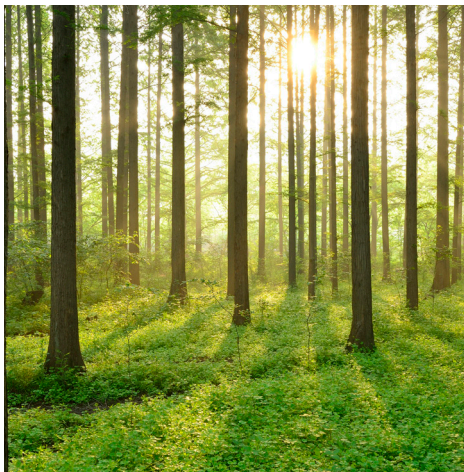
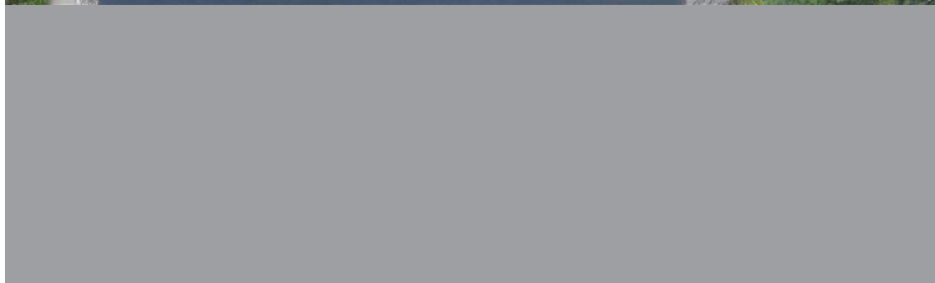


# RESERVKRAFT FÖR UTSKOVSLUCKOR – EN INTRODUKTION

RAPPORT 2022:879



DAMMSÄKERHET





# Reservkraft för utskovsluckor – En introduktion

CATHRIN ÅBERG  
JOHAN SMED

ISBN 978-91-7673-879-5 | © Energiforsk aug 2022

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se



## Förord

**I denna rapport ges in introduktion till reservkraft för utskovsluckor. Rapporten behandlar olika tekniska lösningar och diskuterar deras för- och nackdelar samt förutsättningar.**

Projektet har genomförts på WSP av Cathrin Åberg och Johan Smed. En referensgrupp bestående av Romanas Wolfsborg (Vattenfall), Anna Engström Meyer (Svenska kraftnät), Magnus Holmgren (Vattenfall), Per Bylander (Fortum), Ingemar Kevnell (Statkraft), Peter Lundström (Skellefteåkraft), Jonas Westholm (Vattenregleringen) och Olle Runnéus (Uniper) har följt projektet.

Projektet har genomförts inom Energiforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsprogram med medverkan från vattenkraftindustrin och Svenska kraftnät.

Författarna ansvarar för rapportens innehåll.

## Sammanfattning

Denna rapport utgör en del av Energiforsks dammsäkerhetsprogram och syftar till att stärka kunskapen gällande reservkraft till utskovsluckor. Rapporten behandlar tekniska lösningar (batteri, dieselaggregat och UMD-system) samt sätter dessa i relation till svenska dammanläggningar när det kommer till för- och nackdelar, krav och förutsättningar. Vidare utreds även hur en anläggnings dammsäkerhetsklass och betydelse för elförsörjningen påverkar kravställningen på reservkraft.

Reservkraftens generella funktion är definierad i RIDAS 2019 som säkrande av kraftförsörjning vid bortfall eller fel i ordinarie kraftförsörjning. Dess mer specificerade funktion för avbördning, via manövrering av utskovslucka, ingår delvis i begreppet det elektriska reservmanövreringssystemet. I denna definition finns utrymme för att specificera den till reservkraftens funktion för att säkra avbördning. En tydlig definition kan underlätta säkerhetsarbetet, exempelvis under arbetet med riktlinjer och framtagning av kravställning.

När det kommer till val av reservkraftssystem finns det många parametrar att ta hänsyn till. Två av de viktigaste parametrarna är dammens kritiska fyllnadstid samt konsekvenser vid dammhaveri, vilket återspeglas i dammens dammsäkerhetsklass. Utöver dessa tillkommer även flertalet andra parametrar och det är därför viktigt att se till dammanläggningens helhet när man utreder dess reservkraft. Detta återspeglas även i kravställningen som vanligtvis tas fram under en dammsäkerhetsutvärdering och blir således specifik för aktuell dammanläggning. Att kraven på reservkraften baseras på anläggningen där den verkar är nödvändigt, men ställer i sin tur höga krav på dammägarens säkerhetsarbete.

Batterier som reservkraft har en hög tillförlitlighet. De lämpar sig därför bra i anläggningar där tillförlitlighet är viktigt, exempelvis där den kritiska fyllnadstiden är kort. Däremot är lagringskapacitet begränsad. Lämplighet bör därför utredas extra noggrant där nödmanövreringssystem saknas och nätavbrott riskerar att pågå en längre tid. I dessa fall riskerar avbördningen att helt begränsas till batteriets kapacitet.

Dieselaggregat har en lång livslängd, låga underhållskostnader och hög kapacitet. Ytterligare en fördel är den utbredda erfarenheten som finns gällande dieselaggregat som reservkraft. God erfarenhet och bred kunskap om systemet bidrar till dess funktionssäkerheten. Däremot är tillförlitligheten sämre än för batterier. Detta innebär att dieselaggregat lämpar sig sämre i anläggningar med kort kritisk fyllnadstid.

UMD-system har med dess batteri och växelströmsmotorer goda förutsättningar för hög tillförlitlighet. Däremot begränsas lagringskapaciteten till batteriet. Vidare tillför UMDn ytterligare komponenter till reservkraftssystemet. Med fler komponenter ökar risken för fel samtidigt som ett komplext system riskerar att försämra förutsättningarna för driftpersonal att på ett snabbt och säkert sätt felsöka och åtgärda eventuella fel. UMD-system är ovanliga i svenska dammanläggningar,

det är därför viktigt att vidare utreda hur systemet fungerar och om dess förväntade egenskaper även gäller praktiskt.

I många anläggningar finns fler än ett reservkraftsystem. På detta sätt skapas redundans samtidigt som de olika reservkraftsystemen tillsammans kan väga upp för varandras svagheter och stärka deras goda egenskaper.

## Nyckelord

Dammsäkerhet, utskov, reservkraft, avbördning, batteri, dieselaggregat, UMD.

## Summary

This report is a part of Energiforsks dam safety program and aims to strengthen knowledge regarding backup power systems for spillways. It deals with technical solutions (battery, diesel generators and UMD) and puts these in relation to Swedish dams when it comes to advantages, disadvantages, requirements and conditions. The impact of the dam safety class on the requirements of the backup power systems and the significance of backup power for Sweden's electricity supply is also investigated.

The general function of backup power is defined in RIDAS 2019 as securing power supply in the event of failure in ordinary power supply. Its more specified function for discharge, via water discharge of the spillway, is partly included in the concept of the “electric backup maneuvering system”. In this definition, there is room to specify it to the function of the backup power to ensure water discharge. A clear definition can facilitate safety work, for example during the work with guidelines and the development of requirements concerning backup power for spillways.

When it comes to choosing a backup power system, there are many parameters to consider. Two of the most important parameters are the dam's critical filling time and the consequences in the event of a dam failure, which is reflected in the dam's safety class. In addition to these, several other parameters are also important and it is therefore vital to look at the totality of the dam facility when investigating its backup power. This is also reflected in the requirements that are usually developed during a dam safety evaluation and thus becomes specific to the current dam facility. That the requirements for backup power are based on the dam where it operates is necessary, but in turn places high demands on the dam owner's safety work.

Batteries as backup power have a high reliability. They are therefore well suited for facilities where reliability is important. However, storage capacity is limited. Suitability should therefore be investigated extra carefully where emergency maneuvering systems are lacking and grid interruptions risk lasting longer. In these cases, the ability to discharge is limited to the capacity of the battery.

Diesel units have a long service life, low maintenance costs and high capacity. Another advantage is the widespread experience that exists regarding diesel generators as backup power. Good experience and broad knowledge of the system contribute to its functional safety. However, the reliability is worse than for batteries. This means that diesel generators are less suitable in plants with a short critical filling time.

With its battery and AC motors, UMD systems have good conditions for high reliability. However, the storage capacity is limited to the battery. Also, the UMD adds additional components to the backup power system. With more components, the risk of errors increases at the same time as a complex system risk impairing the conditions for operating personnel to troubleshoot and rectify any errors in a fast and safe way. UMD systems are unusual in Swedish dams, so it is important to



further investigate how the system works and whether its expected properties also apply in practice.

