

Geologiske kriterier for placering af A-kraftværker: Et resumé af USAs lovgivning og dens anvendelsesmuligheder på danske forhold

Jens Morten Hansen og Claus Heinberg

Hansen, J. M. og Heinberg, C.: Geologiske kriterier for placering af A-kraftværker: Et resumé af USAs lovgivning og dens anvendelsesmuligheder på danske forhold. *Danm. geol. Unders., Årbog 1979*: 107–123, København, 1. december 1980.

The present paper gives a Danish summary of USAs legislation concerning seismic and geologic siting criteria for nuclear power plants (Code of federal regulations, 10, Energy: Chapter 1 – Nuclear Regulatory Commission (NRC), 514 pp.) and evaluates the possibility of application of American procedures in Denmark.

Jens Morten Hansen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, Thoravej 31, DK-2400 København NV.

Claus Heinberg, Institut for Historisk Geologi og Palæontologi, Øster Voldgade 10, DK-1350 København K.

Forud for ethvert større anlægsarbejde går normalt en række undersøgelser af geoteknisk art. Disse undersøgelser sigter primært på at fastslå jordlagenes mekaniske egenskaber især med hensyn til deres stabilitet, bæreevne og eventuelle ændring ved de påvirkninger, som byggeriet i sig selv påfører det øvre geologiske miljø. Sådanne undersøgelser kan derfor i alt væsentligt begrænses til belysning af en række veldefinerede parametre af ingeniørgeologisk art.

Mere overordnede geologiske vurderinger som de regionalgeologiske forhold, herunder det tektoniske mønster, har ikke hidtil været inddraget i væsentligt omfang. Undtagelser herfra er bl.a. større bro- og tunnelprojekter (Larsen & al. 1968, Stenestad 1976). Ved en eventuel projektering af A-kraftværker slår de hidtidige procedurer imidlertid ikke til, hvis man vil leve op til den praksis, som gælder i USA. At man i USA har valgt en særlig procedure ved anlæg og projektering af A-kraftværker skyldes ikke, at sådanne anlæg betragtes som værende specielt følsomme, men må ses som udslag af de ekstraordinære sikkerhedskrav, man må stille i forbindelse med driften af nukleare anlæg. En egentlig geologisk standardprocedure for placering af A-kraftværker findes naturligt nok endnu ikke her i landet. Man

må derfor støtte sig på udenlandske erfaringer og regulativer ved en eventuel kommende udarbejdning af en procedure for geologisk og seismisk vurdering af de udvalgte lokaliteter. Her synes det mest nærliggende at henvise til det detaljerede kompleks af regler og anvisninger, som gælder på føderalt plan i USA, og som er sammenfattet i

»Code of federal regulations, 10, Energy: Chapter 1 – Nuclear Regulatory Commission (NRC), 514 pp.«

Denne lov indeholder en lang række påbud af forskrifter vedrørende projektering, anlæg og drift af A-kraftværker. En del af disse er af geologisk art, og da der herhjemme er tradition for, at man i A-kraft sammenhæng støtter sig på amerikanske kriterier, må det formodes, at eventuelle danske retningslinier vil støtte sig på dette dokument. Denne lov giver således et grundlag for at få overblik over:

1. geologisk set gunstige og ugunstige placeringer af A-kraftværker
2. arten og mængden af geologiske metoder og data, som skal beherskes samt hvilke undersøgelser, som skal sættes i værk
3. forskningsmæssige områder af relevans i denne sammenhæng

De følgende kommentarer vedrører udelukkende den geologiske del af § 100: Reactor Site Criteria, herunder især § 100.10 c: Physical characteristics of the site, including seismology, meteorology, geology and hydrology«. Speciel vægt er lagt på det omfattende appendix A: Seismic and Geologic Siting Criteria for Nuclear Power Plants.

Nævnte afsnit beskriver karakteren af de undersøgelser, der skal udføres for at fremskaffe de geologiske og seismiske data, som er nødvendige for at vurdere en lokalitets egnethed i forbindelse med drift af et A-kraftværk. Afsnittet beskriver ligeledes karakteren af de undersøgelser, som skal udføres for at tilvejebringe rimelig sikkerhed for at et A-kraftværk kan konstrueres og fungere på den foreslåede lokalitet uden unødigt risiko for befolkningens sikkerhed og sundhed. Endelig beskrives procedurer for bestemmelse af de jordskælvsbetingede overfladeaccelerationer, som værket skal konstrueres til at kunne modstå samt den information, som er nødvendig for at bestemme mulige overfladeaccelerationer.

