Gångtid} * \frac{2}{3}}{0,8} \Rightarrow \text{Faktor inställningsvärdet} \Rightarrow \frac{I_{\text{FAKTOR}}}{1,1} = K_{\text{INSTÄLLNINGSAKTOR}} \quad (9)$$

Vid jämförelse av kurvor visade det sig att skyddet med arbetsområde 2,20–3,10 A vara den mest konservativa kurvan för strömfaktorer under tre vid beräkning för gångtid utan obefogad utlösning av skydd. Denna kurva används för beräkning av inställningsfaktor för varje intervall och alla motorer. Gångtiden som används är längsta gångtiden i aktuella intervallet.

Med de tidstoleranser och del av slag under maxmoment som gjorts, så gäller beräkningen för gamla som nya skydd och motorer.

## 7 Resultat

Från tillgängliga krav beräknas inställningsfaktor för varje tidsintervall hos ventilerna med uträkningen (8) och (9). Resultatet ses i tabell 7.

Gångtider	Inställningsfaktor
0-1min	1,5
1-2min	1,4
2-3min	1,35
3-4min	1,3
4-5min	1,2
5-6min	1,2
6-7min	1,2
7-10min	1,15

Tabell 7: Inställningsfaktor för respektive gångtidsintervall.

För ventiler med längre gångtider jämförs märkström och nya rekommenderade inställningsvärdet och resultatet syns i tabell 8.

System	Ventil	Gång tid (s)	Im (A)	Imax (A) vid U & f variation	Kvot Imax / Im	Nya inställningsvärdet Inytt	Kvot Inytt / Im Ökning i %
322, 1E	V 407 307 207 107	90	0,8	1,4*1,1= 1,5	1,9	1	25
321, 1E	V34 V33	100	1,5	2,5*1,1= 2,75	1,8	1,8	20
361, 1E	V2 V3	256	2,5	3,2*1,1= 3,5	1,4	2,7	8
415, 2E	V9 V10	435	13	18*1,1= 20	1,5	16	23
415, 1E	V3 V4	100	18	40*1,1= 44	2,5	28	55

Tabell 8: Jämförelse mellan nya och gamla inställningsvärden.

## 8 Diskussion

Vid ett olycksscenario behövs bara ett ventilslag för att säkerställa funktionen. Strömmen slås på till motorn vid påkallad manöver och bryts vid fullbordad manöver. Motorerna drar ingen ström annars. Överlastskydd är till för att skydda motorn och även andra komponenter i närheten från eventuell brand i lindningarna hos motorn. Eftersom klass 1E ventiler måste fullborda sin funktion kan man dra slutsatsen att skydd inte behövs för dessa då manöver måste fullbordas. Därför har metoderna utgått ifrån att manöver ska klaras men om ventilen skulle kärva till den grad att den stannar helt så skulle startström dras i motorn. Denna ström är betydligt högre än driftströmmar och lindningarna klarar dessa betydligt kortare. Skydd måste då finnas för att kunna skydda motorn vid bland annat startströmmar om motorn eller ventil verkligen kärvat och det inte finns någon mening med att låta motorn belastas vidare.

Genom muntlig kommunikation har jag fått reda på att det förekommit tester av ventilstängning där ventil vridits sönder efter att moment- och lägesbrytare inte fungerat tillfredsställande. Detta beror på att det är svårt att välja motordon som uppfyller kravet att lägsta kippmoment ska vara högre än erforderligt max moment samtidigt som att högsta kippmoment skall vara lägre än erforderliga kippmoment för överskridning av ventilens hållfasthet. Det viktigaste är att motorn startar varför kravet på högt lägsta kippmoment måste uppfyllas först. Ventilerna som har vridits sönder har tätat och uppfyllt funktionen men måste bytas ut.

Att skydda ventilen med överlastskydd är inte möjligt då max kippmoment och söndervridning av ventil uppnås väldigt snabbt. Att ställa in skydd som inte löser ut under manöver, tillåter start men inte tillåter ett så högt kippmoment är omöjligt.

Vid analysen har väldigt konservativa antaganden används.

### ***8.1 Faktorer som talar för att obefogad utlösning inte förekommer vid nytt inställningsvärde***

Konservativa antaganden har gjorts för att säkerställa att skyddet inte löser ut obefogad under manöver:

- Att erforderligt moment för stängning vid rörbrott är det maximala momentet manöverdonet kan leverera vid drift. Det erforderliga momentet bestämmer vilket manöverdon som väljs, men marginal eftersträvas. Manöverdon har ett intervall för vilka moment kan levereras. Manöverdonen väljs inte så att det erforderliga stängningsmomentet är manöverdonens maximala moment utan marginal eftersträvas och från SODEM kurvor som analyserats, är det erforderliga stängningsmomentet ofta det moment manöverdonet levererar vid märkdata.
- Att maximalt moment och maximal ström dras under en tredje av slaget. Från rapporter, muntlig kommunikation och mätningar kan slutsatsen dras att påståendet är väldigt konservativt.
- Att maximalt moment och maximal ström dras under 2/3 av slaget för att täcka upp att ventilen kan börja manövreras då överlastskyddet är driftvarmt. Ventilen stänger bara en gång mot rörbrott, sen förblir den i stängda läget tills situationen löst sig och det sker inte momentant. Från SODEM kurvor som analyserats ses att tomgångseffekten vid normal drift är betydligt lägre relativt stängningseffekten. Samt dras slutsatsen att det är högst osannolikt att tomgångseffekten behöver vara så högt som stängningseffekten, snarare betydligt lägre än märkeffekten om inget kärvar och alltid flyter på som det ska. Att skyddet då ska klara uppvärmning från ett rörbrott innan ventilen stänger mot ett nytt rörbrott antas vara väldigt konservativt.
- Att det förekommer tidstolerans på 20 % över hela kurvan. Leverantören av överlastskydden anger tidstolerans för strömmar tre och högre gånger inställningsvärdet. För längre gångtider blir osäkerheten per definition lägre. Att det förekommer en tidsosäkerhet på 20 % under långa gångtider antas vara väldigt konservativt.
- Att det förekommer belastning på grund av frekvensvariation för frekvensoberoende belastningsobjekt som ventiler. Belastningsobjekt som pumpar och fläktar av centrifugal typ är väldigt frekvensberoende medan ventiler är nästan helt linjärt oberoende av frekvensen vilket innebär att en strömökning på grund av frekvensvariation inte uppnås i motorer som driver ventiler. Att frekvensvariation orsakar strömökning i ventilmanöverdon antas vara konservativt.