Many plants have more than one backup power system. In this way, redundancy can be created at the same time as different backup power systems together can compensate for each other's weaknesses and strengthen their good properties.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>10</b>
1.1	Bakgrund	10
1.2	Syfte och projektbeskrivning	10
1.3	Omfattning och avgränsningar	11
<b>2</b>	<b>Kravställning och tekniska lösningar för reservkraft</b>	<b>12</b>
2.1	Definition	12
2.2	Kravställning på reservkraften	12
2.2.1	Dammsäkerhetsklass	13
2.2.2	Dammsäkerhetsarbete	14
2.2.3	Anläggningens betydelse ur elförsörjningssynpunkt	14
2.2.4	Funktionskrav	15
2.2.5	Krav på automatik	15
2.2.6	Redundanta matningsvägar	16
2.3	Tekniska lösningar	16
2.3.1	Batterier med likströmsmotor	16
2.3.2	Dieselaggregat	17
2.3.3	UMD	18
<b>3</b>	<b>Anläggningsförutsättningar vid val av reservkraftsystem</b>	<b>19</b>
3.1	Dammspecifika egenskaper	19
3.1.1	Dammsäkerhetsklass	19
3.1.2	Anläggningens betydelse ur elförsörjningssynpunkt	19
3.1.3	Kritisk fyllnadstid och stigningshastighet	20
3.1.4	Inställetid	20
3.1.5	Anläggningens tillgänglighet	21
3.1.6	Klimat och väderförhållanden	21
3.1.7	Dammtyp	22
3.2	Reservkraftens laster i anläggningen	22
3.3	Driftpersonal och erfarenhet	23
3.4	Nödmanövreringssystem	23
<b>4</b>	<b>Utvärdering av reservkraft baserat på anläggningsförutsättningar och kravbild</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Erfarenhetsinsamling</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>27</b>
6.1	Definition	27
6.2	Förutsättningar vid val av reservkraftsystem	27
6.3	Krav	28
6.4	Tekniska lösningar för reservkraft	28
6.4.1	Batterier med likströmsmotor	28
6.4.2	Dieselaggregat	29
6.4.3	UMD	29

6.4.4	Kombinerad reservkraft	30
<b>7</b>	<b>Slutsats</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>Källor</b>	<b>33</b>
<b>Bilaga A:</b>	<b>Intervjufrågor</b>	<b>34</b>

# 1 Inledning

Denna rapport behandlar reservkraft till utskovsluckor och utgör en del av Energiforsks dammsäkerhetsarbete. Rapporten behandlar olika tekniska lösningar av reservkraft samt sätter dessa i relation till svenska dammanläggningar när det kommer till för- och nackdelar, krav och förutsättningar.

## 1.1 BAKGRUND

I Sverige nyttjas delar av våra vattendrag för att producera el. Som en del i strategin att utnyttja vattenkraften byggs dammar för att dämna upp och på så vis lagra den innevarande lägesenergin i vattnet. En damm brukar beskrivas som ett byggnadsverk som dämmer upp eller utestänger vatten från ett lägre liggande markområde och dammens specifika syfte kan variera. Exempelvis finns det regleringsdammars vars syfte är att reglera vattendragets flöde samt dammar med angränsande kraftstation som producerar el. Vid lagring av stora vattenvolymer är säkerheten kritisk för att förhindra dammhaveri, en situation där ett okontrollerat flöde av vatten frisläpps. Beroende på dammens egenskaper och geografiska läge ser konsekvenserna för dammhaveri olika ut. Exempelvis kan ett dammhaveri leda till förlust av människoliv och förstörelse av infrastruktur. För att säkerställa en god dammsäkerhet är det därför viktigt med ett fortlöpande arbete för säkrare dammanläggningar.

En viktig del i säkerhetsarbetet är att säkra en kontrollerad avbördning av vatten från magasinet. Genom att kontrollera avbördningen kan magasinets vattennivå justeras och man undviker då kritiska nivåer där dammen riskerar att haverera. Ett vanligt sätt att avbördna vatten är via utskovsluckor som används för att kontrollera avbördningen. Utskovsluckor manövreras vanligtvis av elmotorer eller hydraulaggregat som båda drivs av el.

Vid bortfall av ordinarie matning till manöversystem för utskovsluckor riskerar den kontrollerande avbördningen att gå förlorad. Det är därför viktigt att det under dessa situationer finns reservkraft som kan säkerställa kraftmatningen. Reservkraftsystemet kan baseras på olika typer av reservkraft och vara uppbyggda på många olika sätt. Idag är reservkraften i dammanläggningar vanligtvis uppbyggda av batterier eller dieselaggregat samt det mindre vanliga systemet UMD.

Olika reservkraftsystem har olika för- och nackdelar och det finns inget entydigt svar på vilken som är bäst. I stället bör valet av reservkraft utgå från de förutsättningar som finns för den aktuella dammen. Genom att studera reservkraftens egenskaper tillsammans med dammanläggningens förutsättningar och kravställning kan man identifiera den lösning som passar anläggningen bäst.

## 1.2 SYFTE OCH PROJEKTBESKRIVNING

Projektets syfte är att stärka kunskapen gällande lösningar för reservkraften till utskovsluckor. Målet är att beskriva olika tekniska lösningar samt att kartlägga förutsättningar för dessa vid Sveriges dammanläggningar för vattenkraft.

Rapporten redogör för:

- Definitionen av reservkraft
- Kravställning på reservkraften för utskovsluckor
- Olika tekniska lösningar för reservkraften för utskovsluckor
- Förutsättningar för reservkraft i Sveriges dammanläggningar för vattenkraft
- Utvärdering av förutsättningar, kravbild och reservkraft.
- Krav och/eller vägledning för reservkraft beroende på anläggningens dammsäkerhetsklass

I rapporten har definition, kravställning och olika tekniska lösningar för reservkraft utretts för att ge en överblick av reservkraften och de tekniska lösningarnas egenskaper.

Vidare har förutsättningar i dammanläggningar utretts för att bedöma anläggningsspecifika krav. De anläggningsspecifika kraven har sedan bedömts mot tekniska lösningar gällande reservkraften för att utvärdera deras lämplighet och förmåga att möta dessa.

För att utreda reservkraft i svenska dammanläggningar för vattenkraft har tidigare insamlat data tillsammans med rapporter, riktlinjer och krav använts. För att ta del av erfarenheter gällande reservkraft och hur de fungerar i praktiken har intervjuer genomförts med personer som innehar denna erfarenhet. Fokus under intervjuerna har varit erfarenheter av reservkraftssystemet samt specifika kunskaper och resonemang gällande förutsättningar för reservkraften i aktuell anläggning. Under samtliga samtal lyftes samma frågeställningar, se bilaga 1. En sammanställning av intervjuerna presenteras i kapitel 5.

Rapporten ger en övergripande bild samt strukturerar aktuella behov och fungerar som en orienterande start för fördjupande studier.

### 1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR

Projektet avgränsas till att utreda aktuella frågor ur ett svenskt perspektiv där svenska riktlinjer, förutsättningar och krav är i fokus.

Reservkraftssystem som utreds i rapporten begränsas till batterier med likströmsmotor, dieselaggregat och UMD-system med batterier. Urvalet har skett efter de vanligast förekommande reservkraftssystemen samt UMD som har diskuterats alltmer på senare tid som en lämplig lösning för reservkraft i dammanläggningar.

## 2 Kravställning och tekniska lösningar för reservkraft

Elektriska system kopplat till dammens avbördning matas vanligen med en spänningsnivå på 400/230 VAC från en lokaltransformator som är kopplad till nätet eller via kraftbatteri 220 VDC. Reservkraften syftar till att säkerställa hjälpkraftsystemets tillförlitlighet och uthållighet och därmed säkra kraftförsörjning till anläggningens vitala funktioner vid bortfall/fel i ordinarie kraftförsörjning [1].

I detta avsnitt avhandlas definition, kravställning och olika tekniska lösningar gällande reservkraften.

### 2.1 DEFINITION

Reservkraft kan definieras och specificeras på flera sätt. I RIDAS 2019 definieras reservkraftens allmänna funktion som följande [1]:

*”Reservkraft syftar till att säkerställa hjälpkraftsystemets tillförlitlighet och uthållighet och därmed säkra kraftförsörjning till anläggningens vitala funktioner vid bortfall/fel i ordinarie kraftförsörjning. Reservkraft kan antingen vara likströms- eller växelströmsbaserad. Reservkraftsystemet kan dimensioneras för att förse en hel anläggning med kraft alternativt en begränsad del (exempelvis dammsäkerhetsrelaterade objekt). Dammsäkerhetsklass och anläggningsförutsättningar styr normalt valet av utformning”*

Reservkraftens manöverfunktion för utskovsluckor specificeras i begreppet det elektriska reservmanövreringssystemet [1]:

*”Det elektriska reservmanövreringssystemet syftar i första hand till att säkerställa att det finns elkraft som möjliggör manöver av utskov vid bortfall av ordinarie manövreringssystemets elkraft.”*

### 2.2 KRAVSTÄLLNING PÅ RESERVKRAFTEN

Under utformandet av reservkraftsystemet är det viktigt att ta hänsyn till de krav som ställs på systemet för att säkerställa ett robust avbördningssystem. En stor del av den kravställning som ställs på reservkraften hanteras och utformas under säkerhetsarbetet för den aktuella dammen, ofta genom en dammsäkerhetsutvärdering, DSU, se avsnitt 2.2.2. När kravställningen arbetas fram är det viktigt att ta hänsyn till dammsäkerhetsklassen, se avsnitt 2.2.1. Utöver detta finns det även beskrivet övergripande funktionskrav på elektriska system samt specifika funktionskrav för reservkraften i RIDAS 2019. Under denna rubrik presenteras dammsäkerhetsklass, dammsäkerhetsarbete och de funktionskrav som står specificerade i RIDAS 2019.

