

EMP — virkninger og vern

Av Karl Ludvig Grønhaug

Karl Ludvig Grønhaug er forsker ved Forsvarets Forskningsinstitutt. (FFI)

HVA ER EMP?

Elektromagnetisk puls (EMP) er en kortvarig og intens radiobølge. EMP oppstår ved eksplosjon av kjernevåpen, konvensjonelle sprengninger og lynutladninger. Fenomenet ble oppdaget i USA under de første kjernevåpenprøvene ved at målinger ble forstyrret og instrumenter ødelagt. Det ble snart klart at EMP kunne gi alvorlige skader på elektrisk utstyr selv på store avstander fra eksplosjonsstedet. EMP fra lynutladninger vil være kjent for de fleste p.g.a. den spraking som kan opptre i radioapparater i flere miles avstand. EMP fra kjerneeksplosjoner har gitt spraking i radioper i avstander på 6000 km, og har vært målt etter fem omløp rundt jorden. Denne EMP betegnes vanligvis NEMP (Nuclear EMP) (1, 2).

Utstrålt energi kan bli 10^{11} J (20 000 kWh). Største delen av energien ligger i frekvensområdet for radio og radar, fra ca. 10 kHz til flere 100 MHz. Det kan derfor induiseres sterke strømmer selv i korte ledninger.

Den totale elektriske energi i en lynutladning skal kunne bli opptil 10^9 J. Den utstrålte EMP-energi kan bli maksimalt ca. 10^6 J og er hovedsakelig konsentrert ved lavere frekvenser enn EMP fra kjernevåpen. EMP fra konvensjonelle eksplosjoner er blitt målt ved flere an-

ledninger. Vi er ikke kjent med at det har oppstått noen form for skadevirkninger p.g.a. EMP fra slike sprengninger.

GENERERING AV EMP

Generering av EMP skyldes den såkalte Compton-effekten. Den intense kjernestråling (gammastråling) fra eksplosjonen vil stoppes i atmosfæren. Dette skjer ved at gammapartikler (fotoner) støter sammen med luftmolekyler. Ved en slik kollisjon støtes det ut et elektron som gir en elektrisk strøm i radiell retning fra eksplosjonen. På grunn av separasjon av ladning bygges det også opp et radielt rettet elektrisk felt. Hvert elektron bremser opp ved at det river løs ca. $3 \cdot 10^4$ elektroner fra andre luftmolekyler. Luften blir derved elektrisk ledende (ionisert). Rekkevidden til gammastrålene som genererer strømmene og det elektriske felt, er et par kilometer nær jordoverflaten og flere titalls kilometer i stor høyde. Rekkevidden er omvendt proporsjonal med luftens tetthet. Generering av strømmer vil også kunne foregå i andre stoffer enn luft, f.eks. i komponenter i utstyr (intern EMP). Det genereres også fotostømmer som gir skadevirkninger i halvledere.

Strømmene i luften fører til utstråling av elektromagnetisk energi på samme vis som strømmen i en vanlig senderantenne.

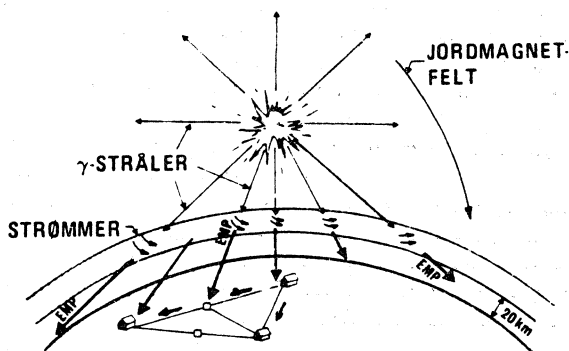
Dersom strømmene rundt eksplosjonsstedet var helt kulesymmetrisk fordelte, ville strålingsbidragene fra de forskjellige strømmene oppheve hverandre. I praksis vil imidlertid ikke strømmene være helt symmetriske.

Ved eksplosjoner i lav høyde over bakken oppstår usymmetri i strømmene fordi jordoverflaten stopper gammastrålene og hindrer nedoverrettede strømmer. Strømmene i luften, som har en rekkevidde på anslagsvis 1—4 km, avhengig av våpenstyrken, danner middel en vertikal elektrisk antenne. EMP avtar med økende eksplosjonshøyde fordi graden av symmetri øker. Når eksplosjonshøyden er mer enn 1—3 km, blir denne EMP kraftig redusert.