## 8.2 *Faktorer som talar för att motorernas termiska begränsningar inte överskrids vid nytt inställningsvärde*

De exakta termiska begränsningar levereras inte som data från leverantören. Det som är fakta är den standarden som motorleverantören följer. Konservativa antaganden som talar för att motorernas termiska begränsningar inte överskrids:

- Manöverdonens motorer är dimensionerade för korttids drift av klass S2-15min enligt [21]. Detta innebär att motorerna inte ska komma upp i jämviktstemperatur efter 15 min med märkdatas belastning. Motorer som körs kontinuerligt kommer upp i jämviktstemperatur.

Motorerna har isolationsklass F vilket innebär att motorerna har en livslängd på 20,000 timmar vid temperaturer på 155°C eller lägre. Utöver detta ansätter man temperaturstegringsfaktor B som innebär att motorn dimensioneras som om den är en klass B motor som har livslängd på 20,000 timmar vid temperaturer på 130°C eller lägre. Motorerna dimensioneras så en 10°C marginal uppnås. Skulle motorerna uppnå högre temperaturer sänks enbart livslängden till en början, det är vid betydligt högre temperaturer som lindningarna kan börja brinna [21].

Om formel (7) används kan mängden energi som går åt vid det dimensionerande driftfallet och det postulerade driftfallet räknas ut (värsta driftfallet d.v.s. ventilen med längst gångtid av de analyserade ventilerna på F1). Kylningsfaktorn tas inte med, och konstanten faller ur ekvationen då driftfallen sker på samma ledare. Från ekvation (9) ses att energimängden som anger säker drift är betydligt högre än den energimängd som uppnås vid värsta driftfallet. Energimängden vid märkdata är den energimängd som garanterar att motorn inte kommer upp i jämviktstemperatur, det skulle därmed krävas ytterligare värming för att uppnå en skadlig effekt på motorn. Av anledningarna som nämnt antas motorernas termiska begränsningar aldrig överskridas.

$$Q \approx I^2 * t \Rightarrow \quad (9)$$

$$Q_{MÄRK} \approx 13^2 * 15 * 60 = 152kJ$$

$$Q_{MAX} \approx 20^2 * \left(\frac{145 + 145}{0,8}\right) * 1,2 = 174kJ$$

- Från ekvation 9 ses att för ventilen med längst gångtid kan livslängden hos motorn potentiellt förkortas när ventilen stänger mot rörbrott. Notera att rörbrott är högst osannolikt scenario, och i händelse av rörbrott förekommer större problem än en motor vars livslängd förkortats. Att lyckas stänga vid rörbrott är viktigare och skulle motorn behöva bytas ut efter manövern är det en liten kostnad att betala relativt vad som lyckats förhindrats. Det viktigaste är att ventilen stänger och skyddet löser ut innan motorn brinner vilket antas göra även då tidstoleranser är medtagna för fall med längst utlösningstid av skyddet.
- Motorerna är dimensionerade efter värsta belastningsobjekt i form av pumpar och fläktar av centrifugaltyp. Dessa är väldigt frekvensberoende till skillnad från ventiler. Frekvensvariation ger visserligen en låg överdimensionering men fortfarande en överdimensionering, storleken tre procent. Kombinerat att de är överdimensionerade för frekvensvariation samtidigt som en sådan frekvensvariation inte förekommer för ventiler antas motorernas termiska begränsningar aldrig överskridas.

Slutsatsen är att ventilmanöverdon är överdimensionerade för många driftfall, samt att med de konservativa antaganden som gjorts kommer obefogad utlösning av överlastskydd aldrig ske.

Eftersom de mest konservativa antaganden gjorts med värsta tänkbara händelser så kan metoden appliceras på alla ventilmanöverdon på alla block, där metoden kommer för de flesta manöverdon vara onormalt konservativ.

Med de tidstoleranser som används och del av slag med max moment som antagits så gäller metoden för gamla som nya skydd och manöverdon.

Alla skydds karakteristiker är väldigt lika vilket innebär att användning av den mest konservativa kurvan för beräkning av snabbast utlösning inte anses påverka de termiska begränsningarna hos motorer som använder andra skydd.