### 2.2.1 Dammsäkerhetsklass

En samlad reglering av frågor om dammsäkerhet infördes i miljöbalken den 1 juli 2014 enligt lag (2014:114) om ändring i miljöbalken samt i tre förordningar. En damm där ett dammhaveri kan leda till konsekvenser med betydelse från samhällelig synpunkt eller riskerar människoliv ska ha en dammsäkerhetsklass. I 11 kap. 24-26 §§ miljöbalken beskrivs förutsättningarna för att en damm ska bli klassificerad i dammsäkerhetsklass A, B eller C. Det är tillsynsmyndigheten, normalt länsstyrelsen, som med stöd av konsekvensutredningar fattar beslut om dammsäkerhetsklass för dammar inom länets geografiska område. Dammsäkerhetsklassen påverkar utformningen av kravställning på anläggningen, varvid reservkraften är en del. Dammar som ej hör till ovan klassificering blir antingen utan dammsäkerhetsklass (U) eller, om denna ägs av ett medlemsföretag i Energiföretagen, tilldelas den klassificering D eller E. RIDAS 2019 beskriver dammsäkerhetsklasserna och konsekvenserna följande [1]:

DAMMSÄKERHETSKLASS	KONSEKVENSER
A	Mycket stor betydelse från samhällelig synpunkt, när ett haveri kan leda till: <ul style="list-style-type: none"> <li>• En nationell kris som drabbar många människor och stora delar av samhället samt hotar grundläggande värden och funktioner.</li> <li>• Risk för förlust av människoliv som inte är försumbar.</li> </ul>
B	Stor betydelse från samhällelig synpunkt, när ett haveri kan leda till: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stora regionala och lokala konsekvenser eller störningar.</li> <li>• Risk för förlust av människoliv som inte är försumbar.</li> </ul>
C	Måttlig betydelse från samhällelig synpunkt, när ett haveri kan leda till: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betydande lokala konsekvenser och störningar.</li> <li>• Risken för förlust av människoliv är försumbar.</li> </ul>
D	Liten betydelse från samhällelig synpunkt men stor betydelse för medlemsföretaget, när ett haveri kan leda till stor skada för medlemsföretaget eller enskilda intressen vad gäller egendom och andra värden.
E	Liten betydelse från samhällelig synpunkt och för medlemsföretaget när ett haveri ej kan leda till stor skada för medlemsföretaget eller enskilda intressen.

Figur 1 Dammsäkerhetsklass och konsekvenser

Om hur anläggningens dammsäkerhetsklass påverkar valet och dimensioneringen av reservkraften skriver RIDAS 2019 följande [1]:

*”En dammanläggning utformas och konstrueras för att vid varje givet tillfälle ha den grad av säkerhet mot dammhaveri som är rimlig tekniskt och ekonomiskt. Högre grad av säkerhet krävs ju allvarigare konsekvenserna kan bli av ett dammhaveri. Därför kan dimensioneringsförutsättningar och tekniska lösningar differentieras med avseende på dammsäkerhetsklass.*

*De laster som beaktas är permanenta laster, variabla laster och olyckslaster. Konstruktionen dimensioneras så att gränsvärden avseende bruksgräns och brottgräns inte överskrids. Även andra förhållanden som exempelvis olyckslastfall och utmattning kan behöva beaktas.”*

Vidare står det mer specifikt om reservkraften [1]:

*”För anläggningar med hög dammsäkerhetsklass och höga stighastigheter kan det vara befogat att reservkraft med motorgeneratoraggregat utgörs av ett eget system som endast används för dammsäkerhetsfunktionen. Detta då en begränsad utbredning av ett system höjer driftsäkerheten.”*

### 2.2.2 Dammsäkerhetsarbete

En stor del av kravställningen på reservkraften arbetas fram under dammsäkerhetsarbetet i aktuell anläggning. Dammsäkerhetsarbetet genomförs för att ge en helhetsbild av anläggningens säkerhet, risker samt hantering av dessa. Förutom att utgå ifrån aktuell anläggning så ska arbetet även ta hänsyn till de krav som finns i lagstiftningen gällande dammsäkerhet. Genom att analysera anläggningen kan en anläggningsspecifik kravställning tas fram. Ett exempel på detta är dammsäkerhetsutvärdering, DSU, som är ett arbetsätt framtaget av Energiföretagen och dess medlemsföretag. Arbetet grundar sig i framtagna vägledande principer som guidar medlemsföretagen under arbetet. Utförligare information om DSU och vägledande principer finns beskrivna i RIDAS 2019 [1].

### 2.2.3 Anläggningens betydelse ur elförsörjningssynpunkt

Anläggningar i elsystemet betydelseklassas efter dess betydelse i elsystemet [2]. Denna klassificering utgår från de konsekvenser som kan drabba elförsörjningen vid elavbrott i anläggning, se figur 2.

Betydelseklass	Betydelse
<b>B1</b>	Lokal betydelse
<b>B2</b>	Regional betydelse eller stor lokal betydelse
<b>B3</b>	Nationell betydelse eller stor regional betydelse
<b>B4</b>	Avgörande nationell betydelse

**Figur 2 Betydelseklassning ur elförsörjningssynpunkt**

Vid elavbrott är det viktigt med ett robust reservkraftssystem för att upprätthålla eller vid behov starta upp anläggningen. En högre betydelse påverkar därför utformningen av reservkraften. För vattenkraftstationer är det inte ovanligt att station och utskovsluckor delar reservkraft, varvid detta påverkar utförandet av utskovsluckans reservkraft.

Även i de fall reservkraften inte är gemensam bör detta tas i beaktande då ett dammhaveri direkt påverkar elförsörjningen hos vattenkraftanläggningar i aktuell damm eller nedströms. Störning i elförsörjningen ingår i 11 kap. 24 § miljöbalken som konsekvenskategori för beslut om dammsäkerhetsklass.



#### 2.2.4 Funktionskrav

I detta avsnitt beskrivs funktionskraven på elsystem, reservkraft och det elektriska reservmanövreringssystemet som står i RIDAS 2019 [1].

Elsystemets funktionskrav:

*”De elektriska systemen fungerar tillförlitligt vid alla driftsituationer, från lugn drift med vattenflödesreglering till full avbördning vid kritiska situationer. Följaktligen fungerar systemen under inverkan av en rad faktorer. Det som avgör hur kritiska de olika hoten är mot systemen är framförallt tidsfaktorn och dammanläggningens dammsäkerhetsklass.”*

Reservkraftens funktionskrav:

*”Då behov av reservkraftanläggningar föreligger kan de antingen byggas upp i form av fritt uppställda containeraggregat alternativt av stationära reservkraftaggregat permanent installerade inomhus. I båda fallen finns det dessutom möjlighet till inkoppling av mobila reservkraftaggregat. Reservkraftanläggningen dimensioneras efter anläggningens förutsättningar med beaktande av bland annat:*

- *anslutna laster, dessas karakteristik (startströmmar, olinjäritet, sammanlagring etc.)*
- *behov av kontinuerlig drift utan tillsyn (inklusive behov av bränsleförsörjning)*
- *krav på spänningshållning, transienta spänningsvariationer*
- *spänningsdistorsion*
- *behov av stationär kortslutningsström (säkerställning av att säkringen närmast fel behäftat objekt kan lösa ut)*
- *krav på uthållighet (avbrottstid ordinarie system).”*

Elektriska reservmanövreringssystemets funktionskrav:

*”Reservmanövreringssystemet syftar i första hand till att ersätta utebliven kraftmatning till ordinarie manövreringssystem. Systemet har erforderlig prestanda som det ordinarie systemet.*

#### 2.2.5 Krav på automatik

Reservkraftssystem kan styras på olika sätt men idag är det vanligt med ett automatiskt system som startar vid behov. Automatiken säkerställer i detta fall att kraftmatningen till utskoven blir kontinuerlig vid bortfall av ordinarie matning och ökar därmed avbördningens säkerhet. Automatiserade system kan se olika ut men ett robust och enkelt system kan ofta minimera risken för fel och svårigheter vid felsökning och åtgärdande. Kravet på automatiska reservkraftssystem formuleras följande i RIDAS 2019 [1]:

