

Risikovurdering av utvalgte kritiske komponenter i vannkraftstasjoner

Generatortransformatorer, magnetiseringstransformatorer, bryteranlegg og kabelanlegg
Turbinrelaterte komponenter

Innholdsfortegnelse

1. Bakgrunn.....	2
2. Innledning.....	2
3. Innholdet i risikovurderingen	3
4. Kraftproduksjonseenheter som er viktige for nettdriften	4
5. Magasinkraftverk	4
5.1 <i>Magasinverk med ett magasin eller én vannvei</i>	<i>4</i>
1.1 <i>Magasinverk med to eller flere magasin og to eller flere vannveier.....</i>	<i>5</i>
1.2 <i>Elvekraftverk</i>	<i>6</i>
6. Beredskap og reserver for utvalgte kritiske komponenter i kraftstasjoner.....	6
6.1 <i>Produksjonstransformatorer</i>	<i>6</i>
6.2 <i>Kjølere</i>	<i>7</i>
6.3 <i>Magnetiseringstransformatorer</i>	<i>7</i>
6.4 <i>Stasjonsstrømforsyning.....</i>	<i>8</i>
6.5 <i>Kabler og gjennomføringer</i>	<i>8</i>
6.6 <i>Bryteranlegg.....</i>	<i>9</i>
6.7 <i>Måletransformatorer</i>	<i>9</i>
6.8 <i>Lokalkontrollanlegg.....</i>	<i>9</i>
6.9 <i>Generatorvikling og poler</i>	<i>10</i>
6.10 <i>Stengeorgan og ventiler.....</i>	<i>10</i>
6.11 <i>Løpehjul.....</i>	<i>10</i>
6.12 <i>Hydraulikkanlegg</i>	<i>10</i>
6.13 <i>Lensepumper.....</i>	<i>10</i>
7. Konklusjon	11
8. Sjekkliste.....	12
9. Oppsummering	13
10. Vedlegg Krav i lover, forskrifter og konsesjoner	14

10.1	Vassdragslovgivning.....	14
10.1.1	Vannressursloven	14
10.1.2	Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften).....	15
10.1.3	Forskrift om internkontroll etter vassdragslovgivningen (IK-vassdrag)	15
10.1.4	Lov om regulering og kraftutbygging i vassdrag (vassdragsreguleringsloven).....	15
10.1.5	Vassdragskonsesjoner	15
10.2	Energilovgivning.....	16
10.2.1	Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven)	16
10.2.2	Forskrift om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energilovforskriften).....	16
10.2.3	Forskrift om sikkerhet og beredskap i kraftforsyningen (kraftberedskapsforskriften).....	17
10.2.4	Energikonsesjoner.....	18
10.2.5	Beredskapsklassifisering.....	19

1. Bakgrunn

Risikovurderingen er utarbeidet i forbindelse med prosjektet anskaffelse av reservetransformatorer til kraftproduksjonsanlegg. Vurderingen er utarbeidet etter diskusjoner blant de virksomhetene som deltar i samarbeidet om anskaffelsen. Innholdet i risikovurderingen er utarbeidet av sivilingeniør Helge Ulsberg, rådgivning innen kraftforsyningsberedskap, på oppdrag fra REN AS. Risikovurderingen tar utgangspunkt i de krav som stilles til produksjonsvirksomhetene ut fra bestemmelser i lover, forskrifter og konsesjoner gitt i eller i medhold av vassdragslovgivningen eller energilovgivningen. Vurderingene er supplert med anbefalinger.

2. Innledning

Produksjon av elektrisk energi skjer i Norge i dag hovedsakelig i vannkraftverk (magasinverk og elvekraftverk), vindkraftverk og etter hvert med solceller. Denne vurderingen gjelder vannkraftverk i alle størrelser som mater inn i høyspentnettet (anlegg med spenning minst 1000 volt vekselstrøm/1500 volt likestrøm¹).

Elvekraftverk er avhengige av en energikilde som ikke er styrbar. Magasinverkene styrer energikilden (magasinet) innen visse konsesjonsgitte grenser. Tilførselen av vann er imidlertid ikke styrbar.

For å få energien ut på nettet slik at den kan nå forbrukeren, må den elektriske spenningen fra generatoren transformeres til det spenningsnivået nettet på stedet har. Stasjonens størrelse avgjør som regel hvilket nettnivå det mates inn i.

Det er flere komponenter i et vannkraftverk som produksjonen er helt avhengig av. I denne risikovurderingen vurderes generatortransformatoren som transformerer mellom produksjonsenheten og nettet, generatorbryteren, kablene mellom generatortransformatoren og nettet, magnetiseringstransformatoren, ventil, lokalkontrollanlegg, generatorvikling, løpehjul, hydraulikkanlegg, måletransformatorer og kjølere. Gamle vannkraftverk med flere turbiner kan ha en samleskinne med generatorspenning og én eller flere transformatorer som transformerer mellom samleskinnen og nettspenning.

¹ <https://lovdata.no/forskrift/1990-12-07-959/§3-1>

De store generatorene er avhengige av en magnetiseringstransformator for å utføre spenningsregulering og magnetisering av polene. Disse transformatorene tas med i vurderingen. Stasjonstransformatorer som transformerer mellom generatorspenning eller lokalt nett til intern strømforsyning i anlegget, tas også med.

Det er flere forhold som er av betydning for eieren av kraftverket. Internt er kanskje det viktigste økonomisk verdi av produksjonen og forsikringsavtaler. Visse eksterne forhold er av stor betydning. Disse kan være magasinrestriksjoner, manøverreglement, krav til reparasjonsberedskap avhengig av stasjonens beredskapsklasse og konsesjonskrav til drift. Felles for disse er at de er myndighetspålagte, og mangel på oppfyllelse av kravene kan føre til reaksjoner med hjemmel i energiloven eller vassdragslovgivningen. Slike reaksjoner kan være pålegg om retting, tvangsmulkt, overtredelsesgebyr eller politianmeldelse. De ulike reaksjonsformene omtales ikke nærmere.