Ved eksplosjoner i stor høyde vil Compton-strømmer genereres over store områder av atmosfæren. Men siden de er radiale og divergerer, genereres det for-

holdsvis lite EMP. Styrken av denne EMP er ikke nøyaktig kjent. I disse høyder er det derimot en annen effekt som gir sterk EMP. Denne EMP antas hovedsakelig å skyldes at Compton-strømmene avbøyes av jordens magnetfelt. Strømmene får da en komponent på tvers av den radiale retning, og gir dermed en kraftig utstråling som vist i figur 1. Varigheten er mindre enn 10^{-6} s.

Rekkevidden for den mest intense EMP øker med eksplosjonens høyde over bakken. Ved eksplosjonshøyder på 100 og 400 km blir f.eks. rekkevidden henholdsvis 1100 og 2200 km. Pulsen som en kan måle på bakken utbreder seg langs jordoverflaten i radiell retning fra eksplosjonsnullpunktet. For beskyttelsesformål er det vanlig å regne med et feltstyrke på 50 kV/m, som er uavhengig av sted. Denne EMP regnes for tiden som den mest aktuelle trussel på grunn av



Figur 1. EMP-generering ved eksplosjon i stor høyde.

Linjer og knutepunkt i systemer med stor utstrekning kan som vist bestråles nesten samtidig. Rekkevidden av de intense felter er som vist begrenset ved de steder der siktelinjen fra eksplosjonspunktet tangerer jordoverflaten. Rekkevidden øker derfor med eksplosjonshøyden. En rekke andre prosesser genererer EMP og magnetiske forstyrrelser av mindre styrke og av større varighet, men en antar at disse virkninger er av mindre betydning beskyttelsesmessig.

den store rekkevidden (fjernvirkninger). En mulig utveksling av raketter med kjernevåpen kan finne sted over Nord-Europa. Det utvikles også strålevåpen som kan generere EMP uten bruk av kjerneladninger.

Ved eksplosjoner nær bakken har pulsen større varighet. Feltstyrkene nær eksplosjonsstedet kan få verdier på opptil 1000 kV/m og 10 kA/m. Feltstyrken reduseres i dette tilfellet i sterkere grad med økende avstand fra eksplosjonsnullpunktet. I avstander på 20 km fra nullpunktet er feltet ca. 1 kV/m. Dette er for lite til å kunne skade utstyr.

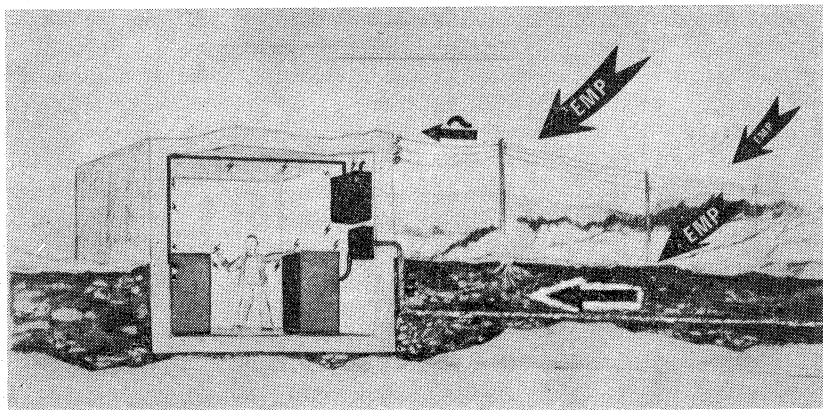
ÅRSAK TIL SKADER PÅ GRUNN AV EMP

Den grunnleggende årsak til de skadelige virkninger av EMP er at den elektromagnetiske puls inducerer kortvarige strømmer i kabler og ledninger. Styrken av disse strømmer øker med lengden og tykkelsen av kablene, og er avhengig av

den avstand og retning kablene har i forhold til eksplosjonsstedet, som vist i figur 2. Skade vil opptre dersom strømmene når fram til utstyr som er for svakt dimensjonert til å kunne motstå den energi som blir tilført.

Konstruksjonen av ledninger og andre ledende strukturer er av stor betydning for energien av den strøm som fanges inn. Aktuelle strukturer er antenner, rørledninger, tårn, luftledninger, jordkabler, ledningsopplegg i og mellom bygninger, o.s.v. Induksjon i store (lange) strukturer må beregnes, da det foreløpig ikke finnes muligheter for å kunne gjøre tilstrekkelig nøyaktige målinger ved bruk av kunstig EMP-bestråling (EMP-simulatorer).