*”Automatiska reservkraftssystem krävs om exempelvis bortfall av ett aggregat i en kraftstation på kort tid medför risk för överdämning.”*

## 2.2.6 Redundanta matningsvägar

I RIDAS 2019 står att läsa följande om redundans [1]:

*”En avbördningsfunktion är beroende av kablar för överföring av kraft, manöver och indikering samt mätvärden med mera och måste utformas/dimensioneras med beaktande av de krav som ställs på funktionen och då även med beaktande av det totala systemets behov av redundans och fysikalisk åtskillnad.”*

*”Den elektriska utrustningen som ingår i den avbördande och kontrollerande funktionen för en dammanläggning ska med tillfredsställande säkerhet dimensioneras för aktuella belastningar och i sin systemuppbyggnad vid behov innehålla redundans.*

*Reserokraftanläggning är en viktig komponent i kraftförsörjningssystemet och utformas med beaktande av funktions- och prestandakrav.”*

## 2.3 TEKNISKA LÖSNINGAR

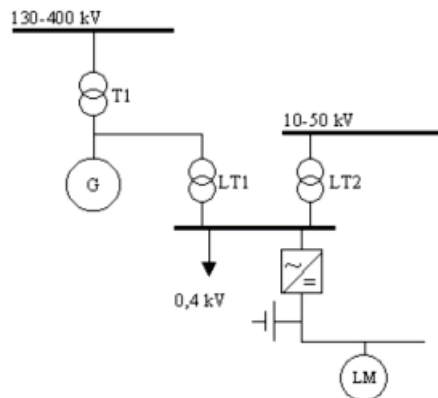
Det finns ett flertal tekniska lösningar för reservkraft, vardera med individuella för- och nackdelar. I detta avsnitt beskriver vi batterier med likströmsmotorer, dieselaggregat och UMD. De tekniska lösningarnas individuella egenskaper jämförs vidare i kapitel 4 där de utvärderas mot anläggningsspecifika förutsättningar.

### 2.3.1 Batterier med likströmsmotor

Utskovsluckor med likströmsdrivsystem drivs av likströmsmotorer. Likströmsmotorer var vanliga som drivsystem förr då reservkraft till växelströmsmotorer var mer komplicerat men utgör idag en mindre del av drivsystemen för utskovsluckor. Reservkraften består av ett batteri som förser motorn med likström vid bortfall av ordinarie matning. En stor fördel med reservkraftssystemet är dess tillförlitlighet. Studier visar att sannolikheten för funktionsfel vid bortfall av ordinarie matning är så låg som 0,125% [3]. Batterier kan även användas som reservkraft i kombination med en asynkronmotor och växelriktare. Fördelen med likströmsmotorn är dock att växelriktaren undviks och systemet får färre komponenter som riskerar att ge upphov till fel i systemet. En annan fördel med batterier och likströmsmotor kan vara den redundans som uppstår i en anläggning där det både finns luckor med AC-drift och DC-drift. Nackdelar med systemet är batteriets begränsade lagringskapacitet samt att livslängden endast är 5-20 år. Likströmsmotorn kan även ha en kortare livslängd, kräva mer underhåll, vara dyrare, ha längre leveranstider samt vara något mindre driftsäker jämfört med en kortsluten asynkronmotor [1].

I RIDAS 2019 finns krav gällande batterier i reservkraftssystem:

*”Batterier tillhörande reservkraftssystem uppfyller samma kvalitetskrav som anläggningens ordinarie likströms kraftförsörjning med fokus på batterityp (stationära batterier), övervakningsfunktioner (inklusive batterifel) med mera.”*

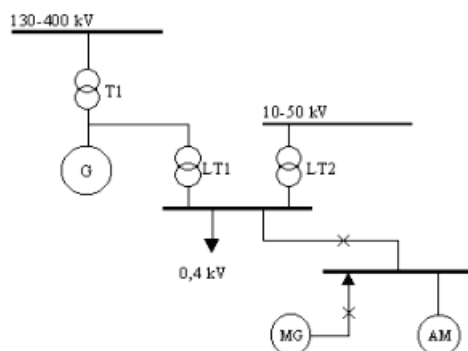


Figur 3 Förenklat enlinjeschema för likströmsdriven lucka med likriktare och batterireserv [1]

Enligt en undersökning genomförd år 2009, omfattandes 158 dammanläggningar och 666 utskovsluckor, hade 9% en reservkraft bestående av likströmsbatteri med likströmsmotor [4].

### 2.3.2 Dieselaggregat

Ett dieselaggregat drivs av diesel för att producera el och används i hög utsträckning som reservkraft i Sverige. Aggregatet kan antingen vara stationärt installerad på plats i anläggningen eller mobil och styrd av driftpersonal. Fördelen med dieselaggregat är att de enkelt dimensioneras efter behov och kan förse utrustning med elektricitet under en längre tid. De anses även ha låga underhållskostnader och lång livslängd på grund av låga drifttimmar. Nackdelen med dieselaggregat anses vara dess tillförlitlighet. Att fel uppstår vid start av motorgeneratoraggregat är ca 1 på 40 vid behov, vilket motsvarar en felfrekvens på 2,5% [4].



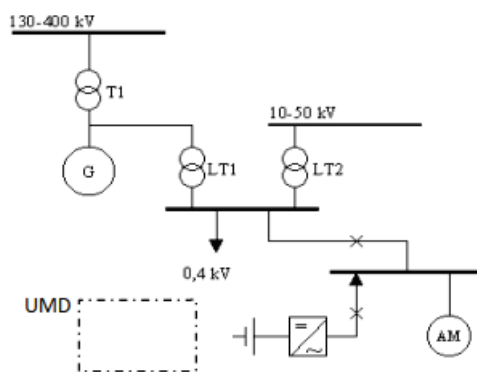
Figur 4 Förenklat enlinjeschema för växelströmsdriven lucka med reservkraft i form av motorgeneratoraggregat [1]

Enligt en undersökning visar det sig att 42% av de undersökta utskoven har ett motorgeneratoraggregat som reservkraft [4]. Av dessa är en majoritet (67%) av reservkraften placerad på stationsnivå (gemensam reservkraft för station och utskovsluckor) och 33% av reservkraften unik för utskovsluckorna.

### 2.3.3 UMD

UMD (Uninterruptible Motor Drives) beskrivs ofta som ett system som utnyttjar batteriets pålitlighet samtidigt som den behåller fördelarna med en växelströmsmotor. Systemet är uppbyggt med en UMD-enhet som kraftförsörjs med både likspänning från en battericentral och växelspanning, oftast via ett lokalkraftställverk. Vidare från UMD-enheten sker kraftförsörjning av manövreringssystemet. Vid bortfall av ordinarie matning kopplas reservkraften automatiskt och avbrottsfritt på av UMD-enheten och via en frekvensomriktare matar batteriet manövreringssystemet med växelström. UMD-enheten är således alltid aktiv i kraftförsörjningen, oavsett om den sker via ordinarie matning eller via reservkraften. Reservkraften är i de flesta fall ett separat batteri, men alternativa lösningar finns där kraftstationens ordinarie batterisystem används.

Detta innebär att reservkraft med batteri som energikälla kan användas tillsammans med standard växelströmsmotorer. Fördelarna med ett UMD system är dess avbrottsfria drift, batteriets tillförlitlighet och lättövervakade tillstånd samt fördelarna med att behålla den vanliga växelströmsmotorn. Nackdelar är uthålligheten som i vissa fall begränsas till batteriets kapacitet samt dess skrymmande egenskaper vid högre kapacitet. En större nackdel i dagsläget är att UMD-system som reservkraft i svenska dammanläggningar är ovanliga och erfarenheten därmed liten [4].



Figur 5. Förenklat enlinjeschema för växelströmsdriven lucka med batterireserv och frekvensomriktare (UMD) [1]

Enligt en undersökning har 2 % av utskoven en säkerställning via ett UMD-system [4].

## 3 Anläggningsförutsättningar vid val av reservkraftsystem

Alla dammar och dammanläggningar har individuella egenskaper. Detta innebär att ingen universell lösning för val av reservkraft går att applicera på alla dammanläggningar. Istället bör varje enskild dammanläggning analyseras utifrån dess förutsättningar för att identifiera lämplig reservkraft. Detta arbete sker under dammsäkerhetsarbetet för den aktuella dammen. I detta kapitel presenteras förutsättningar och egenskaper som bör beaktas när man beslutar om anläggningsspecifika krav av reservkraften. Kraven utvärderas vidare i kapitel 4 tillsammans med reservkraftens egenskaper.

### 3.1 DAMMSPECIFIKA EGENSKAPER

Dammanläggningens utformning och omkringliggande miljö påverkar dess egenskaper och tas i beaktande vid utformning av reservkraftsystem.