Från jämförelserna mellan gamla och nya inställningsvärden i tabell 8 ses ökning i procent av de nya värdena från det gamla inställningsvärdet. Det är en relativt låg procentuell ökning för de flesta motorer. När det gäller vanliga motorer så ställs överlastskydden på märkström och det ska skydda motorn. Eftersom ventilmanöverdon har relativt korta gångtider, kombinerat med de konservativa antaganden som gjorts, överdimensioneringar och relativt låga ökning av inställningsvärdet från ett värde som ska skydda vanliga långgående motorer, bedöms det nya inställningsvärdet skydda motorer som analyserats.



## 9 Slutsats och förslag

En beräkningsmetod för inställningsvärde av överlastskydd har tagits fram. Metoden har grundats på en hel del konservativa antaganden då önskvärd fakta inte kunnat erhållas. Större delen av arbetstiden har gått åt att säkerställa att kraven uppfylls samt samla in relevant data. Det har varit oerhört värdefullt att prata med experter om hur komponenter och system beter sig för att kunna få fram indikation på hur dessa integrerar med varandra samt ge underlag i hur konservativa antaganden ska ansättas. Då det har varit ytterst svårt att finna en del viktig data har onormalt konservativa antaganden varit tvungna att göras.

### 9.1 Förslag för inställning av överlastskydd

För ventiler inom aktuellt intervall används tillhörande inställningsfaktor, ses i tabell 9, för att beräkna en inställningsström från  $I_{MAX}$ . Största värdet av märkström och den beräknade inställningsströmmen väljs som inställningsström, se ekvation 10. Metoden gäller överlastskydd för alla manöverdon, oavsett säkerhetsklassning och blocket de befinner sig på.

Gångtider	Inställningsfaktor
0-1min	1,5
1-2min	1,4
2-3min	1,35
3-4min	1,3
4-7min	1,2
7-10min	1,15

Tabell 9: Inställningsfaktor för ventiler med gångtider inom respektive intervall.

$$\begin{aligned} \frac{I_{MAX}}{K_{INSTÄLLNING}} > I_{MÄRKSTRÖM} &\Rightarrow I_{INSTÄLLINGSSTRÖM} = \frac{I_{MAX}}{K_{INSTÄLLNING}} \\ \frac{I_{MAX}}{K_{INSTÄLLNING}} < I_{MÄRKSTRÖM} &\Rightarrow I_{INSTÄLLINGSSTRÖM} = I_{MÄRKSTRÖM} \end{aligned} \quad (10)$$

#### 9.1.1 Framtagning av specifikation för alla ventiler och tillhörande manöverdon

Alla ventiler och deras gångtider skall tas fram, samt tillhörande manöverdon med elektrisk data. Excel kan användas för att med enkla ekvationer räkna ut inställningsvärdet för alla manöverdons överlastskydd.

#### 9.1.2 Analys av konservativa faktorer samt framtagning av momentval för ventilmanöverdon

Framtagning av hur moment valts för varje ventil rekommenderas för att utesluta några av de mest konservativa antaganden. Ett förslag är att använda SODEM kurvor och jämföra effekten vid stängning med manöverdonens effekt vid olika moment eller på annat håll ta fram lista på vilka moment som är erforderliga för varje ventil samt tillhörande donens tekniska specifikationer. Prioriteringen bör ligga på att ta fram val av moment för ventiler men längre gångtider då dessa är få relativt de ventiler med gångtider under minuten.

#### 9.1.3 1E klassade samt icke säkerhetsklassade manöverdon

För säkerhetsklassade manöverdon bedöms kraven vara uppfyllda. För ytterligare säkerhet för speciella ventiler kan skyddet ställas in på max ström. För motorer som inte är säkerhetsklassade där rekommenderade inställningar inte bedöms skydda motorerna, kan skydden ställas in på märkström.