Noen vilkår oppfylles når anlegget er i drift. Andre vilkår kan lede til at anlegget i perioder må stanse. De sistnevnte vurderes ikke videre her.

Et annet forhold er driftssituasjonen i nettet der kraftstasjonen er plassert. I større feiltilfeller i nettet kan det være behov for produksjons- og spenningsstøtte fra en lokal kraftstasjon. Dette kan være spesielt viktig der stasjonen mater inn i det regionale distribusjonsnettet. Flere slike kraftstasjoner som var i klasse 1, ble avklassifisert ved endring av kraftberedskapsforskriften i 2019. Enkelte av disse blir nå reklassifisert på grunn av sin betydning for nettet, og ikke på grunn av stasjonens størrelse eller med tanke på konsekvenser i vannveiene. Flere nettvirksomheter har pekt på et langt større antall kraftstasjoner enn de som reklassifiseres, for å ha mulighet for separatdrift.

Når kraftstasjonen er klassifisert, gjelder kraftberedskapsforskriftens krav til blant annet risikovurderinger og beredskapsplan for anlegget, sikringstiltak, informasjonssikkerhet og reparasjonsberedskap. **Risikovurdering for kraftstasjoner som pekes ut av nettvirksomheter som kritiske for forsyningsikkerheten når det er omfattende feil i nettet, tas med i denne vurderingen.**

Kostnader for pålagte beredskapstiltak skal dekkes av den som blir pålagt tiltaket. Se energiloven § 9-2 fjerde ledd². Beredskapstiltak som er nødvendige for en annen enn den som utfører tiltaket, må bekostes etter avtale mellom partene. Tiltak som gir sikrere drift for kraftstasjonen og sikrere drift for nettet, har en verdi for begge parter. Hvordan kostnadsfordelingen bør være, kan ikke fastslås generelt utover at kostnadene bør deles. For å unngå at netteiere må investere i kraftproduksjonskomponenter, kan kostnadsdelingen gjøres ved at nettvirksomheten kjøper beredskapstjenester av kraftverkseieren.

3. Innholdet i risikovurderingen

Kraftverkseiere er pålagt å gjøre risikovurderinger ut fra krav i flere lovbestemmelser. På bakgrunn av risikovurderingen skal det gjøres avvergende tiltak og etableres beredskap for den risiko som ikke kan avverges. De avvergende tiltakene tas under planlegging, prosjektering, konstruksjon, bygging, drift og vedlikehold. Uavhengig av dette vil feil oppstå,

² <https://lovdata.no/lov/1990-06-29-50/§9-2>

selv om de kan bli mindre omfattende og sjeldnere. Hvilke komponenter som er avgjørende for driften, vil som regel fremgå av stasjonens enlinjeskjema hva høyspenningskomponentene angår. I tillegg kan det oppstå feil og svikt i vannveier og turbinrør, kontrollanlegg og bygningskonstruksjoner.

Hvilke forebyggende tiltak som må etableres, må den enkelte kraftverkseier beslutte på bakgrunn av egne risikovurderinger. I dette dokumentet er et utvalg av tiltak omtalt. I den enkelte kraftstasjon kan det være andre forhold som gir stor risiko.

I dette dokumentet brukes *bør* om det som kraftverkseieren bør gjøre. Dette er enten *bør anskaffe* eller *bør vurdere*.

4. Kraftproduksjonsenheter som er viktige for nettdriften

Vurderingene her gjelder alle typer produksjonsanlegg som har mulighet for øydrift og kan starte på svart nett. Feiltilfellet for produksjonsanlegget som må risikovurderes, er at anlegget ikke kan levere støtte til nettet når det er behov for det. Det vil si svikt i produksjonstransformatoren og de andre elektriske komponentene mellom generatoren og nettet.

Når produksjonsanlegget har én transformator (ett aggregat) mot nettet, fører transformatorfeil til avbrudd i leveringen. Dette gjelder også ved flere aggregater mot en samleskinne med én transformator mot nettet.

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator og andre kritiske komponenter bør anskaffes

Når anlegget har to transformatorer (to aggregater) mot nettet, blir ytelsen anlegget kan levere til nettet redusert, men ikke borte. Produksjonsanlegget kan fremdeles levere støtte til nettet, og gjennomføre start på svart nett og øydrift, men med redusert sikkerhet om en ny feil skulle oppstå. Sannsynligheten for feil nummer to øker når nettdriften er alvorlig påkjent med stadige utfall.

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator og andre kritiske komponenter bør anskaffes

Når anlegget har tre eller flere transformatorer (og aggregater) mot nettet, og det kan levere støtte til nettet, og gjennomføre start på svart nett og øydrift ved feil på én transformator, bør dette være tilstrekkelig.

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator og andre kritiske komponenter bør vurderes

5. Magasinkraftverk

5.1 Magasinverk med ett magasin eller én vannvei

Ett aggregat

I dette tilfellet vil transformatorhavari føre til full stans inntil transformatoren er reparert eller erstattet.

Problemer som kan oppstå:

- Driften opphører
- Vannreguleringen blir problematisk
- Vanntap
- Inntektsbortfall
- Brudd på konsesjonsforpliktelse
- Forskriftsbrudd
- Kritisk i forhold til nettet

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator bør anskaffes
Andre reservekomponenter som er kritiske for driften, bør anskaffes

To aggregater

Med to aggregater i samme vannvei eller for samme inntaksmagasin, vil driften reduseres, men ikke stanse helt opp. Konsekvensene blir tilsvarende mindre, og reservetransformator ikke like påkrevet ut fra driftsmessige forhold.

Problemer som kan oppstå:

- De samme som med ett aggregat, men ikke i like stor grad.

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator bør anskaffes
- Andre reservekomponenter som er kritiske for driften, bør anskaffes

Tre eller flere aggregater

Med tre eller flere aggregater i den samme vannveien bør svikt i ett aggregat ikke by på de samme problemene som er skissert over.

I enkelte gamle stasjoner med mange aggregater, kan de ha en samleskinne med generatorspenning og felles transformering til nettnivå. I så fall oppstår de samme problemene som for en stasjon med ett aggregat.