#### 3.1.1 Dammsäkerhetsklass

Från avsnitt 2.2.1 gäller att en dammanläggning ska utformas och konstrueras för att ha en grad av säkerhet mot dammhaveri som är rimligt ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv. Desto högre konsekvenserna är av ett haveri (högre dammsäkerhetsklass), desto högre grad av säkerhet behövs. Detta gäller även reservkraften som har en viktig uppgift när det kommer till att säkra avbördning och undvika haveri.

Hög dammsäkerhetsklass kan därför ställa följande krav på reservkraften:

- Tillförlitlighet för högre grad av säker avbördning.
- Redundans för att öka avbördningens tillförlitlighet.
- Kapacitet för att inte tappa avbördningsförmågan under längre avbrott.
- Automatiserad reservkraft som går i gång automatiskt vid bortfall av ordinarie spänningsmatning.

#### 3.1.2 Anläggningens betydelse ur elförsörjningssynpunkt

Från avsnitt 2.2.3 gäller att anläggningar i elsystemet betydelseklassas efter dess betydelse ur elförsörjningssynpunkt. I de fall då reservkraften är gemensam för station och utskovsluckor ställs högre krav på reservkraften beroende på vattenkraftanläggningens betydelseklassning [2].

Detta tas även i beaktande under klassificering av dammens säkerhetsklass där konsekvenser av ett dammhaveri utreds. En av dessa konsekvenser är *störning i elförsörjningen*.

För anläggningar med högre betydelse ur elförsörjningssynpunkt gäller högre krav gällande:

- Tillförlitlighet för högre grad av säkerhet.
- Redundans för att öka anläggningens tillförlitlighet.
- Kapacitet för att klara längre avbrott.
- Automatiserad reservkraft som går i gång automatiskt vid bortfall av ordinarie spänningsmatning.

### 3.1.3 Kritisk fyllnadstid och stigningshastighet

Den kritiska fyllnadstiden beskriver sambandet mellan magasinets stigningshastighet, som beskriver hastigheten med vilken vattenytan i magasinet stiger, och dammens utformning (som bl.a. definierar en för dammanläggningen skadlig vattennivå). Den beskriver därmed den tid det tar för magasinets vattennivå att gå från olika driftfall till en för dammen skadlig nivå då avbördning ej är möjligt. Detta innebär även att det är denna tid som driftpersonal oftast måste förhålla sig till för att åtgärda avbördningen. Denna parameter kan därför summeras som en viktig dammspecifik egenskap och det är viktigt att den tas i beaktande vid utformning av dammens övriga system.

RIDAS 2019 uttrycker sig följande om stigtider och risker:

*”I dammar med låg stigningshastighet och låg dammsäkerhetsklass är risken lägre än i anläggningar med hög stigningshastighet och hög dammsäkerhetsklass.”*

En kort kritisk fyllnadstid i kombination med hög dammsäkerhetsklass ställer således tre viktiga krav på reservkraften.

- Hög tillförlitlighet då tiden för att åtgärda eventuella problem är liten.
- Redundans för att öka avbördningens tillförlitlighet. Exempelvis genom två separata reservkraftsystem för att säkra en automatiserad och snabb avbördning.
- Automatiserad reservkraft som går i gång automatiskt vid bortfall av ordinarie spänningsmatning.

### 3.1.4 Inställelsetid

Inställelsetid är den tid det längst får ta utkallad personal att inställa sig och vara beredd att vidta åtgärder på en dammanläggning efter att vederbörande blivit utkallad av driftcentralfunktionen [1]. Inställelsetiden står i korrelation till dammens kritiska fyllnadstid och det är differensen dem emellan som utgör den tid på plats som driftpersonal har på sig att åtgärda eventuella fel med avbördningen. En låg differens ställer således högre krav på främst:

- Hög tillförlitlighet då tiden för att åtgärda eventuella problem är liten.
- Redundans för att öka avbördningens tillförlitlighet.
- Automatiserad reservkraft som startar automatiskt vid bortfall av ordinarie spänningsmatning.

### 3.1.5 Anläggningens tillgänglighet

Att analysera anläggningens fysiska tillgänglighet (förmåga för driftpersonal att nå viktiga delar av anläggningen), speciellt under höga flöden eller andra kritiska situation, är en avgörande del för en säker avbördning. Det finns många anledningar till varför det kan vara viktigt att nå en anläggning. Exempelvis för manuell styrning, nödmanövrering eller för att transportera bränsle till ett dieselaggregat för att säkra avbördningsförmågan under längre perioder.

En anläggning som riskerar att inte vara tillgänglig för driftpersonal ställer därför högre krav gällande:

- Hög tillförlitlighet då möjligheten att åtgärda ett eventuellt problem är lägre.
- Redundans för att öka avbördningens tillförlitlighet.
- Automatiserad reservkraft som startar automatiskt vid bortfall av ordinarie spänningsmatning då manuell styrning eventuellt inte är möjligt.
- Kapacitet. Om anläggningen inte är nåbar är det viktigt med en dimensionerad kapacitet som under tillräckligt lång tid kan säkra avbördningsförmågan. Exempelvis kan ett dieselaggregat behöva en större tank om möjligheten att fylla på är försämrad.

Det finns även en korrelation mellan bortfall av ordinarie matning och tillgänglighet. Inte sällan kan ordinarie matning till utskovsluckor försvinna vid stormar, exempelvis att ett fallande träd kapar en luftburen ledning. Samma storm kan också orsaka att tillgängligheten försvinner på liknande sätt. I dessa fall blir en automatiserad reservkraft en viktig del för att säkra avbördningen. Detta bör tas i beaktande under utvärderingen av risker kopplade till anläggningens tillgänglighet.

### 3.1.6 Klimat och väderförhållanden

Beroende på var i Sverige en anläggning ligger skiljer sig klimat och väderförhållanden. Detta påverkar förutsättningarna. RIDAS 2019 skriver följande om elsystem och väderförhållanden:

*”Utrustning/system är anpassade för användning under de förhållanden som råder där den finns installerad. Förhållandena påverkas av installationen (kapsling, montage), av anslutningar från annan utrustning och av den omgivande miljön.”*

Vidare uttrycks följande i RIDAS 2019 gällande den miljö där utrustningen är placerad:

*”För att skapa en bra miljö för den utrustning som ingår i en avbördningsfunktion samt för de som manövrerar och underhåller utrustningen måste påverkan från fukt, snö/is, temperaturvariationer, föroreningar etcetera beaktas. Bäst uppnås detta genom att placera den vitala utrustningen, exempelvis spelmaskinerier och elutrustning, i någon form av isolerat och uppvärmt utrymme. Även faktorer som belysning/nödbelysning beaktas.”*

Detta innebär att reservkraftens funktion att säkra anläggningens avbördningsförmåga kan påverkas av klimatet. Ett behov som reservkraften ska tillgodose kan följaktligen vara exempelvis isfrihållning samt fals- och tröskelvärm. Risker kan annars uppstå där avbördningsfunktionen försämras eller helt försvinner vid längre avbrott där reservkraften inte är kopplad eller dimensionerad för att motverka fastfrysning. Mer om hur avbördningsfunktionen påverkas av klimatet går att läsa i Energiforsks rapport *”Avbördningsanordningar i kallt klimat – Vinterspill och isfrihållningssystem”* [5].

En anläggning där utskovsluckor riskerar att frysa fast under längre nätabrott ställer högre krav på reservkraften gällande:

- Reservkraftens laster. Med kallt klimat är det viktigt att fastfrysning av utskovslucka undviks genom att reservkraften är kopplad till aktuell värmelast.
- Kapacitet. I anläggningar där reservkraften är kopplad till värmelaster, för att undvika fastfrysning av utskovslucka, är det viktigt att reservkraften är dimensionerad för detta.

### 3.1.7 Dammtyp

Olika dammtyper har olika egenskaper. Detta påverkar i sin tur valet av reservkraft. Exempelvis finns det betongdammar som är dimensionerade för att klara viss överdämning, samtidigt som det finns fyllningsdammar där överdämning kan leda till dammhaveri. Utformningen och uppbyggnaden påverkar bland annat det som kan betraktas som en skadlig vattennivå i dammen, se avsnitt 3.1.3. Mer om olika typer av dammar och deras uppbyggnad står att läsa om i *”Dammar och dammteknik – en introduktion”* [6].

## 3.2 RESERVKRAFTENS LASTER I ANLÄGGNINGEN

Reservkraftens funktion och elektriska laster kan se olika ut i anläggningen. Reservkraften kan vara gemensam för kraftstation och utskovsluckor eller specifik till utskovsluckorna. Förutom kraftmatning för manövrering av utskovsluckorna finns andra viktiga funktioner, exempelvis värme och belysning.

Generellt sett är ett enkelt system med begränsade laster och funktioner mer driftsäkert. I RIDAS 2019 står det att system med begränsad utbredning höjer driftsäkerheten, se avsnitt 2.2.1.

Det är därför viktigt att betänka vilka laster och funktioner som reservkraften bör vara kopplad mot samt att vid behov begränsa dessa. Ska reservkraften tillgodose fler funktioner och större laster ställs högre krav på dess kapacitet.