## 10 Referenser

- [1] Sundberg Dan, KFE F1/F2/F3 Dimensionering av asynkronmotorer med  $U_n < 1000$  V, FT-2005-207, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [2] Kärnkraftsäkerhet och Utbildning, Forsmark Kraftgrupp AB, Ventiler F12-A1-5500, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [3] IEEE Standard Criteria for the Protection of Class 1E Power Systems and Equipment in Nuclear Power Generating Stations, Std 741-2007
- [4] Tommie Stridfeldt, Forsmark 1 och Forsmark 2 – Driftklarhetsverifiering och tillståndsbaserat underhåll med hjälp av SODEM, FM-I-032, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [5] Tommie Stridfeldt, Forsmark 1 och Forsmark 2 – Inställningar av larmgränser och val av referenskurvor i SODEM, FM-I-033, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [6] AUMA, Produktöversikt AUMA Elmanöverdon SA 6 – SA 100
- [7] FORSMARK 1 - SLUTLIG SÄKERHETSRAPPORT FÖR SYSTEM 543 VENTILMANÖVRERING, R-Dok 543, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [8] FORSMARK 3 - SLUTLIG SÄKERHETSRAPPORT FÖR SYSTEM 543 VENTILMANÖVRERING, R-dok 543, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [9] Tekniska Bestämmelser för Elektrisk Utrustning, kortslutna asynkronmotorer, TBE 103, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [10] Tekniska Bestämmelser för Elektrisk Utrustning, elmotor drivna ventilmanöverdon, TBE 108, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [11] <http://www.auma.com/cms/AUMA/en/topnavi/1.500110.109503.html>  
AUMA Technical data Multi-turn actuators for use in nuclear power plants in accordance with IEEE 382-1996, Short-time duty S2 - 15 min, SAN 07.1 – SAN 25.1 issue 2.07, SAI 6 – SAI 100 issue 1.11, den 2 juni 2012
- [12] Tekniska Bestämmelser för Elektrisk Utrustning, miljöspecifikation för haveriförhållanden, TBE 102:1, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [13] <http://www.abb.se/product/seitp329/07db01708cde768ec12573ad00387d3e.aspx?productLanguage=se&country=SE>, den 2 juni 2012
- [14] Termiska Överlastreläer, tidreläer, ASEA SK 40-1, F1 C-dok 166, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [15] Tripping characteristic – Thermal overload relay TADU25, <http://www.abb.se/product/seitp329/07db01708cde768ec12573ad00387d3e.aspx?productLanguage=se&country=SE>, den 2 juni 2012
- [16] Tommie Lund, Forsmark 1 och 2 – motormanövrerade skalventilers funktionssäkerhet, FM-2001-283, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [17] <http://www.auma.com/cms/AUMA/en/products/multiturnActuators/1.111003.158259.html>  
Electrical Data AUMA multi-turn actuators, SAN 07.1 – SAN 14.1 issue 1.04, SAN 14.5 - SAN 25.1 issue 1.01, SAN 07.1 – SAN 25.1 issue 1.10, SA 07.2 – SA 16.2 issue 1.12, SA 07.2 – SA 16.2 issue 1.11, den 2 juni 2012
- [18] Björn Pihlgren, Skalventilspresentation, Januari 2012, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [19] Muntlig kommunikation, Björn Pihlgren, 15 maj, 2012, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [20] Forsmark 1 och 2, system 411 - Huvudångsystem Belastningsfall SH/IVC, beräkningar med Relap5 av tryck, flöden och krafter vid obefogad stängning av yttre skalventiler, FT-2006-1991, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [21] International Electro technical Commission, IEC SS-EN 60034
- [22] Komponentplacering AUMA F1, Excel dok, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar
- [23] Forsmark 1 ventilgångtider, FMT-2010-0095, Excel dok, Forsmarks Kraftgrupp AB 742 03 Östhammar

## 11 Appendix

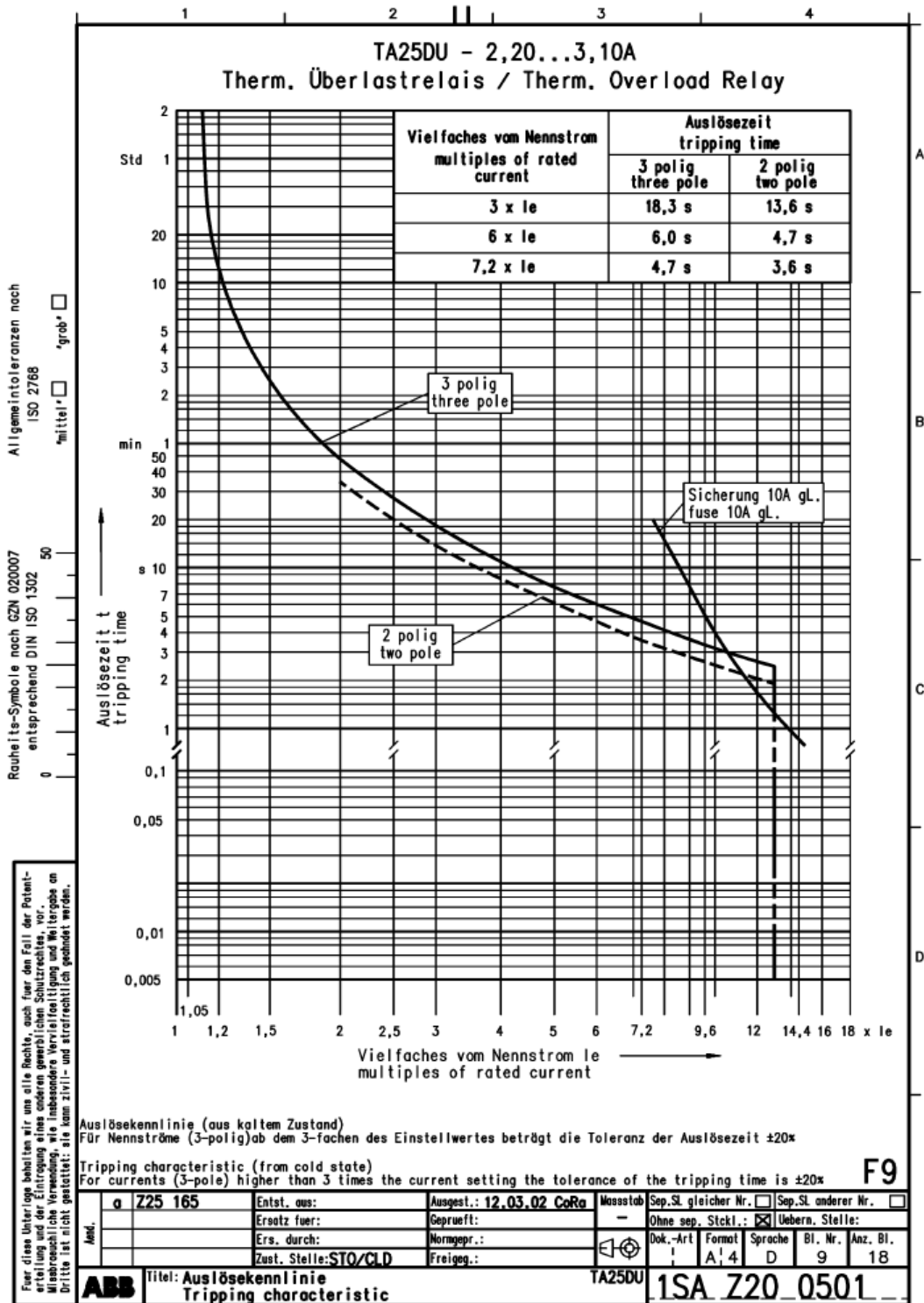
### 11.1 Appendix 1: Lista på storlekar och strömområden hos överlastskydden

De 18 olika storlekarna hos överlastskydden av typen TADU25 samt deras strömarbetsområden och utlösningstider vid tre olika faktorer av inställningsvärdet inom strömområden [13].