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator bør vurderes
- Andre reservekomponenter som er kritiske for driften, bør vurderes

1.1 Magasinverk med to eller flere magasin og to eller flere vannveier

Ett aggregat

Ett aggregat i hver vannvei eller for hvert inntaksmagasin gjør at forholdene blir som ved magasinverk med ett magasin eller én vannvei.

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator bør anskaffes
- Andre reservekomponenter som er kritiske for driften, bør anskaffes

To eller flere aggregater i vannveiene

Forholdet blir de samme som for 5.1 *To aggregater*.

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator bør vurderes
- Andre reservekomponenter som er kritiske for driften, bør vurderes

1.2 Elvekraftverk

Ett aggregat

I et elvekraftverk er det en inntaksdam, men ikke et magasin. Vannet i elven må håndteres, enten av aggregatet eller slippes forbi. Ved transformatorhavari eller feil må aggregatet stoppes, og det blir produksjonstap

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator bør anskaffes
- Andre reservekomponenter som er kritiske for driften, bør anskaffes

To eller flere aggregater

Med flere aggregater er ikke situasjonen like alvorlig. Avhengig av vannføringen, kan produksjonstapet begrenses. Hvis det bare er to aggregater, er situasjonen mer alvorlig enn hvis det er flere.

Avbøtende tiltak med to aggregater:

- Reservetransformator bør anskaffes
- Andre reservekomponenter som er kritiske for driften, bør anskaffes

Avbøtende tiltak med tre eller flere aggregater:

- Reservetransformator bør vurderes
- Andre reservekomponenter som er kritiske for driften, bør vurderes

6. Beredskap og reserver for utvalgte kritiske komponenter i kraftstasjoner

6.1 Produksjonstransformatorer

Store krafttransformatorer har lang leveringstid; for tiden om lag to år. Hitachi Energy anslo på RENs Regionalnettdager i desember 2022 at verdensbehovet for stål vil øke med en tredjedel til 2050, elproduksjon vil øke fire ganger og overføringskapasitet tre ganger.

Leveringstiden for transformatorer har økt fra 2020 til 2022:

fordelingstransformatorer fra 6 uker til 1,5 år,

<25 MVA fra 3 måneder til 8-14 måneder,

10-63 MVA fra 10 måneder til 16-18 måneder,

150-200 MVA fra 12 til 24 måneder,

>200 MVA fra 1,5 år til 2,5 år,

og tørre fra 10 uker til 25 uker

Russland er stor eksportør av jern og stål. Dette er metaller som er avgjørende for transformator- og generatorproduksjon, og for reparasjon. Med de pågående og økende sanksjoner av Russland, reduseres tilgangen på jern og stål. Ukraina var en stor produsent av elektromateriell. Nå er situasjonen den at Ukraina er i desperat behov av materiell for å gjenopprette strømforsyningen. Prisene og leveringstidene øker og forventes å fortsette å øke så lenge krigen i Ukraina pågår.

Reparasjonstiden kan være ned mot tre måneder avhengig av om det er inngått en beredskapsavtale med et stort transformatorverksted. I Norge er det bare ett slikt. Transport og nedrigging kan ta en uke. Det vil si at hvis reparasjonstiden er tre måneder må det regnes med inntil fire måneders produksjonsstans. Tidspunkt for en feil er uforutsigbart. Det samme gjelder verdien av tapt produksjon. Hvis transformatoren er på 50 MVA og spotprisen 50 øre/kWh og det tar 10-18 måneder å vente på en ny, blir inntektsbortfallet 180-320 mill kr. Inntektsbortfallet ved bruk av reservetransformator og tre ukers avbrudd blir 12,6 mill kr. Med dagens prisutsikter vil innkjøp av en reservetransformator koste mer enn 15 mill kr.

Til forskjell fra de andre store komponentene i kraftstasjonen eller produksjonsanlegget, er det mulig å ha transformatorer i reserve til en akseptabel kostnad. Én reservetransformatorer kan dekke flere ulike størrelser og konfigurasjoner slik at den kan fungere som reserve for flere anlegg og eiere. Fordi den skal stå i kortvarig drift, kan den belastes hardere enn hva man ellers ville gjort. Tilgang til en reserve bringer avbruddstiden ned til to-tre uker i stedet for tre til fire måneder, eller i verste fall to år.

Avbøtende tiltak:

- Reservetransformator bør vurderes. Ved store driftsmessige problemer som går ut over konsesjonsvilkår, gir nettpoblemer eller gir langvarig stans, bør reservetransformator anskaffes.

Med forventet økning i leveringstider og priser, er det ingen grunn til å vente med anskaffelse av reserve.

6.2 Kjølere

Generatortransformatorer er som regel vannkjølte. Kjølevannet avsetter etter hvert slam og avleiringer inne i kjøleren. Dette reduserer vanngjennomstrømningen og gjør kjølingen mindre effektiv. Veggene i kjøleren er utsatt for korrosjon, og det kan oppstå lekkasje. Det skal være høyere trykk i oljen enn i vannet, slik at vann ikke kan trenge inn i transformatoren ved lekkasje. Dobbeltvegget kjøler kan gi lengre levetid og redusere lekkasjefaren. Det kan være hensiktsmessig å ha kjølere i reserve.

Ved luftkjøling er det flere vifter, og det er sjelden kritisk om én vifte stanser.

Avbøtende tiltak:

- Det bør vurderes å ha en kjøler i reserve når det er vannkjøling.

6.3 Magnetiseringstransformatorer

Vurderingen gjelder for alle kraftstasjoner. De eldste vannkraftverkene har magnetiseringsmaskin og av og til et eget husaggregat som kan brukes til magnetisering og stasjonsstrømforsyning, men den overveiende del av nyere kraftverk har statisk

magnetisering og en egen magnetiseringstransformator. Denne transformatoren er helt avgjørende for at generatoren kan være i drift, og feil på denne har samme konsekvens som feil i generatortransformatoren. Magnetiseringstransformatorene er skreddersøm for hver enkelt generator. Hverken ytelse, omsetning, merkespenning eller fysiske mål er standardisert i særlig grad. I de mer moderne kraftstasjonene er de oftest tørrisolert. Felles for magnetiseringstransformatorene er at de er små, og de er svært rimelige sett i forhold til et eventuelt produksjonstap.