Skade på utstyr oppstår p.g.a. gnistoverslag eller lokal oppvarming (strømskred) i komponenter. Energien blir da konsentrert i et lite volum der det kan opptre meget høy temperatur. Varig skade er derfor mulig, selv med meget små



Figur 2. Luftledninger og jordkabler virker som antenner for EMP og store strømmer kan trenge inn til utstyr og skade dette.
Ledningsopplegget i bygninger kan også plukke opp nok strømmer til at utstyr skades.

energier (10^{-7} — 10^{-3} J). Energitettheten for EMP i store avstander fra eksplisjoner i stor høyde skal kunne bli opp til 1 J/m^2 . Forsøk som er utført ved FFI viser at skadelige energier kan opp tre i ledninger som er lengre enn 25 cm ved bestråling med slik EMP. En typisk transistor tåler bare 10^{-6} J og kan ødelegges ved bestråling med EMP ved å anbringe den på midten av en 0,5 m lang tråd.

Ved bestrålingsforsøk vi har utført på utstyr har det vist seg at det ytre ledningsopplegget som var tilknyttet komponentene i utstyret bestod av ledninger som var nær hverandre eller snodd sammen (balansert). De sårbare komponenter blir dermed bare utsatt for sløyfestrømmer. Disse kan bli redusert en faktor 100 (40 dB) i forhold til strømmer som induseres over alle trådene samtidig. Kablen må dermed være noen meter lang for at transistorer skal kunne ødelegges. Forsøkene som er utført viser derfor at komponenter inne i utstyr kan ha en viss «naturlig» beskyttelse. Metallkabinettet kan gi en del avledning og skjerming, og ledningsføringen kan være slik at EMP-strømmer hindres i å nå fram til komponentene. Utstyr kan derfor tåle vesentlig mer EMP-energi i de ytre tilkoblingsledningene enn 10^{-6} J. I forsøk der vi har bestrålt forskjellige typer utstyr tilkoblet ledninger eller antenner med EMP, har ca. 50% av utstyret tålt 50 kV/m. Annet utstyr kunne bli fullstendig funksjonsudyktig med ødeleggelse flere steder.

Elektronisk databehandlingsutstyr benyttes etterhvert for prosesskontroll og overvåking. En forholdsvis svak EMP kan forandre data eller instruksjoner som er lagret i maskinen, slik at utstyret gir ut feil informasjon eller stopper å funksjonere. Ved forsøkene vi har gjort har

det også vist seg at spenningsforsyningen kan koble seg ut og at maskinprogrammet derved kan gå tapt. Det er da viktig at en har muligheter for å kunne lese programmet hurtig inn igjen fra skive eller bånd. Spenningsforsyningen bør beskyttes med spenningsbegrensere (MOV) og med filter (avkobling, skilletrafo, etc.) for å kunne unngå utkobling eller endring av programmer. Sannsynligheten for støvirkninger i databehandlingsutstyr blir i prinsipp lavere jo mindre utstyrets hastighet er.

SÅRBARHET AV VANNFORSYNINGEN

Strøbrudd

Studier av EMP-virkningene i USA viser at avbrudd i kraftforsyningen kan skje over store områder. Et stort antall generatorer i et forsyningsområde kan samtidig bli frakoblet sin belastning p.g.a. overslag i kraftlinjene. Generatorene blir dermed løpende på tomgang og akselereres slik at synkroniseringen går tapt. Denne feil kan forplante seg til andre forsyningsområder. Det kan da ta lang tid før synkroniseringen igjen er etablert. Slik «power-blackout» opptrådte over store områder i USA i 1965. Denne oppsto p.g.a. feil i et relé som koplet ut en høyspentlinje i Canada. En ny «blackout» på 25 timer opptrådte i New York 1977. Det hevdes at kraftforsyningen her hjemme er mere pålitelig enn i USA. Et avbrudd i strømforsyningen oppsto om kvelden den 13. januar 1979 i Nord-Sverige. Dette avbrudd forplantet seg til hele Sverige. Varigheten av avbruddet var fra 20 min til 3 timer. Det ble også problemer med strømforsyningen i Danmark og Norge.

De fleste vannverk er helt eller delvis avhengige av elektrisk strøm for å kunne utføre den nødvendige vannbehandlingen.