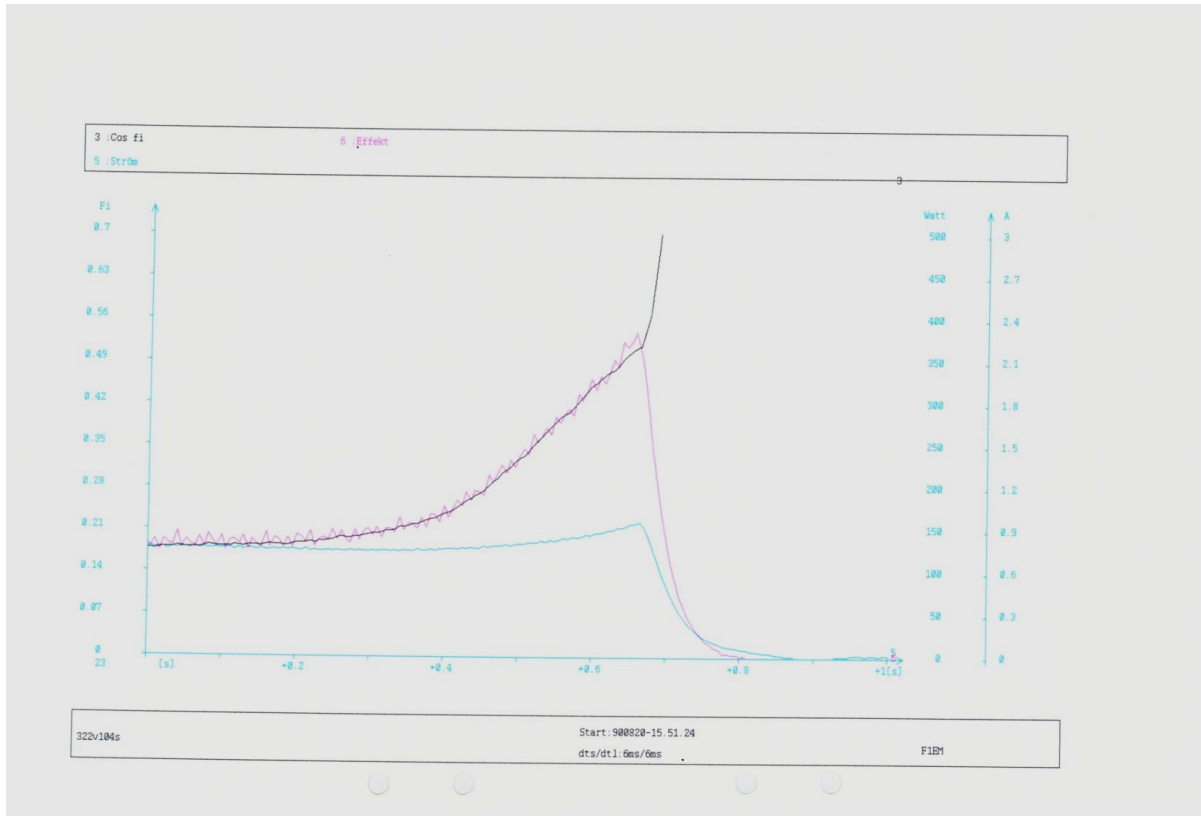
TADU25	Utlösningstid (s)		
	3*Inställning	6*Inställning	7,2*Inställning
0,10-0,16	17,3	5,6	4,5
0,16-0,25	16,8	6	4,7
0,25-0,40	17,3	5,6	4,4
0,40-0,63	17,3	5,7	4,5
0,63-1	20	6,7	5,3
1-1,4	18,3	6,3	5
1,3-1,8	18,8	6	4,7
1,7-2,4	19,6	6	4,8
2,2-3,1	18,3	6	4,7
2,8-4	18,8	6,1	4,7
3,5-5	17,8	6	4,5
4,5-6,5	17,8	5,6	4,6
6-8,5	17,8	6,1	5
7,5-11	18,8	6,5	5,1
10-14	17,8	6	4,7
13-19	20,5	6	4,7
18-25	22,4	6,8	5
24-32	23,7	7,7	6