Appendix A (Seismiske og geologiske kriterier for placering af A-kraftværker)

Indhold

- I. Formål
- II. Omfang
- III. Definitioner
- IV. Påkrævede undersøgelser
 - (a) Undersøgelser af jordrustelser
 - (b) Undersøgelser af forkastninger
 - (c) Undersøgelser af seismisk fremkaldte flodbølger
- V. Seismiske og geologiske konstruktionskriterier
 - (a) Bestemmelse af konstruktionskrav m.h.t. jordrustelser
 - (b) Bestemmelse af nødvendigheden for at konstruere med henblik på overfladenær forkastningsaktivitet
 - (c) Bestemmelse af konstruktionskrav m.h.t. seismisk forårsagede flodbølger
 - (d) Bestemmelse af andre konstruktionshensyn
- VI. Ingeniørmæssig anvendelse af geologiske og seismiske konstruktionskriterier
 - (a) Jordrustelser
 - (b) Forkastninger
 - (c) Flodbølger

Resumé af indholdet af Appendix A:

I. Formål

Hovedformålet er at sikre, at A-kraftværker placeres og konstrueres på en sådan måde, at deres sikkerhedsfunktioner ikke lider overlast ved jord-skælv og forkastningsaktivitet. (Lignende kriterier er opstillet for en række andre naturkatastrofer).

II. Omfang

Loven gælder for alle, der søger om tilladelse til opførelse af A-kraftværker, idet ansøgerne pålægges at undersøge alle geologiske og seismiske forhold, som kan tænkes at få indflydelse på værkets drift og sikkerhed uanset om disse forhold er udtrykkeligt nævnt i de følgende kapitler. Der henvises til, at særligt omfattende undersøgelser kan kræves i områder med kompliceret geologi eller høj seismicitet.

III. Definitioner

Dette afsnit indeholder en række definitioner af geologisk karakter, som er vigtige for forståelse af de følgende afsnit.

(a) »Størrelsen« af et jordskælv er et mål for den energimængde, som frigøres i form af seismiske bølger. »Størrelsen« af et jordskælv måles på Richter-skalaen.

(b) »Intensiteten« af et jordskælv er et mål for effekten på mennesker, menneskabte konstruktioner og jordoverfladen på et bestemt sted. »Intensiteten« måles på den modificerede Mercalli-skala.

(c) »Nedlukningsjordskælvet« er det største, potentielle jordskælv, når man tager den regionale og lokale geologi, seismologi og specifikke egenskaber ved undergrundens materialer i betragtning. Det er det jordskælv, som producerer den maximale jordrystelse, hvorunder specifikke strukturer, systemer og komponenter er konstrueret til at forblive funktionsdygtige. Med strukturer, systemer og komponenter forstås indretninger, som er nødvendige for at sikre 1) kølevandstrykket i reaktoren og 2) muligheden for nedlukning af reaktoren.

(d) »Funktionsjordskælvet« er det jordskælv, som på grundlag af den regionale og lokale geologi, seismologi og specifikke egenskaber ved undergrundens materialer med rimelighed kan forventes at ville påvirke lokaliteten i løbet af værkets operative levetid. Det er det jordskælv, hvortil de dele af kraftværket, som er nødvendige for en fortsat drift uden unødigt risiko for befolkningens sikkerhed og sundhed, er konstruerede.

(e) En »forkastning« er en »tektonisk struktur« langs hvilken differentiell bevægelse af jordskorpemateriale er foregået parallelt med brudplanet. En forkastning er forskellig fra andre typer af forstyrrelser som f.eks. jordskred, sprækker og kratre.

(f) »Overfladeforkastninger« er forskydninger på eller nær jordoverfladen forårsaget direkte af forkastningsbevægelser.

(g) En »potentielt aktiv forkastning« er en forkastning, som har udvist ét eller flere af følgende karakteristika:

- 1) Bevægelse på eller nær jordoverfladen mindst én gang inden for de sidste 35.000 år eller bevægelse af tilbagevendende natur indenfor de sidste 500.000 år.
- 2) Makro-seismicitet bestemt med tilstrækkelig nøjagtighed for at kunne påvise direkte forbindelse til forkastningen.
- 3) Strukturelle relationer omkring en »potentielt aktiv forkastning« af en sådan art, at aktivitet indenfor den ene karakteristisk (som angivet i pkt. 1 og 2) med rimelighed kan tænkes at have medført aktivitet indenfor den anden. I nogle situationer kan disse geologiske indikationer være skjult af tykke lag. I sådanne tilfælde kan man eventuelt finde

indikationer andre steder langs forkastningen, som med rimelig sikkerhed kan sige noget om forkastningens egenskaber i nærheden af den valgte lokalitet. Sådanne indikationer skal anvendes ved bestemmelse af, om en forkastning er en »potentielt aktiv forkastning« eller ej. I mangel af modsatte evidenser (jvf. pkt. 1, 2 og 3) skal det påvises, at prækvartære geologiske strukturer med forbindelse til forkastninger ikke er »potentielt aktive forkastninger«.