Problemene som kan oppstå, er de samme som det som er anført for de ulike anleggstypene. Men det er bare ett avbøtende tiltak som foreslås.

Avbøtende tiltak:

- Reserve magnetiseringstransformatorer bør anskaffes for alle aktuelle typer

Ved å gjennomgå bestanden av magnetiseringstransformatorer i norske anlegg og lage en oversikt, vil en se om det er muligheter for et felles reservelager der et antall transformatorer kan dekke flere kraftstasjoner.

6.4 Stasjonsstrømforsyning

Strømforsyning i stasjonen er nødvendig for både start, stopp og drift av aggregatene. Stasjonsstrømforsyningen kommer som regel fra en eller flere interne stasjonstransformatorer. Dette er vanlige fordelingstransformatorer som kan produseres i Norge, og det er flere leverandører. Ofte er de tørrisolerte, noe som brukes i liten grad i fordelingsnettet i Norge. Stasjonsstrømforsyningen er som regel dublert med forskjellige kilder, og er supplert med et batterianlegg. Svikt i en stasjonstransformator, bør ikke føre til stans i stasjonen. Transformatorene er imidlertid små og rimelige.

Avbøtende tiltak:

- Reserve stasjonstransformator bør vurderes.

6.5 Kabler og gjennomføringer

Vurderingene gjelder høyspentkablene mellom generator og transformator og kablene mellom generatortransformatoren og nettanlegget. Svikt i én eller flere faser, fører til full produksjonsstans. Som regel ligger alle tre faser samlet på en kabelbro eller i en kulvert. I vannkraftstasjoner i fjell er kablene opp til utendørsanlegget lagt i samme kabeltunnel. Hvis det er redundante kabelanlegg, er de sjelden lagt i separate føringsveier med brannskille. Et kabelhavari som fører til brann, ødelegger mest sannsynlig begge kabelsett, og brann i én fase, fører mest sannsynlig til ødeleggelse av de andre fasene.

En må følgelig vurdere å anskaffe reserver for både generatorkablene og kablene mot nettet. Det bør også vurderes om det er mulig å lage separate føringsveier, eller om det kan klargjøres nye føringsveier ved havari. Reservelengden må være tilstrekkelig til at alle tre faser kan skiftes ved et havari, og at det kan foretas reparasjon av kabelen hvis det oppstår en jordslutning i kabelen. I tillegg må det anskaffes endeavslutninger og skjøter, minst to av hver per enleder kabel.

De større kraftstasjonene har ikke kabler, men skinner ut fra generatoren. Skinnanlegget er svært robust, og det skal mye til for at et havari oppstår. Skinnene går gjennom vegger og

etasjer mellom generatoren og transformatoren. Feil på en gjennomføring fører til produksjonsstans. Det bør anskaffes reserve gjennomføringer da disse kan ha lang leveringstid.

Avbøtende tiltak:

- Reserve kabellengder bør anskaffes for alle aktuelle typer
- Reserve gjennomføringer bør anskaffes

6.6 Bryteranlegg

Mellom generatoren og transformatoren kan det være en generatorbryter.

Generatorbrytere er svært store og kostbare. De er konstruert for store strømmer, både stasjonære strømmer og kortslutningsstrømmer, og for dobbel linjespenning over polene ved faseopposisjon hvis den brukes til synkronisering. Generatorbrytere er standardiserte angående elektriske parametere og ytre fysiske mål. Mange kraftstasjoner har eller hadde blokkobling; det vil si direkte forbindelse mellom generator og transformator og innfasing av aggregatet på transformatorens nettside. Denne bryteren må også tåle innfasing og faseopposisjon.

Det er ikke vanlig å ha generatorbrytere i reserve uavhengig av om bryteren står mot generatoren eller mot nettet.

Avbøtende tiltak:

- Leveringstid for brytere bør undersøkes, og det bør inngås en avtale med leverandøren slik at det sikres rask respons ved bryterproblemer.

6.7 Måletransformatorer

For innfasing, spenningskontroll, relévern m.m. er måletransformatorer helt nødvendig. Det er ikke forsvarlig å kjøre kraftverket ved svikt i måletransformatorer. Noen ganger kan man greie seg med én eller to måletransformatorer i stedet for tre inntil den med feil er erstattet. Det bør være tilgang til reserve måletransformatorer, enten på eget lager eller hos leverandør.

Avbøtende tiltak:

- Leveringstider bør undersøkes, og det bør vurderes å anskaffe eller inngå en avtale om reserver.

6.8 Lokalkontrollanlegg

Lokalkontrollanlegget styrer alle forhold ved turbin, generator, luker og ventiler.

Kraftstasjoner i klasse 2 og 3 skal som hovedregel ha dublering av de viktigste komponenter og annen nødvendig kontrollutrustning, samt ha dublerede føringer for stasjonsstrøm og styresignaler. I det lokale kontrollanlegget skal virksomheten vurdere behovet for redundans. Anlegg i klasse 3 skal ha dublerede og fysiske uavhengige kabelføringer for styring og samband slik at én enkelt feil eller hendelse ikke kan slå ut vitale funksjoner.

Det må derfor forventes at feil i lokalkontrollanlegget i kraftstasjoner i klasse 2 og 3 ikke påvirker driften, og at man har tid til å reparere og anskaffe reservedeler. Virksomhetene har ikke alltid egne ansatte med inngående kompetanse om kontrollanlegg, og de bør derfor ha en avtale med den som leverte anlegget.

Avbøtende tiltak:

- Det bør inngås en beredskapsavtale for lokalkontrollanlegget som dekker kompetent personell og deler.