## 11.2 Appendix 2: Kurva med utlösningskaraktistik hos ett överlastskydd

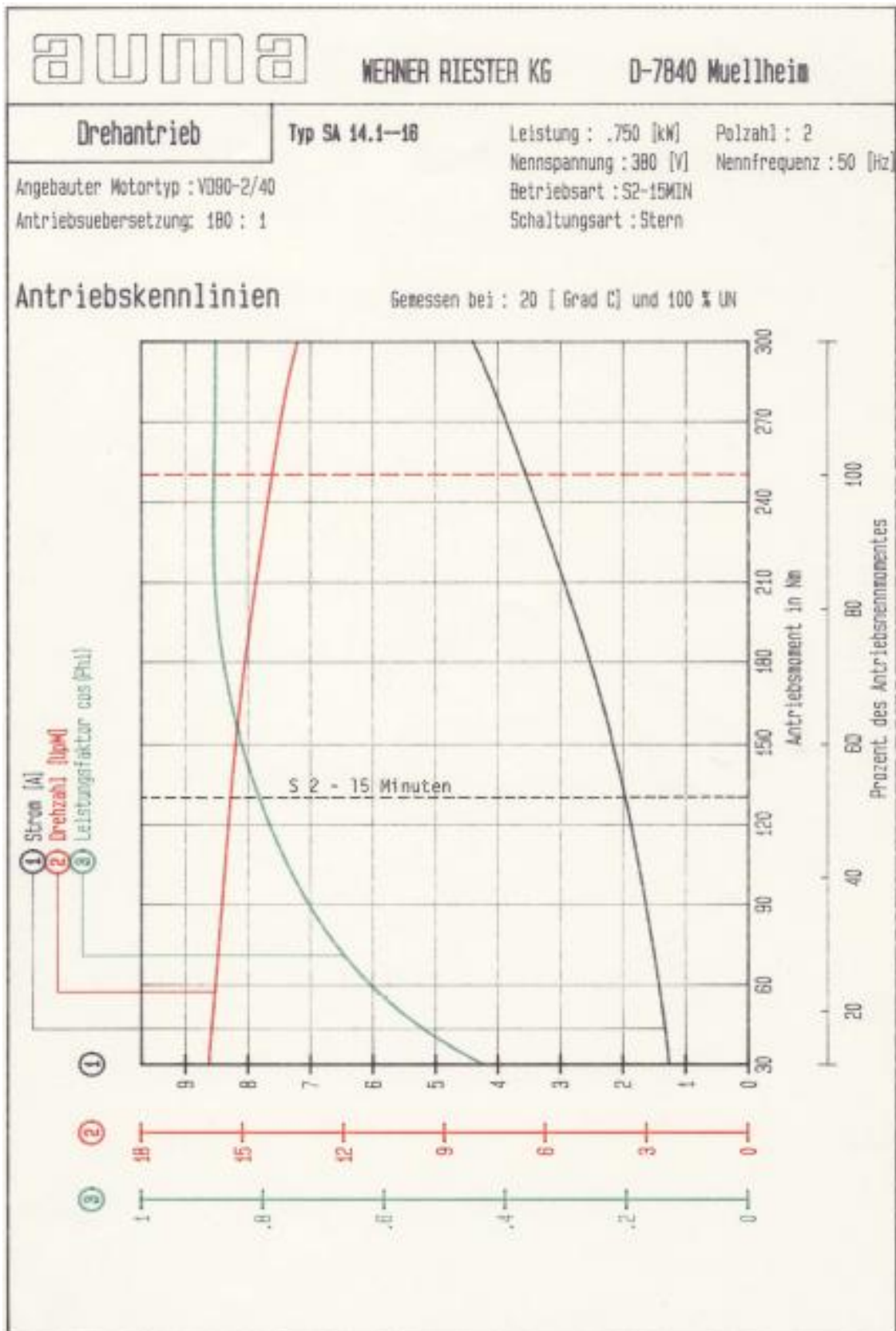
Typiskt utseende på utlösningskurvan hos ett överlastskydd, i det här fallet den mest konservativa kurvan i fråga om obefogad utlöslning, d.v.s. kurva med snabbast utlöslning för strömmar 2,5 gånger inställningsströmmen och lägre, TADU25 2,2–3,1 A.