Noen vannverk har montert nødstrøm-aggregat basert på olje eller bensindrift for å gi den nødvendige strøm til behandlingstinnene, men såvidt vires har ingen nødstrømsaggregat som er store nok til å pumpe vannet på forsyningsnettet. Anlegg hvor vannleveransen ikke kan baseres på at vannet graviterer gjennom anlegget og ut på ledningsnettet, vil derfor måtte stoppe opp ved svikt i strømtilførselen hvis ikke pumpestasjonene tilføres nødstrøm. Det samme gjelder vannleveransen til områder hvor det er nødvendig med trykkprøving i pumpestasjoner for å kunne levere vann. Kortere svikt i strømtilførselen vil som regel ikke være noe problem hvis magasin kapasitet innen hver trykksone er tilstrekkelig (3).

Sårbarhet av utstyr og systemer

Utstyr som opererer på høyt spenningsnivå (sterkstrøm > 230 V) vil være lite utsatt for skadelige virkninger av EMP dersom den ytre kraftforsyning og de ytre signalforbindelser er utført som jordkabler i skjermet eller arment utførelse (PFSP el lign), med skjerm/armering tilknyttet jordingsopplegget i anleggene.

Elektronikk-systemer som opererer med lave spennings- og effektnivåer kan skades av virkninger fra de ytre linjer. Induksjon i ledninger eller kabler i bygninger kan også skade slik elektronikk dersom ledningsopplegget er dårlig skjermet.

EDB-utstyr er spesielt utsatt for skade. Systemfeil i utstyret er sannsynlig dersom utstyret unngår fysisk ødeleggelse.

GENERELLE BESKYTTELSESTILTAK

En kan i hovedtrekk nevne 4 hovedtyper av beskyttelse: skjerming, avledning, isolasjon og begrensnig. Den totale

beskyttelse bør utgjøre en kombinasjon av disse metoder. Ved bruk av skjerming, avledning (jording) og isolasjon sørger en for at induerte strømmer på ytre kabler ikke trenger inn til utstyret. Induserte spenninger kan reduseres til uskadelige verdier v.h.a. spenningsbegrensere som monteres i inntakstavler og på kabeltilkoblingsterminaler for utstyret.

BESKYTTELSESTILTAK MOT EMP FOR VANNFORSYNINGEN

Hva bør beskyttes

Elektrisk og elektronisk utstyr blir benyttet i de forskjellige deler av vannforsyningen. Med hjelp fra Styringsgruppen (3) har en satt opp følgende oversikt:

Kilde/inntak

- Elektrisk måleutstyr for vann-nivå.
- Elektriske pumper og ventilsystemer for regulering av nivå i vanninntak.
- Elektrisk måleutstyr for overvåking av vannkvalitet.

Behandlingsanlegg

- Elektrisk og elektronisk utstyr for prosesskontroll.

Transportsystem

- Elektrisk måleutstyr for overvåking av nivå i utjevningsanlegg.
- Elektriske pumper og ventilsystemer for regulering av nivå i utjevningsanlegg.
- Sambandsanlegg, signalanlegg og linjer for overføring av alarmer, pumpestyring og nivåmålinger.

Forslag til beskyttelsestiltak

Det er rimelig å anta at relativt enkle beskyttelsestiltak vil bedre overlevelses- evnen for EMP i betydelig grad. En vil

derfor foreslå tiltak i henhold til det som er angitt i de «Generelle retningslinjer» (4) for den laveste grad av beskyttelse (20 dB). For EDB-anlegg som er viktige for beredskapen kreves en bedre beskyttelse. EDB-utstyr synes imidlertid ikke for tiden å inngå direkte («on-line») i

styringsystemer eller prosesskontrollsystemer i vannverkene. Det synes viktig for beredskapen at en også i fremtiden har muligheter for å kunne operere slike systemer mest mulig manuelt med ukomplisert utstyr.

LITTERATUR

- (1) *Glasstone S.* (1977): The effects of nuclear weapons, Third edition, US Department of Defence, US Department of Energy.
- (2) Defence Nuclear Agency, Washington DC (1978): — DNA EMP Awareness course notes, DNA 2772T AD-AO58367/4GA.
- (3) Styringsgruppen for vannverkens beredskap (1982): Vannverkens beredskap, Statens institutt for folkehelse.
- (4) Totalforsvarets sambandsnemnd (1981): Generelle retningslinjer for beskyttelse av elektroniske installasjoner i Totalforsvaret mot elektromagnetisk puls, Beredskapskontoret Teledirektoratet.