(h) En »tektonisk provins« er en region karakteriseret af en forholdsvis høj grad af ensartethed m.h.t. de geologiske træk.

(i) En »tektonisk struktur« er en stor dislokation eller forstyrrelse i Jordens skorpe hvis geografiske udbredelse måles i miles.

(j) En »zone som kræver detaljerede forkastningsundersøgelser« er en zone, indenfor hvilken et A-kraftværk ikke bør placeres med mindre det gennem detaljerede undersøgelser af de regionale geologiske og seismiske karakteristika er påvist, i hvilket omfang man ved værkets konstruktion skal tage hensyn til eventuel forkastningsaktivitet.

(k) »Kontrolbredden« af en forkastning er maximumbredden af en zone, som indeholder kortlagte forkastningsspor. Hertil kommer alle mindre forkastninger, som med rimelighed kan antages at have været i bevægelse i Kvartærtiden, og som hænger sammen med eller kan formodes at hænge sammen med forkastningszonen inden for 10 miles, målt i begge retninger langs forkastningen fra det punkt på forkastningen, som ligger nærmest den valgte lokalitet (fig. 1).

IV. Påkrævede undersøgelser

Den valgte lokalitets geologiske, seismiske og ingeniørmæssige karakteristika skal undersøges i et omfang og en detaljeringsgrad, der sikrer, at disse forhold er tilstrækkelig godt forstået, således at en rimelig og relevant vurdering af lokaliteten er mulig. Størrelsen af det område, som skal undersøges, og arten af data, der er relevante for undersøgelsen, afgøres ud fra karakteren af regionen omkring den valgte lokalitet. Undersøgelsen skal udføres som en gennemgang af relevant litteratur og feltundersøgelser og skal indeholde de trin, som er beskrevet nedenfor. Trinene fra (a)5 til (a)8 i dette afsnit kan undlades, hvis »nedlukningsjordskælvet« klart kan dokumenteres gennem en mindre indsats.

(a) Indsamling af den information, som er nødvendig for at beskrive »nedlukningsjordskælvet«. Disse data udgør samtidig et adækvat grundlag for valget af »funktionsjordskælvet«. Undersøgelserne omfatter:

- 1) Bestemmelse af de lithologiske, stratigrafiske, hydrologiske og strukturgeologiske forhold på og omkring lokaliteten. Herunder skal områdets geologiske historie belyses.

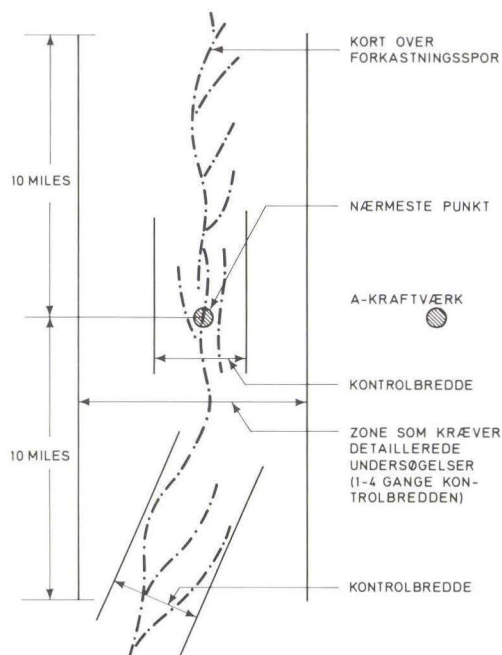


Fig. 1. Skitse visende procedure for afgrænsning af zonen, som kræver detaljerede geologiske undersøgelser forud for opførelse af A-kraftværker.

- 2) Identifikation og vurdering af »tektoniske strukturer« under og omkring lokaliteten, hvadenten disse er blottede eller skjulte. Vurderingen omfatter også de mulige følger af menneskelig aktivitet som f.eks. oppumpning af væsker fra undergrunden.
- 3) Vurdering af de geologiske evidenser for hvorledes materialer og lag under lokaliteten har opført sig under tidligere jordskælv. Vurderingen omfatter de lithologiske, stratigrafiske og strukturgeologiske data, som indgår i pkt. 1.
- 4) Bestemmelse af de statiske og dynamiske ingeniørmæssige egenskaber ved materialerne under lokaliteten. Heri indgår de egenskaber, som er nødvendige for at vurdere materialernes opførsel under jordskælv, f.eks. evnen til at transmittere seismiske bølger, vandindhold, porøsitet og styrke.
- 5) Opregning af alle historiske, registrerede jordskælv, som har påvirket eller med rimelighed kan tænkes at have påvirket lokaliteten. Jordskælv, som kan formodes at have forårsaget en overfladeacceleration på mere end 0.1 g skal inddrages i vurderingen.
6. Hvor det er muligt skal epicentre eller punkter med maximal intensitet for historisk rapporterede jordskælv korreleres med tektoniske