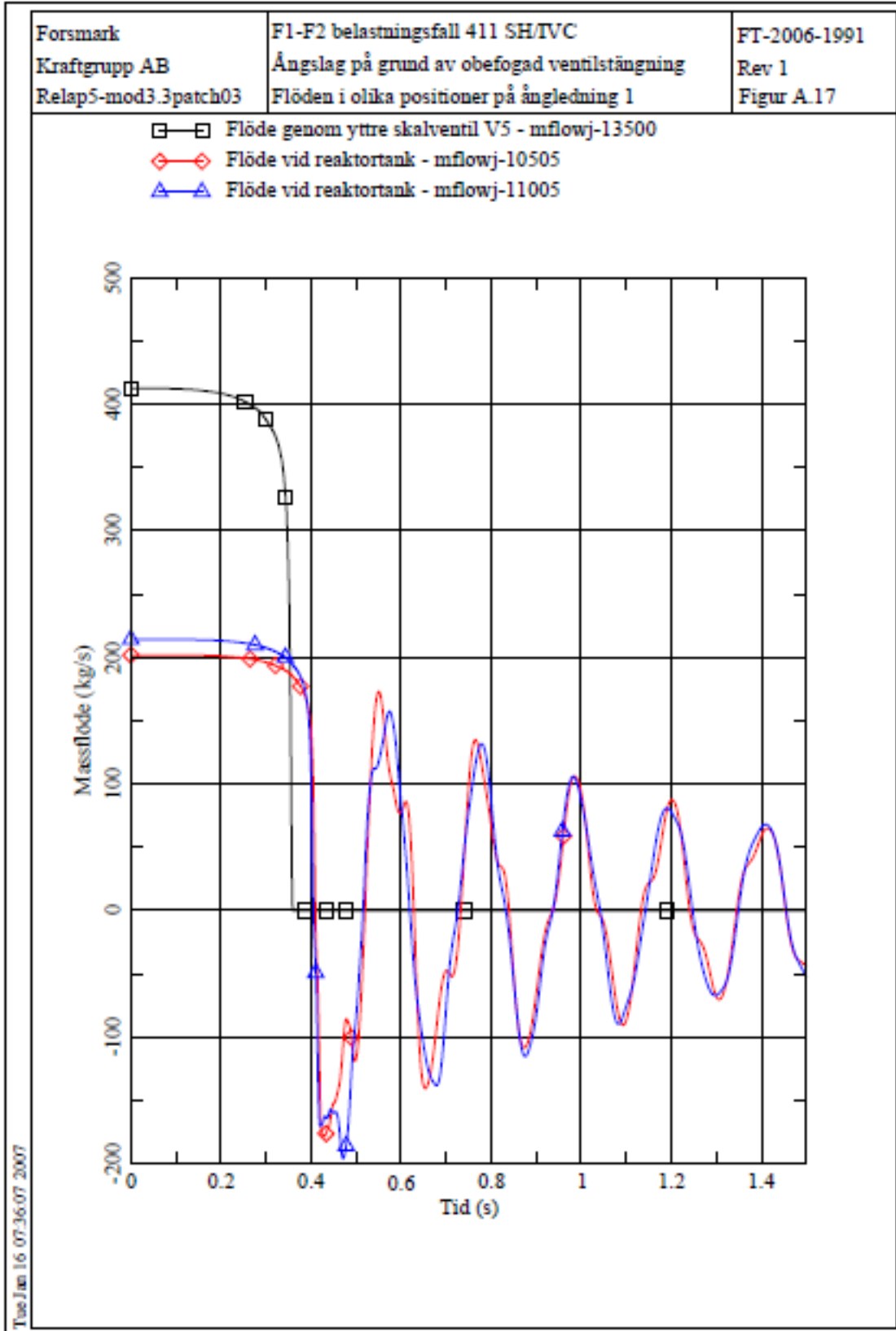
### 11.3 Appendix 3: Mätning av aktiv effekt, ström och $\cos\varphi$ vid åtdragning av en ventil



11.4 Appendix 4: Data for a standard motor from AUMA with illustration of the relationship between current, torque and  $\cos\phi$



**11.5 Appendix 5: Mätning av flöde genom en yttre skalventil vid obefogad stängning**



## 11.6 Appendix 6: Tabell med strömmar för gamla och nya SAN-don vid 380V, samt kvoter mellan I<sub>max</sub> och I<sub>m</sub>

Här visas strömmar för gamla och nya SAN-don vid 380V, kvoten mellan max- och märkströmmen samt kommentar om dessa skiljer sig negativt vid byte samt om problem uppstår för ventiler med gångtid under 1 minut och användning med någon av dessa motorer.

Nuvarande		I <sub>max</sub> * 10	Nya		50%	35%	Skiljer sig negativt vid byte	Problem för ventiler med gångtid under 1 min
I <sub>m</sub> *10 50%	I <sub>m</sub> *10 35%		I <sub>m</sub> *10 35%	I <sub>max</sub> * 10	I <sub>max</sub> /I <sub>m</sub>	I <sub>max</sub> /I <sub>m</sub>		
	4	5	4	3	1,25	0,75		
	4	5	4	4	1,25	1,00		
	4	5	4	4	1,25	1,00		
	4	5	4	5	1,25	1,25		
	7	7	6	6	1,00	1,00		
	7	8	6	7	1,14	1,17		
	12	13	10	10	1,08	1,00		
	12	14	10	11	1,17	1,10		
	12	14	8	13	1,17	1,63	JA	
	12	15	8	14	1,25	1,75	JA	
	12	16	9	16	1,33	1,78	JA	
	12	17	9	17	1,42	1,89		
	4	5	4	4	1,25	1,00		
	4	5	4	5	1,25	1,25		
	6	7	6	7	1,17	1,17		
	6	7	6	7	1,17	1,17		
	7	9	7	9	1,29	1,29		
	7	10	7	11	1,43	1,57		
	15	21	17	20	1,40	1,18		
	15	28	17	21	1,87	1,24		
	16	26	17	24	1,63	1,41		
	18	30	17	26	1,67	1,53		
	20	38	18	32	1,90	1,78		
	20	40	18	34	2,00	1,89		
	5	10	5	6	2,00	1,20		
	5	10	5	6	2,00	1,20		
	10	11	11	12	1,10	1,09		
	10	12	11	13	1,20	1,18		
	13	17	14	16	1,31	1,14		
	14	19	14	19	1,36	1,36		
	24	30	26	27	1,25	1,04		
	25	32	26	32	1,28	1,23		
	35	48	32	38	1,37	1,19		
	39	55	32	42	1,41	1,31		
	40	65	37	55	1,63	1,49		
	40	70	37	58	1,75	1,57		
	18	20	5	8	1,11	1,60	JA	
	18	20	5	11	1,11	2,20	JA	
	11	17	11	17	1,55	1,55		
	11	18	11	18	1,64	1,64		