6.9 Generatorvikling og poler

Generatorviklingen slites og det samme gjør polene. Det er mulig å ha reservepoler og reservevikling, men det er ikke så vanlig. Ved feil eller havari av poler eller vikling er det omfattende og tidkrevende å reparere. Reparasjonstider kan forkortes ved å ha reserve generatorstaver. I en situasjon med sterkt økende priser og redusert tilgang på kobber, kan det være hensiktsmessig å anskaffe generatorstaver som reserve.

Avbøtende tiltak:

- Priser og leveringstider bør undersøkes, og det bør vurderes å anskaffe eller inngå en avtale om reserver.

6.10 Stengeorgan og ventiler

Disse komponentene er nødvendige for start og stopp av kraftverket. Det er ikke vanlig å ha hele kuleventiler eller andre ventiler eller luker i reserve. Det bør vurderes om det bør være slitedeler tilgjengelig på eget lager eller hos leverandør slik at rask reparasjon er mulig.

Avbøtende tiltak:

- Leveringstider bør undersøkes, og det bør vurderes å anskaffe eller inngå en avtale om reserver.

6.11 Løpehjul

Løpehjulhavari forekommer og i mange kraftstasjoner har man et Pelton løpehjul i reserve. Ofte er dette et hjul som er skiftet ut ved en revisjon. Det er lite aktuelt for Kaplan, men forekommer med Francis. Å ha et løpehjul i reserve forkorter reparasjonstidene vesentlig.

Avbøtende tiltak:

- Bruk utskiftede løpehjul som reserve.

6.12 Hydraulikkanlegg

Uten et fungerende hydraulikkanlegg er det ikke mulig å regulere turbinen. Anlegget bør derfor være utført med flere kretser slik at ikke én enkelt feil forhindrer turbinreguleringen.

Avbøtende tiltak:

- Vurder om én enkelt feil eller hendelse i hydraulikkanlegget kan forhindre turbinreguleringen. Sørg for redundans.

6.13 Lensepumper

I mange kraftstasjoner lekker det inn mye vann som må pumpes ut for at ikke stasjonen skal drukne. Det er derfor svært viktig at opplegget for lensepumper alltid virker og at pumpene starter når de skal. I mange stasjoner er slike anlegg bygd med redundans, det er flere pumper og det skiftes på hvilke som kjøres.

Avbøtende tiltak:

- Vurder om én enkelt feil eller hendelse kan forhindre tilstrekkelig lensing. Sørg for redundans.

7. Konklusjon

Det er krav både i lover, forskrifter og konsesjoner til å opprettholde og gjenopprette produksjon. Dette skal skje uten ugrunnet opphold og med de midler som er tilgjengelig og anerkjent. For vannkraftverk skal manøvrereglementet overholdes, og det blir risiko for tap av magasinert vann. Det vil si at ved et transformatorhavari eller feil på en transformator, skal en erstatning være tilgjengelig så raskt som mulig. I tillegg er det for produsenten eller forsikringselskapet store kostnader ved avbrutt produksjon. Disse vil som regel utgjøre langt mer enn transformatorverdien. Konklusjonen blir at der svikten fører til hel eller delvis produksjonsstans, bør en reservetransformator anskaffes.

Hvis produksjonstapet er mulig å leve med og det ikke går ut over mulighetene til å overholde manøvrereglementet, bør det vurderes å anskaffe en reservetransformator.

Til slutt gjøres det oppmerksom på at det ikke er forsvarlig å drifte videre med feil på én transformator eller viktig anleggskomponent fordi det selv med flere transformatorer installert, ikke lenger er samme kapasitet i anlegget, og en ny feil samtidig med den første, kan føre til full stans.

8. Sjekkliste

Spørsmål	Svar	Handling hvis JA
Kontroller enlinjeskjemaet.	JA/NEI	Se etter mulige <i>single point of failure</i>
Finnes <i>single point of failure</i> ?	JA/NEI	Anskaff reserver
Er det reserve for alle <i>single point of failure</i> ?	JA/NEI	Oppdater lageroversikten. Undersøk om reservene er korrekt lagret og at all «ferskvare» er oppdatert.
Er kraftstasjonen kritisk for nettdriften?	JA/NEI	Anskaff reserver for alle viktige komponenter
Er det ett aggregat?	JA/NEI	Anskaff reserver
Er det to aggregater?	JA/NEI	Vurder å anskaffe reserver
Er det to vannveier og ett aggregat i hver?	JA/NEI	Anskaff reserver
Er det flere enn tre aggregater?	JA/NEI	Reserve ikke nødvendig
Er det flere aggregater og en felles transformator mot nettet?	JA/NEI	Anskaff reservetransformator
Leverer generatortransformatoren direkte til nettkunder?	JA/NEI	Sørg for reserveforsyning eller overlat dette til lokal nettvirksomhet
Er det én transformator mot nettet?	JA/NEI	Anskaff reservetransformator

9. Oppsummering

Risikovurdering med hendelsen feil eller havari i transformatoren eller andre viktige komponenter mellom produksjonsanlegget og nettet.

Karakterisering av anlegget	Konsekvens for driften	Konsekvens for omgivelser / nettkunder	Avbøtende tiltak
Magasinkraftverk med ett aggregat	Tapt produksjon Vanntap eller vannstopp	Effektmangel i nettet Problem med HRV eller LRV Tørrlegging eller omløp	Anskaff reserver
Magasinkraftverk med to aggregater i samme vannvei	Redusert produksjon Vanntap	Mulig effektmangel Vanskeligere å overholde manøvrereglementet	Vurder å anskaffe reserver
Magasinkraftverk med tre eller flere aggregater i samme vannvei	Redusert produksjon	Små	Ingen
Magasinkraftverk med to aggregater i forskjellige vannveier	Tapt produksjon Vanntap eller vannstopp	Mulig effektmangel Problem med HRV eller LRV Tørrlegging eller omløp	Anskaff reserver
Elvekraftverk med ett aggregat	Tapt produksjon Vanntap	Effektmangel i nettet	Anskaff reserver
Elvekraftverk med to aggregater	Tapt produksjon Mulig vanntap	Mulig effektmangel	Vurder reserver
Elvekraftverk med tre eller flere aggregater	Mulig produksjonstap	Små	Ingen
Kraftstasjon med flere små aggregater og felles hovedtransformator	Tapt produksjon Vanntap eller vannstopp	Effektmangel i nettet Problem med HRV eller LRV Tørrlegging eller omløp	Anskaff reserver
Kraftstasjon som leverer direkte til nettkunder	Vurderinger som over	Brudd i strømforsyningen	Anskaff reserver
Magnetiserings-transformator	Stans i generatoren	Som over	Anskaff reserve magnetiserings-transformator