Vid val och dimensionering av reservkraft är det viktigt att analysera de elektriska laster som reservkraften kopplas mot. Exempel på laster som reservkraften kan kopplas till är manöversystemet, styrsystem, isfrihållning och belysning. Både effektbehov och kapacitetsbehov kan komma att påverka valet. I RIDAS 2019 står det om reservkraftssystemets funktionskrav gällande laster och dimensionering av reservkraftanläggningen, se avsnitt 2.2.4.



Lasternas storlek och karakteristik kan fås fram genom en lastberäkning som sedan kan ligga till grund vid val och dimensionering av reservkraft.

### 3.3 DRIFTPERSONAL OCH ERFARENHET

En viktig del i ett väl fungerande reservkraftsystem är driftpersonal som har god kunskap om systemet och hur det fungerar. Idag är många reservkraftsystem automatiserade och kräver sällan handpåläggning för att ta vid när ordinarie spänningsmatning försvinner. Vid situationer där felfunktionalitet framträder i systemet är en ingående förståelse av systemets uppbyggnad och funktioner fundamentalt viktigt för att kunna felsöka och åtgärda fel. Detta ställer höga krav på både driftpersonal såväl som funktionsbeskrivningar och instruktioner gällande aktuella system. Att driftpersonal har en god kunskap om aktuell reservkraft är kritiskt för hela anläggningens säkerhet. Det är även viktigt att denna kunskap finns i hela personalstyrkan, inte koncentrerad till några få, för att skapa så bra förutsättningar som möjligt. Systemets enkelhet bör även det iakttas vid val av reservkraftsystem.

Vid val av reservkraftsystem i nybyggnation eller ombyggnation kan det därför vara fördelaktigt att undersöka aktuell driftpersonals erfarenheter och kunskaper av reservkraftsystem på andra dammanläggningar som drivs av samma personal. Här återfinns en möjlighet att ta del av den kunskap och de rutiner som redan finns på plats. Förståelse för reservkraftsystemet kan antas vara bättre om driftpersonal redan har erfarenhet. Det finns även fördelar när det kommer till reservdelar etc, om närliggande anläggningar använder sig av samma system.

### 3.4 NÖDMANÖVRERINGSSYSTEM

Nödmanövreringssystemet kan ses som en sista utväg att manövrera utskovsluckor. Syftet med nödmanövreringssystemet är att vid behov ersätta utebliven funktion i ordinarie manövrerings- och reservmanövreringssystemet. Systemet kan exempelvis bestå av handpumpning eller ombyggda roterande maskiner, exempelvis jordfräs.

Om ett nödmanövreringssystem finns eller planeras kan detta påverka valet av reservkraft. Är möjligheterna goda för att säkert operera ett nödmanövreringssystem minskar känsligheten gällande eventuell automatik och tillgänglighet av reservkraft. Detta ska sättas i relation till den kritiska fyllnadstiden samt inställelsetiden och anläggningens tillgänglighet. Ett nödmanövreringssystem som riskerar att antingen inte vara nåbart eller inte hinna manövreras i tid kan inte ses som en ersättare av ordinarie manöver- och reservkraftsystem. Om nödmanövreringssystemet däremot är tillgängligt och tiden för manövrering är god kan detta påverka kraven på reservkraften. Det bör dock tilläggas att reservkraften oftast har andra viktiga funktioner än manövrering av utskovslucka.

## 4 Utvärdering av reservkraft baserat på anläggningsförutsättningar och kravbild

Anläggningsförutsättningar leder till anläggningsspecifika krav på reservkraften, se kapitel 3. För att utvärdera reservkraftens förmåga att uppfylla dessa krav värderas de mot reservkraftens egenskaper från avsnitt 2.3. Figur 6 visar arbetsmetodiken.



Figur 6. Arbetsmetodik för val av reservkraft

Som stöd för utvärdering och val av reservkraftssystem har en tabell upprättats. I tabellen markeras de tekniska lösningar som bäst uppfyller krav med ett +. De tekniska lösningar som ej anses uppfylla ett krav i samma utsträckning markeras med ett -. Bedömningen utgår ifrån hur de olika systemen förhåller sig till varandra och en tom ruta signalerar att ingen tydlig skillnad finns alternativt att uppgifter saknas. Rödmarkerade krav är de som bedömts som viktigast från kapitel 3.

<i>Krav</i>	<i>Batterier med likströmsmotor</i>	<i>Dieselaggregat</i>	<i>UMD</i>	<i>Kombination</i>
<i>Tillförlitlighet</i>	+	-		+
<i>Kapacitet</i>	-	+	-	+
<i>Automatisering</i>	+	+	+	+
<i>Redundans</i>				+
<i>Livslängd</i>	-	+	-	
<i>Leveranstid</i>	-			
<i>Behov av underhåll och tillsyn</i>	-	+		
<i>Enkel uppbyggnad</i>	+	+	-	
<i>Kostnad</i>		+		-

Figur 7 Utvärdering av anläggningsspecifika krav och teknisk lösning avseende reservkraft

## 5 Erfarenhetsinsamling

Intervjuer har genomförts med personer som har god erfarenheter gällande reservkraft till utskovsluckor. Urvalet av personer för intervjun har skett efter typ av reservkraft och dammsäkerhetsklass på aktuell anläggning. Fokus under intervjuerna har varit generella erfarenheter av reservkraften samt specifika erfarenheter och resonemang gällande förutsättningar, händelser etc. Under samtliga samtal lyftes samma frågor. Intervjufrågorna i sin helhet presenteras i bilaga 1. Erfarenhetsinsamlingen är genomförd under fyra intervjutillfällen och baseras på fem personers erfarenheter av totalt 13 anläggningar. De som deltagit i intervjuerna har haft olika befattningar, från drift- och underhållstekniker till dammtekniskt sakkunnig. Erfarenheterna är hämtade från anläggningar med geografisk variation samt från olika företag. Anläggningarnas dammsäkerhetsklass varierar från D till A.

I detta underlag fanns inget tydligt samband mellan dammsäkerhetsklass och reservkraft. Exempelvis återfanns en D-anläggning med reservkraft i form av ett dieselaggregat och ett batteri samtidigt som vissa B-anläggningar saknade reservkraft helt (Installation av ett dieselaggregatsystem var däremot planerat). Detta behöver inte i sig betyda att B-anläggningen har brister eller att D-anläggningen har en överdimensionerad reservkraft. Det belyser däremot att anläggningar skiljer sig åt och att kravställningen bestäms individuellt för vardera dammanläggning. I detta fall var D-anläggningen en strömkraftverk där vattnet hela tiden regleras utan magasinering, varvid behovet av avbördning ökar. Ytterligare ett exempel var två B-anläggningar skötta av samma drifttekniker och bolag. I detta fall hade de båda ett dieselaggregat men det ena även ett UMD-system som tillkommit efter att ett åtgärdsbehov identifierats i dammsäkerhetsutvärderingen. Anledningen till skillnaden var de olika egenskaperna i dammanläggningen. UMD:n installerades på grund av att anläggningen var en fyllnadsdamm med korta stigtider medan den andra dammen var en betongdamm som tål överströmning.

Trots att underlaget från erfarenhetsinsamling är liten återspeglades tidigare presenterad statistik gällande typ av reservkraft i svenska dammanläggningar, se avsnitt 2.3. Alla anläggningar där reservkraft fanns hade ett dieselaggregat och i många av dessa fanns det dessutom ett batteri. I en av anläggningarna återfanns ett UMD-system. Däremot skiljde det sig åt där både dieselaggregatet och batteriet ibland var stationsgemensam och ibland enbart för utskovsluckor. Utifrån detta underlag var konsensus att dieselaggregat fungerar tillfredsställande och detsamma gällande batterier som reservkraft. I anläggningar med dieselaggregat eller batteri genomfördes regelbundna tester av automatik, drift och kapacitetstest av batteri.

I anläggningen med UMD-system var drifttekniker på plats nöjd med systemet. Fördelar som framhölls var att systemet fungerat felfritt, är skonsam för mekanisk drivning av lucka och att UMD-systemets tillgänglighet automatiskt kontrolleras då den är aktiv i ordinarie kraftmatning. Det som däremot framhölls som en

nackdel var att UMD:n är relativt komplex. När den var nyinstallerad uppkom problem på grund av bristfälliga instruktioner. Trots att den sedan dess fungerat felfritt upplevs det att om något går sönder så har personal på plats ej erfarenhet och kunskaper för att laga den. Denna problematik är löst genom att man kan kringgå UMD:n och därmed undvika eventuella fel.