19		35	16	32	1,84	2,00	JA
19		35	16	37	1,84	2,31	JA
38		54	26	42	1,42	1,62	JA
38		59	26	53	1,55	2,04	JA
76		110	49	74	1,45	1,51	
76		120	49	95	1,58	1,94	JA
76		150	56	120	1,97	2,14	JA
76		180	56	120	2,37	2,14	
30		32	9	9	1,07	1,00	
30		33	9	11	1,10	1,22	
19		30	18	32	1,58	1,78	JA
20		33	18	37	1,65	2,06	JA
37		50	38	53	1,35	1,39	
38		55	38	58	1,45	1,53	
55		60	56	79	1,09	1,41	JA
60		70	56	95	1,17	1,70	JA
	70	140	95	140	2,00	1,47	
	80	170	95	170	2,13	1,79	
	90	180	100	220	2,00	2,20	
	100	240	100	230	2,40	2,30	
40		48	15	28	1,20	1,87	JA
40		50	15	31	1,25	2,07	JA
36		60	29	53	1,67	1,83	JA
38		70	29	58	1,84	2,00	JA
50		90	51	92	1,80	1,80	
50		100	51	110	2,00	2,16	
130		160	89	140	1,23	1,57	JA
130		180	89	170	1,38	1,91	JA
	150	240	120	260	1,60	2,17	JA
	160	350	120	320	2,19	2,67	JA
	170	360	130	370	2,12	2,85	JA
	180	400	130	470	2,22	3,62	JA
60		70			1,17		
60		75			1,25		
55		70			1,27		
60		80			1,33		
70		160			2,29		
80		200			2,50		
100		200			2,00		
140		220			1,57		
	170	280			1,65		
	190	320			1,68		

## 11.7 Appendix 7: Tabell med strömmar för gamla och nya SAN-don vid 500V, samt kvoter mellan I<sub>max</sub> och I<sub>m</sub>

Här visas strömmar för gamla och nya SAN-don vid 500V, kvoten mellan max- och märkströmmen samt kommentar om dessa skiljer sig negativt vid byte samt om problem uppstår för ventiler med gångtid under 1 minut och användning med någon av dessa motorer.

Nuvarande		Nya		Skiljer sig negativt vid byte		Problem för ventiler med gångtid under 1 min
I <sub>m</sub> *10 50%	I <sub>max</sub> * 10	I <sub>m</sub> *10 35%	I <sub>max</sub> * 10	I <sub>max</sub> /I <sub>m</sub> 50%	I <sub>max</sub> /I <sub>m</sub> 35%	
3	4	3	2	1,33	0,67	
3	4	3	3	1,33	1,00	
3	4	3	3	1,33	1,00	
3	4	3	4	1,33	1,33	
5	5	5	5	1,00	1,00	
5	6	5	5	1,20	1,00	
9	10	8	8	1,11	1,00	
9	11	8	8	1,22	1,00	
9	11	6	10	1,22	1,67	JA
9	11	6	10	1,22	1,67	JA
9	12	7	12	1,33	1,71	JA
9	13	7	13	1,44	1,86	JA
3	4	3	3	1,33	1,00	
3	4	3	4	1,33	1,33	
5	5	5	5	1,00	1,00	
5	5	5	6	1,00	1,20	
5	7	6	7	1,40	1,17	
5	8	6	8	1,60	1,33	
11	16	13	15	1,45	1,15	
11	21	13	16	1,91	1,23	
12	20	13	18	1,67	1,38	
14	23	13	20	1,64	1,54	
15	29	14	24	1,93	1,71	
15	30	14	26	2,00	1,86	
4	8	4	5	2,00	1,25	
4	8	4	5	2,00	1,25	
8	8	8	9	1,00	1,13	
8	9	8	10	1,13	1,25	
10	13	10	12	1,30	1,20	
11	14	10	14	1,27	1,40	
18	23	20	21	1,28	1,05	
19	24	20	24	1,26	1,20	
27	36	24	29	1,33	1,21	
30	42	24	32	1,40	1,33	
30	49	28	42	1,63	1,50	
30	53	28	44	1,77	1,57	
14	15	4	6	1,07	1,50	JA
14	15	4	8	1,07	2,00	JA
8	13	8	13	1,63	1,63	
8	14	8	14	1,75	1,75	
14	27	12	24	1,93	2,00	
14	27	12	28	1,93	2,33	JA

29	41	20	32	1,41	1,60	JA
29	45	20	40	1,55	2,00	JA
58	84	38	56	1,45	1,47	
58	91	38	72	1,57	1,89	JA
58	110	42	88	1,90	2,10	JA
58	140	42	88	2,41	2,10	
23	24	7	7	1,04	1,00	
23	25	7	8	1,09	1,14	JA
14	23	14	24	1,64	1,71	JA
15	25	14	28	1,67	2,00	JA
28	38	29	40	1,36	1,38	
29	42	29	44	1,45	1,52	JA
42	46	42	60	1,10	1,43	JA
46	53	42	72	1,15	1,71	JA
53	110	72	100	2,08	1,39	
61	130	72	130	2,13	1,81	
68	140	76	170	2,06	2,24	JA
76	180	76	180	2,37	2,37	
30	36	11	22	1,20	2,00	JA
30	38	11	23	1,27	2,09	JA
27	46	22	40	1,70	1,82	
29	53	22	44	1,83	2,00	JA
38	68	38	70	1,79	1,84	
38	76	38	80	2,00	2,11	
99	120	68	100	1,21	1,47	JA
99	140	68	130	1,41	1,91	JA
110	180	88	200	1,64	2,27	JA
120	270	88	240	2,25	2,73	JA
130	270	96	280	2,08	2,92	JA
140	300	96	360	2,14	3,75	JA