10. Vedlegg Krav i lover, forskrifter og konsesjoner

Reparasjonsberedskap:

- 1.«uten unødig opphold» for klasse 1 og 2
- 2.«så raskt som fysisk mulig» for klasse 3

Begge fristbegrepene; «uten ugrunnet opphold» og «så raskt som fysisk mulig» i kraftberedskapsforskriften, er relative begrep som påvirkes av flere parametere. Ingen av dem er nærmere forklart i veiledningen³ til forskriften. Begrepet «uten unødig opphold» er også brukt i forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet § 2.1⁴ om utbedring. I annet ledd heter det at «de som omfattes av denne forskriften skal ved hendelser i egne anlegg, som gjør at kraftverk ikke kan levere kraft til nett, utbedre forholdet uten ugrunnet opphold». Kraftprodusenter omfattes av leveringskvalitetsforskriften slik det står i § 1-2. *Virkeområde*⁵. I veiledningen til leveringskvalitetsforskriften pkt. 2.1.2 «Nærmere om uten ugrunnet opphold» står det at «Kravet til gjenoppretting uten ugrunnet opphold innebærer at den som er ansvarlig for utbedringen ikke har anledning å utsette eller nedprioritere oppgaven uten at det foreligger en begrunnelse som kan forsvare dette. Økonomiske incentiver er ikke god nok begrunnelse i denne sammenhengen.» I veiledningens punkt 2.1.2.2 «Gjenoppretting av forsyning til produksjonsanlegg» er bestemmelsen i § 2-1 annet ledd nærmere forklart. Bestemmelsen skal primært sikre at produksjonsanlegg skal få tilbake mulighet til å levere kraft ut på nettet uten ugrunnet opphold.

Forståelsen av begrepet «uten ugrunnet opphold» er den samme i begge forskriftene.

Tilgjengelig beredskap, standardisering, teknologisk utvikling mm. reduserer lengden av disse begrepene etter hvert som utviklingen går fremover. Utviklingen mot stadig bedre beredskapsløsninger skjerper kravene til det som er god beredskap og hva som er fysisk mulig.

10.1 Vassdragslovgivning

10.1.1 Vannressursloven⁶

§ 26. (vilkår i konsesjon) ... *Kan et vassdragstiltak påvirke vannføring og vannstand, skal det fastsettes grenser for vannstand og vannføring i samsvar med § 10, med nødvendige pålegg for kontroll, og om nødvendig gis pålegg om hvordan tapping av magasin skal skje.*

Slike vilkår fastsettes i et manøverreglement. For å overholde vilkårene kan det være nødvendig å kjøre et aggregat eller tappe forbi.

³ <https://www.nve.no/media/14910/veileder-kbf-oppdater-versjon-des-2022.pdf>

⁴ <https://lovdata.no/forskrift/2004-11-30-1557/§2-1>

⁵ <https://lovdata.no/forskrift/2004-11-30-1557/§1-2>

⁶ <https://lovdata.no/lov/2000-11-24-82/§26>

10.1.2 Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften)⁷

Dette er en HMS-forskrift og har ikke spesifikke krav til at en vannkraftstasjon skal produsere elektrisitet. Forskriften har i § 7-1. *Driftsprosedyrer* krav til at det foreligger prosedyrer for driften av anlegget. Prosedyrene skal beskrive hvordan vann avledes både i normale driftssituasjoner og i situasjoner som avviker fra det normale, for eksempel store flommer, aggregathavari, funksjonssvikt på luker og vedlikeholdsarbeider på anleggsdeler.

Aggregathavari vil sterkt påvirke driften av anlegget og mulighetene for å følge manøvrereglementet. Transformatorhavari vil ha samme effekt som aggregathavari, og det må egentlig forutsettes at aggregathavari kan oppstå ved mekaniske feil og feil i alle elektrotekniske komponenter som er nødvendige for at strømmen fra aggregatet når nettet.

10.1.3 Forskrift om internkontroll etter vassdragslovgivningen (IK-vassdrag)⁸

Forskriften skal sikre at det etableres internkontroll og fremme kontinuerlig forbedringsarbeid, slik at krav fastsatt i eller i medhold av vassdragslovgivningen blir oppfylt. I § 5 er innholdet i internkontrollen beskrevet: «Den ansvarlige skal utarbeide og gjennomføre rutiner og prosedyrer som sikrer at krav fastsatt i eller i medhold av vassdragslovgivningen knyttet til miljø og sikkerhet er oppfylt. Internkontroll innebærer at den ansvarlige skal:» Her gjengis punkt 7. «konkretisere hvordan vilkår og betingelser satt i konsesjoner, godkjenninger og lignende skal oppfylles» og punkt 8. «utarbeide og gjennomføre rutiner for å avdekke, rette opp og forebygge avvik».

10.1.4 Lov om regulering og kraftutbygging i vassdrag (vassdragsreguleringsloven)⁹

Loven oppstiller vilkår om konsesjoner for vannkraftanlegg. I § 16 om manøvreringsreglement og hydrologiske observasjoner er det fastsatt: «I konsesjonen skal det fastsettes et manøvreringsreglement hvor det settes grenser for vannstand og vannslipping, med bestemmelser om kontroll og hvordan tapping av magasin skal skje.»

Det er her bestemmelser om minstevannføring, HRV og LRV finnes og som gir begrensninger for driften av anlegget. Spesielt kravet til minstevannføring og HRV gjør at det er best at stasjonen er i drift slik at en unngår bruk av tappeluker og omløpsventil i størst mulig grad.