Under intervjuerna med driftpersonal framkom vikten av att driftpersonal har en god kunskap för reservkraftsystemet för att kunna felsöka och åtgärda fel, vilket diskuterats i avsnitt 3.3. Som tidigare nämnts uppkom problem med UMD:n på grund av bristfälliga instruktioner. Det fanns även exempel på dieslaggregat där fel typ av bränsle använts vilket till slut resulterat i att dieseln inte startat. Det framkom även uppgifter om att driftpersonal alltmer sällan är ute i anläggningar och därmed tappar viktig erfarenhet och kunskap om de system som de ska hantera. Oavsett vilken reservkraft som används så är det alltid viktigt att det finns bra funktionsbeskrivningar över systemet och att de som arbetar på plats har tillräckliga kunskaper för att ta hand om anläggningen, speciellt vid uppkomst av fel i systemet.

## 6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras innehållet i kapitel 2–5 i förhållande till projektets syfte och mål som är beskrivna i avsnitt 1.2.

### 6.1 DEFINITION

När man talar om reservkraftens funktion att säkra avbördning vid bortfall av ordinarie matning är det fördelaktigt med ett tydligt definierat begrepp. Reservkraftens allmänna funktion står beskriven i RIDAS, avsnitt 2.1 [1]. Sammanfattningsvis står där beskrivet att reservkraftens funktion är att säkra kraftförsörjningen till en anläggnings vitala funktion vid bortfall av ordinarie matning. Vidare står det även att reservkraften kan dimensioneras olika beroende på vilka laster som reservkraften ska anslutas till. Eftersom reservkraftssystemet kan utformas på många olika sätt, och bör individualiseras för att passa anläggningen, är det fördelaktigt att definitionen av reservkraft i RIDAS beskriver den överliggande funktionen och inte specificeras mer ingående på exempelvis laster.

Reservkraft till manövreringssystemet blir istället specificerat i det "*elektriska reservmanövreringssystemet*" där det utgör en del av begreppet. I avsnitt 2.1 beskrivs det elektriska reservmanövreringssystemets funktion som att säkerställa att det finns elkraft som möjliggör manöver av utskov vid bortfall av ordinarie manövreringssystemets elkraft.

Vi har således ett begrepp som beskriver reservkraftens allmänna funktion samt ett begrepp som specificerar dess funktion gentemot manöver av utskovslucka. Eftersom reservkraften kan ha många andra funktioner än manövrering (exempelvis vara gemensam med kraftstation) är det bra med ett specifikt begrepp för just denna funktion. Här ser vi en möjlighet att i begreppet "*elektriska reservmanövreringssystemet*" inkludera alla laster och funktioner som säkerställer anläggningens avbördningsförmåga. Ett begrepp som innefattar reservkraftens totala funktion kopplat till avbördning kan underlätta en eventuell kravställning och synliggöra alla viktiga laster som är kopplade till manövrering av utskovsluckorna.

### 6.2 FÖRUTSÄTTNINGAR VID VAL AV RESERVKRAFTSYSTEM

Det finns många parametrar som påverkar behovet och utformningen av reservkraften, se kapitel 3. Eftersom parametrarna också påverkar varandra och inte kan tolkas enskilt blir det tydligt att behovet och utformningen av reservkraften bör göras efter en överblick av hela anläggningen och dess förutsättningar. Det är viktigt att dessa belyses och analyseras för att ta fram en anläggningsspecifik kravställning på reservkraften, mer om detta i avsnitt 6.3.

Från förutsättningar, se kapitel 3, har anläggningsspecifika krav specificerats. Från dessa krav kan vi konstatera egenskaper i reservkraften som förbättrar anläggningens förmåga att stå emot dessa. Det är denna koppling, mellan dammspecifika risker och reservkraftens olika egenskaper att stå emot dessa, som i

slutändan påverkar valet av reservkraft. De egenskaper som oftast återkommer är tillförlitlighet och automatik.

Både kravställningar och erfarenhetsinsamlingen belyser vikten av att driftpersonal har en god förståelse för anläggningens reservkraftssystem. Detta är grunden i en driftsäker dammanläggning med ett väl fungerande reservkraftssystem. Det blir därför viktigt att driftpersonal och deras kunskap beaktas i säkerhetsarbetet samt att de regelbundet arbetar och vistas i anläggningarna för att upprätthålla kunskapen.

### 6.3 KRAV

Reservkraften har en viktig funktion i dammanläggningens avbördningsfunktion. Som vi kan se i avsnitt 2.2.1 så krävs en högre grad av säkerhet desto allvarigare konsekvenserna kan bli av ett dammhaveri. Tillsammans med övergripande krav på elektriska system från avsnitt 2.2 leder till att det främst är dammsäkerhetsklass och tidsfaktor (kritisk fyllnadstid) som påverkar utformningen av reservkraften.

Det finns ingen tydlig kravställning på när reservkraft ska förekomma eller hur systemet utformas. I stället tas kravställningen fram under dammsäkerhetsarbetet för vardera anläggning. Under säkerhetsarbetet är det viktigt att anläggningen och dess säkerhet analyseras utifrån ett helhetsperspektiv. Detta kan i sin tur belysa risker och behov som leder fram till en anläggningsspecifik kravställning för reservkraften. Detta är i linje med vad som konstaterats i kapitel 3, att varje anläggning är unik och bör hanteras därefter när det kommer till systemuppbyggnad.

Att kravbilden är anläggningsspecifik är både bra och nödvändigt, men ställer i sin tur högre krav på det egna dammsäkerhetsarbetet. En viktig del av dammsäkerhetsarbetet, och framtagning av kravställning, är att analysera dammens förutsättning och tolka dessa efter vilka risker det medför.

### 6.4 TEKNISKA LÖSNINGAR FÖR RESERVKRAFT

Olika tekniska lösningar för reservkraft har olika egenskaper vilket presenterades i avsnitt 2.3. I detta avsnitt utvärderas reservkraftens egenskaper med anläggningsspecifika förutsättningar.

#### 6.4.1 Batterier med likströmsmotor

Batterier har en begränsad kapacitet varvid lämplighet bör utredas extra noga för de anläggningar där avbrott i ordinarie matning riskerar att pågå under en längre tid. Detta blir extra viktigt vid anläggningar där ett nödmanöversystem inte finns eller riskerar att vara otillgängligt. I dessa fall riskerar dammens avbördning att vara beroende av batteriets kapacitet.

Batterier har en hög tillförlitlighet och även om livslängden är begränsad så är funktionen enkel att övervaka. Detta innebär att batterier som reservkraft lämpar sig extra bra i anläggningar där tillförlitlighet är viktigt. Från kapitel 3 ser vi att denna egenskap är efterfrågad när differensen mellan kritisk fyllnadstid och

inställelsetiden är låg. Om anläggningen dessutom riskerar att vara otillgänglig är det extra viktigt att tillförlitligheten hos reservkraften är hög.

#### 6.4.2 Dieselaggregat

Dieselaggregat har i regel en lägre tillförlitlighet, se avsnitt 2.3.2. Under kapitel 3 ser vi att tillförlitligheten är som viktigast i anläggningar med kort kritisk fyllnadstid samt där anläggningen riskerar att vara otillgänglig under ett avbrott i ordinarie matning. Detta innebär att dieselaggregat lämpar sig sämre i anläggningar med kort kritisk fyllnadstid samt att anläggningens tillgänglighet bör tas i beaktande.

Förutom lång livslängd och låga underhållskostnader är dieselaggregatets stora fördelar dess kapacitet. En hög kapacitet kan säkra en anläggnings avbördning i samband med längre avbrott. Denna lösning passar därför bra där avbrottstider riskerar att vara långa, men förutsätter i vissa fall att anläggningen är tillgänglig för driftpersonal att fylla på med bränsle. Ytterligare en fördel är den utbredda erfarenheten som finns gällande dieselaggregat som reservkraft. God erfarenhet och bred kunskap om systemet bidrar till funktionssäkerheten.

#### 6.4.3 UMD

För UMD-system begränsas kapaciteten till batteriet. Detta innebär att ett UMD-system riskerar att fungera bristfälligt i en anläggning där avbrott i ordinarie matning kan pågå under en längre tid. Detta innebär att dammens avbördning riskerar att helt begränsas till batteriets kapacitet i de fall då ett nödmanöversystem inte finns eller riskerar att vara otillgängligt.

Med batteriet och växelströmsmotorns egenskaper har systemet goda förutsättningar för bra tillförlitlighet. Systemet lämpar sig därför väl i anläggningar där differensen mellan kritisk fyllnadstid och inställelsetiden är låg. På samma sätt är tillförlitligheten viktig i anläggningar som riskerar att vara otillgängliga vid avbrott.

Vidare kan vi konstatera att en UMD-lösning tillför ytterligare komponenter till elsystemet vilket kan försämra tillgängligheten. Med fler komponenter ökar risken för fel i systemet. Dessutom är UMD:n relativt ovanlig i svenska dammanläggningar och med många komponenter kan systemet anses relativt komplext. Som vi konstaterat i avsnitt 3.3 bör man iaktta reservkraftsystemets enkelhet för att driftpersonal på ett snabbt och säkert sätt ska kunna felsöka och åtgärda fel. Däremot kan denna problematik förebyggas, antingen genom goda kunskaper om UMD:n eller förbikoppling av UMD:n vid fel.