10.1.5 Vassdragskonsesjoner¹⁰

Vassdragskonsesjoner inneholder vilkår for den aktuelle reguleringen og såkalte standard konsesjonsvilkår. Standard konsesjonsvilkår går igjen i så godt som alle vassdragskonsesjoner. Et viktig vilkår gjelder anleggets drift.

Grunnen til konsesjonsplikten er at den gir tillatelse til å utnytte naturressurser som areal, vann og miljø for å produsere elektrisk energi. Et vanlig vilkår (standard) er at anleggene skal utføres solid, minst mulig skjemmende og skal til enhver tid holdes i full driftsmessig stand.

⁷ <https://lovdata.no/forskrift/2009-12-18-1600/§7-1>

⁸ <https://lovdata.no/forskrift/2011-10-28-1058/§5>

⁹ <https://lovdata.no/lov/1917-12-14-17/§16>

¹⁰ <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1917-12-14-17> og <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82>

10.2 Energilovgivning

10.2.1 Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven)¹¹

§ 3-5. (Vilkår) «For konsesjoner etter §§ 3-1 og 3-2 kan departementet gi nærmere forskrifter og fastsette vilkår:

1. av hensyn til etterspørsel av elektrisk energi og til en rasjonell energiforsyning.
2. om påbegynnelse, bygging, utførelse, idriftsettelse, vedlikehold, drift og nedleggelse av det elektriske anlegget.
3. om utnyttelse av det enkelte kraftverk.
4. for å unngå skader på natur og kulturverdier.
5. om konsesjonærens organisasjon og kompetanse, kompetanse hos den som overlates driftsoppgaver og bestemmelser som regulerer bortsettelse av drift.»

Produksjonsanlegg (vannkraft) har konsesjon etter § 3-1 i energiloven.

§ 9-2. (Beredskapstiltak)¹² «Den som helt eller delvis eier eller driver anlegg eller system som er eller kan bli av vesentlig betydning for produksjon, omforming, overføring, omsetning eller fordeling av elektrisk energi eller fjernvarme, plikter å sørge for effektiv sikring og beredskap og iverksette tiltak for å forebygge, håndtere og begrense virkningene av ekstraordinære situasjoner som nevnt i § 9-1 fjerde eller femte ledd og for å gjenopprette normal situasjon.»

Alle klassifiserte anlegg er omfattet av denne bestemmelsen. Det sentrale i denne sammenheng er at driften skal gjenoprettes (reparasjon), og at det skal iverksettes tiltak for å forebygge og begrense virkningene (blant annet reservemateriell).

10.2.2 Forskrift om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energilovforskriften)¹³

§ 3-5. Plikter ved konsesjon for elektriske anlegg «a. Drift, vedlikehold og modernisering Konsesjonæren plikter til enhver tid å holde anlegget i tilfredsstillende driftssikker stand, herunder sørge for at

1. det utarbeides planer for systematisk vedlikehold av anlegg og planer for modernisering av anlegg i transmisjonsnettet og regionalnettet. Planene skal oppdateres minimum hvert annet år.
2. det foreligger systemer og rutiner for kontroll for å fastslå anleggenes tilstand.
3. normer vedtatt av Norsk Elektroteknisk Komité (NEK) og Standard Norge om drift, vedlikehold og modernisering av elektriske anlegg følges, med mindre det kan dokumenteres at andre metoder gir tilfredsstillende driftssikker stand.
4. det gjennomføres vedlikehold og modernisering av anlegget, slik at konsesjonsgitt kapasitet og øvrig funksjonalitet opprettholdes i hele konsesjonsperioden.
5. det foreligger oppdatert dokumentasjon for planlagte og gjennomførte tiltak i henhold til § 3-5 bokstav a. All dokumentasjon skal oppbevares i konsesjonsperioden.»

¹¹ <https://lovdata.no/lov/1990-06-29-50/§3-5>

¹² <https://lovdata.no/lov/1990-06-29-50/§9-2>

¹³ <https://lovdata.no/forskrift/1990-12-07-959/§3-5>

Det sentrale er at anlegget skal holdes i tilfredsstillende driftssikker stand. Det vil si at det skal være i orden og fungere som forutsatt.

c. Beredskap «Konsesjonæren plikter ved planlegging, utførelse og drift av anlegget å sørge for at det tas beredskapsmessige hensyn.»

Dette betyr blant annet at det skal være utarbeidet planer for fortsatt drift etter en hendelse som fører til stans i produksjonen.

Bestemmelsene i energilovforskriften gjelder alle som har elektrisk konsesjon uavhengig av om kraftstasjonen er klassifisert og om eieren er en KBO-enhet.

10.2.3 Forskrift om sikkerhet og beredskap i kraftforsyningen (kraftberedskapsforskriften)¹⁴
I denne forskriften er det mange relevante bestemmelser angående drift av produksjonsanlegg og direkte krav til risikovurderinger.

§ 1-1. «*Formål.* Innenfor formålene i energiloven § 1-2, skal forskriften sikre at kraftforsyningen opprettholdes og at normal forsyning gjenoprettes på en effektiv og sikker måte i og etter ekstraordinære situasjoner for å redusere de samfunnsmessige konsekvensene.»

§ 1-2. *Virkeområde.* «Forskriften gjelder forebygging, håndtering og begrensning av virkningene av ekstraordinære situasjoner som kan skade eller hindre produksjon, omforming, overføring, omsetning og fordeling av elektrisk energi eller fjernvarme.»

§ 1-3. *Hvem forskriften gjelder for.* «Forskriften gjelder for de virksomheter som er KBO-enheter etter § 2-1 annet ledd bokstav a eller som er blitt KBO-enheter etter § 2-1 annet ledd bokstav b. For KBO-enheter gjelder bestemmelsene rettet til KBO-enheter og virksomheter.»

Alle eiere av klassifiserte anlegg er KBO-enheter.

§ 1-5. *Beredskapsplikt og beredskapsplan.* «Virksomheter som er omfattet av denne forskrift, skal sørge for effektiv sikring og beredskap, og skal iverksette tiltak for å forebygge, håndtere og begrense virkningene av ekstraordinære situasjoner i samsvar med energiloven § 9-2 første ledd. Virksomheter som er omfattet av denne forskrift, skal ha en beredskapsplan for å håndtere og begrense virkningene av ekstraordinære situasjoner.»

§ 4-1. *Reparasjonsberedskap.* «KBO-enheter skal planlegge for og etablere en organisasjon med nødvendig personell, kompetanse, utholdenhet og ressurser til å holde driften gående, gjenopprette funksjon og gjennomføre oppgaver som kreves under alle ekstraordinære situasjoner på en sikker og effektiv måte.»

§ 4-3. *Drift i ekstraordinære situasjoner og gjenoppretting av funksjon.* «KBO-enheter skal i ekstraordinære situasjoner drive de anlegg og den del av kraftforsyningen enheten har

¹⁴ <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-07-1157?q=kraftberedskapsforskriften>

ansvaret for, herunder driftskontrollfunksjoner, og gjenopprette nødvendige funksjoner i og etter ekstraordinære situasjoner.»

§ 4-4. *Materiell og utstyr.* «KBO-enheter skal ha rask og sikker tilgang til reservemateriell og utstyr som trengs for å opprettholde kraftforsyningen i ekstraordinære situasjoner, og for å gjenopprette funksjon. Med reservemateriell menes materiell som kan erstatte komponenter som er nødvendige for drift av anlegg.»

§ 5-4. *Sikringstiltak for klasse 1.* «3. Skader skal utbedres og anleggets funksjoner skal gjenoprettes uten ugrunnet opphold.»

§ 5-5. *Sikringstiltak for klasse 2.* «2. Tap av vitale funksjoner skal begrenses og etter eventuell skade skal anleggets funksjonalitet gjenoprettes uten ugrunnet opphold.»

§ 5-6. *Sikringstiltak for klasse 3.* «2. Vitale funksjoner skal opprettholdes i ekstraordinære situasjoner og anleggets funksjonalitet skal gjenoprettes uten ugrunnet opphold.»

Vedlegg 1 til § 5-4: «1.1.5 Det skal være tilgang på reserver for viktige komponenter.»

Vedlegg 3 til § 5-6: Særlige krav til sikring for anlegg klassifisert i klasse 3

3.1 For transformatorstasjoner, koblingsanlegg/-stasjoner, kraftstasjoner og driftskontrollsystemer gjelder følgende krav:

3.1.1 «Anleggets sikringsnivå skal ivaretas gjennom en kombinasjon av blant annet følgende tiltak: c. Gjenoppretting av eventuelle funksjonstap skal skje så raskt som fysisk mulig.»

Felles for paragrafene gjengitt ovenfor, er at konsesjonæren eller KBO-enheten skal håndtere og begrense virkningene av ekstraordinære situasjoner, ha tilgang på viktige komponenter og gjenopprette normal situasjon. Tidsfristen for gjenoppretting er uten ugrunnet opphold eller så raskt som fysisk mulig. Det er et krav om tilgang til reservemateriell for å gjenopprette driften.

I kraftstasjoner er det ikke krav om redundans av hovedkomponentene, se pkt. 2.3.7 og 3.3.8 i vedlegget til kapittel 5 i kraftberedskapsforskriften. «Det kreves ikke redundans for anleggets hovedkomponenter, som turbin, generator mv.»

Dette betyr ikke at det ikke er krav til reservemateriell, men at det ikke behøver å stå en ekstra transformator permanent tilkoblet som øyeblikkelig eller etter omkobling kan overta driften. Når det gjelder generator, turbin og hovedventil er dette ikke mulig.

10.2.4 Energikonsesjoner¹⁵

Anleggskonsesjonen gir rett til å bygge, eie og drive anlegget. Konsesjonæren skal stå for driften av anleggene og plikter å gjøre seg kjent med de til enhver tid gjeldende regler for driften. Når det er gitt rett til å drive, medfører det også at anlegget skal drives. Hvis anlegget ikke skulle drives, ville det ikke vært søkt om konsesjon. Dårlig lønnsomhet kan føre

¹⁵ <https://lovdata.no/lov/1990-06-29-50/§3-1>

til at det ikke lenger lønner seg å drive et anlegg. I så fall kan det søkes om nedleggelse av anlegget.

10.2.5 Beredskapsklassifisering¹⁶

Anlegg klassifiseres etter installert ytelse i anlegget. Grensene er gitt i kraftberedskapsforskriften § 5-2. *Klasser*. Kraftstasjoner klassifiseres etter summen av generatorer i stasjonen. Hvis en transformator både benyttes til produksjonsformål og nettførmål, er det den delen av ytelsen som gir høyest klasse, som er bestemmende.

Klasse 1 omfatter:

- a. Kraftstasjon med samlet installert generatorytelse på minst 50 MVA,
- b. Transformatorstasjon med samlet hovedtransformatorytelse på minst 10 MVA,

Klasse 2 omfatter:

- a. Kraftstasjon med samlet installert generatorytelse på minst 100 MVA og kraftstasjoner på minst 100 MVA plassert i dagen,
- b. Transformatorstasjon med samlet hovedtransformatorytelse på minst 50 MVA og høyeste spenningsnivå på minst 30 kV,

Klasse 3 omfatter:

- a. Kraftstasjon i fjell med samlet installert generatorytelse på minst 250 MVA,
- b. Transformatorstasjon med samlet hovedtransformatorytelse på mer enn 100 MVA og bygget for et høyeste spenningsnivå på minst 200 kV og transformering til sekundært spenningsnivå i nett på minst 30 kV.

Legg merke til at kraftstasjoner i dagen ikke klassifiseres i klasse 3 med mindre de inneholder en transformator med ytelse til nettførmål på mer enn 100 MVA. Kravene til å opprettholde og gjenopprette driften avhenger av anleggets klasse.

¹⁶ <https://lovdata.no/forskrift/2012-12-07-1157/§5-2>