Från avsnitt 2.3.3 ser vi att UMD-system som reservkraft i dammanläggningar var ovanligt 2009. Detta medför att erfarenheterna är mindre än den för batterier och dieselaggregat. Det är därför viktigt att närmare undersöka anläggningar där UMD används för att utreda hur systemet fungerar i praktiken och om de förväntade egenskaperna även gäller praktiskt.

#### 6.4.4 Kombinerad reservkraft

Det är inte ovanligt att använda fler än ett reservkraftssystem i en dammanläggning. En vanligt förekommande variant av detta är en anläggning med både växelströmsluckor och en eller flera likströmsluckor. Dessa har i sin tur dieselaggregat respektive batteri som reservkraft. Denna uppbyggnad skapar en redundans i reservkraftsystemet. Det möjliggör även för att koppla dieselaggregatet mot likriktare vilket innebär att manövrering av likströmslucka inte längre begränsas av batteriets kapacitet.



## 7 Slutsats

Reservkraftens generella funktion är väl definierad i RIDAS 2019 som säkrande av kraftförsörjning vid bortfall eller fel i ordinarie kraftförsörjning. Däremot finns även begreppet det elektriska reservmanövreringssystemet som specificerar reservkraftens funktion till manövrering av utskovslucka. I detta begrepp anser vi att det finns en möjlighet att inkludera alla vitala funktioner som reservkraften ska ersätta för att säkra avbördning. Vitala funktioner för att säkra avbördningen utreds för respektive anläggning och kan exempelvis innefatta matning till falsvärme och isfrihållning i de fall fastfrysning är en risk. Detta kan i sin tur underlätta arbetet med kravställning då vi har ett begrepp som definierar reservkraften till utskovsluckor och dess manövreringsfunktion.

I kapitel 3 presenteras flertalet faktorer som påverkar en dammanläggnings egenskaper och därmed dess hotbild och risker. Det är tydligt att man haft detta i åtanke när man utformat hanteringen av kravställning för reservkraften. I stället för att ha tydliga och konkreta krav för alla anläggningar så utformas reservkraftens kravställningen under vardera dammanläggnings säkerhetsarbete, vanligtvis via en så kallad DSU. Metodiken är utformad för att ta i beaktande att varje anläggning är unik och att kravställningen ställs därefter. Det är under detta arbete som dammsäkerhetsklassen tas i beaktande, detta då konsekvensernas omfattning i händelse av ett dammhaveri styr kraven som ställs på dammsäkerheten. Att kraven på reservkraften baseras på anläggningen där den verkar är nödvändigt, men ställer i sin tur höga krav på dammägarens säkerhetsarbete.

Reservkraftsystemen som presenteras i denna rapport har olika egenskaper som skiljer dem åt. Det är därför möjligt att visa på anläggningar och situationer där reservkraften är bättre eller sämre lämpad. Generellt är reservkraftsystem baserade på batterier (UMD och batteri med likströmsmotor) bra lämpade i anläggningar där tillförlitlighet är viktigt. Tillförlitligheten är exempelvis en viktig egenskap om den kritiska fyllnadstiden är låg eller om anläggningen riskerar att inte vara tillgänglig för exempelvis nödmanövrering under ett avbrott. Vi kan däremot konstatera från avsnitt 2.3.3 att UMD-system som reservkraft var ovanliga i dammanläggningar 2009 och utgör mest troligt fortsatt en mindre del av totalen. Reservkraftsystem med ett dieselaggregat är bättre lämpade där kapaciteten är viktig, exempelvis där ett avbrott riskerar att vara under en längre period. En stor fördel med dieselaggregat är att det är vanligt i svenska dammanläggningar och erfarenheten om systemet är stort.

I anläggningar med hög dammsäkerhetsklass eller med förutsättningar där ingen enskild reservkraft lever upp till kravställningen kan exempelvis en kombination av dieselaggregat och batteri användas. I dessa fall kan ett övergripande avbördningssystem dra nytta av bådas fördelar samtidigt som dess inbördes nackdelar minskar i betydelse. Exempelvis kan batteriet matas av dieselaggregatet varvid dess kapacitet inte längre begränsas till dess lagring då ordinarie matning försvinner.

Vi kan även konstatera att inget reservkraftsystem är bättre än de som i slutändan testas, servas, körs och åtgärdas vid fel. Att driftpersonalen har goda kunskaper om anläggningens reservkraftsystem är grunden för att det dels ska fungera felfritt men även kunna åtgärdas när problem uppstår. Det blir därför viktigt att driftpersonal och deras kunskap inkluderas i säkerhetsarbetet samt att de regelbundet arbetar och vistas i anläggningarna för att hålla sig uppdaterade.

Egenskaper och statistik som vi presenterat i avsnitt 2.3 ska ge en övergripande bild över systemen, deras för- och nackdelar och stämma väl överens med verkligheten. Däremot sker teknikutveckling ständigt och information eller allmänt vedertagna kunskaper riskerar att vara utdaterade. Därför bör fördjupade studier ta avstamp i denna rapport och vidare utforska reservkraften med dagens teknik och dess egenskaper och förutsättningar i praktiken.

## 8 Källor

- [1] "RIDAS 2019 - Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet," Energiföretagen, 2020.
- [2] Svenska Kraftnät och Svensk Energi, "Vägledning för el- och teletekniskt utförande i stationsanläggningar i elnät," Svenska Kraftnät, 2008.
- [3] D. Hartford och G. Baecher, "Risk and uncertainty in Dam Safety," Thomas Telford Publishing, 2004.
- [4] S. Lagerholm, "Dammsäkerhet - avbördningssystemens funktionssäkerhet," ELFORSK, 2009.
- [5] P. Bennerstedt, C. Åberg och A. Halvarsson, "Avbördningsanordningar i kallt klimat - Vinterspill och isfrihållningssystem," Energiforsk, 2017.
- [6] Svenska kraftnät, Dammar och dammteknik - En introduktion, Svenska Kraftnät, 2019.

## Bilaga A: Intervjufrågor

### Allmänt om dammanläggningen

- Vilken dammsäkerhetsklass har den aktuella dammen?
- Vad har dammen för kritisk fyllnadstid?
- Vad är inställetiden för driftpersonal?
- Hur många utskovsluckor har dammen?
- Beskriv utskovsluckornas manövreringssystem, styrs de exempelvis av ett hydrauliskt lyftsystem eller mekaniskt?
- Finns ett nödmanövreringssystem? Vilket/vilka?
- Hur är tillgängligheten till dammens utskovsluckor under risksituationer, så som vid höga flöden?
- Har dammen överströmningsskydd (tidigare KAS)?
- Finns redundanta matningsvägar för kraftmatning?

### Reservkraft

- Beskriv utskovsluckornas reservkraft. UMD, dieselaggregat eller batteri (likströmslucka)?
- Vilka laster är reservkraften kopplad till (bara manövrering, eller andra laster)? Är reservkraften favoriserad mot vissa laster?
- I vilken utsträckning är reservkraften automatiserad?
- Vilken kapacitet har reservkraften, hur länge kan reservkraften ersätta nätet?  
Alt. Hur många gånger kan luckan manövreras med reservkraften?

### Resonemang/Erfarenhet

- Hur har er säkerhetsklass påverkat er utformning av reservkraftssystem?
- Varför valdes detta reservkraftssystem? Ställdes särskilda tekniska krav på reservkraftssystemet vid upphandling?
- Anser du att reservkraften är väl lämpad för anläggningen? Varför/varför inte?
- Vilka fördelar anser du att det aktuella reservkraftssystemet har?
- Vilka nackdelar anser du att det aktuella reservkraftssystemet har?
- Vad är dina erfarenheter av reservkraften?

Beskriv viktiga händelser kopplade till den aktuella reservkraften, exempelvis vid fel.



# RESERVKRAFT FÖR UTSKOVSLUCKOR – EN INTRODUKTION

Dammanläggningar är komplexa och det finns många parametrar att ta hänsyn till vid utformning av dammarnas reservkraftsystem. De två viktigaste parametrarna är dammens kritiska fyllnadstid och konsekvenser vid dammhaveri. Det är viktigt att se till dammanläggningens helhet när reservkraften utreds. Att kraven på reservkraften baseras på anläggningen där den verkar är nödvändigt, men det ställer också höga krav på dammägarens säkerhetsarbete. Det finns olika reservkraftsystem med vardera för- och nackdelar. I den här rapporten behandlas batterier, diesellaggregat och UMD-system.

I dammanläggningar med hög dammsäkerhetsklass eller utformning som kräver egenskaper som ett reservkraftsystem inte kan tillgodose kan en kombination av flera reservkraftsystem kombineras. På så sätt skapas redundans samtidigt som de olika reservkraftsystemen tillsammans kan väga upp för varandras svagheter och stärka deras goda egenskaper.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)