strukturer, hvoraf blot en del ligger indenfor en afstand på 200 miles. Hvor korrelationen ikke kan foretages til »tektoniske strukturer«, skal den foretages til »tektoniske provinser«, hvoraf blot en del ligger indenfor en afstand på 200 miles fra lokaliteten.

7. Forkastninger, hvoraf blot en del ligger indenfor en afstand på 200 miles fra lokaliteten, og som kan have betydning for etablering af »nedlukningsjordskælvet«, skal vurderes m.h.t. om der kan være tale om en »potentielt aktiv forkastning«. I mangel af absolut datering må man anvende relative dateringsteknikker på brud, kipninger eller lignende forstyrrelser af materialer eller geomorfologiske strukturer. Det påhviler ansøgeren at vurdere, om der kan være tale om en »potentielt aktiv forkastning« gennem en passende undersøgelse af de i afsnit III (g) nævnte forhold. Ved bestemmelse af »nedlukningsjordskælvet« skal der tages hensyn til alle »potentielt aktive forkastninger« over en vis længde. Denne længde varierer med afstanden til lokaliteten på følgende måde:

Afstand fra Lokalitet (miles)	Mindste længde af 'potentielt aktiv forkastning' (miles)
0- 20	1
20- 50	5
50-100	10
100-150	20
150-200	40

8. For »potentielt aktive forkastninger«, som ligger indenfor en afstand på 200 miles fra lokaliteten, og som kan være af betydning for »nedlukningsjordskælvet«, skal der foretages bestemmelser af:

- i) Forkastningens længde.
- ii) Forkastningens forbindelse til de regionale »tektoniske strukturer«.
- iii) Arten, størrelsen og den geologiske bevægelseshistorie, specielt det anslåede omfang af den største kvartære dislokation i forbindelse med hvilket som helst jordskælv langs forkastningen.

(b) Undersøgelser af forkastninger: Formålet med de påbudte undersøgelser er at fremskaffe information til bestemmelse af, i hvilket omfang et A-kraftværk skal konstrueres til at modstå forkastningsaktivitet. (Punkterne 1 og 2 er udeladt, idet de nøje svarer til punkter under afsnit (a)).

3. Bestemmelse af geologiske evidenser for overfladenære forkastninger ved eller nær lokaliteten.

4. Alle forkastninger længere end 1000 fod, hvoraf blot en del ligger mindre end 5 miles fra lokaliteten skal bestemmes m.h.t., om der kan være tale om en »potentielt aktiv forkastning«.
5. Opregning af alle historiske jordskælv, som kan have forbindelse med en sådan forkastning.
6. Korrelation af epicentre eller punkter med maximal intensitet for historiske jordskælv med »potentielt aktive forkastninger«.
7. For enhver »potentielt aktiv forkastning«, som er mere end 1000 fod lang, og som ligger indenfor en afstand på 5 miles fra lokaliteten skal følgende bestemmes:
 - i) Længden af forkastningen.
 - ii) Forkastningens forbindelse til de regionale 'tektoniske strukturer',
 - iii) Arten, størrelsen og den geologiske bevægelseshistorie herunder den maksimale kvartære bevægelse.
 - iv) Forkastningens beliggenhed skal fastslås gennem en kortlægning af kvartære forkastningsspor indenfor en afstand på 10 miles, målt i begge retninger fra det punkt på forkastningen, som ligger nærmest lokaliteten.
- (c) Undersøgelser med henblik på seismisk forårsagede flodbølger. (Dette afsnit stiller ikke særlige krav til geologien).

V. Seismiske og geologiske konstruktionskriterier

(a) Ved bestemmelse af konstruktionskriterier m.h.t. jordrystelser i forbindelse med projektering af A-kraftværker, skal der tages hensyn til de potentielle virkninger af jordrystelser forårsaget af jordskælv. Dette skal ske ved en vurdering af områdets seismologi, geologi og ved en vurdering af områdets seismiske og geologiske historie. Det kraftigste jordskælv i områdets »tektoniske strukturer« skal identificeres på basis af historiske jordskælv. Hvis der er »potentielt aktive forkastninger« i området, skal de kraftigste jordskælv med forbindelse til disse forkastninger bestemmes. Dernæst skal det antages, at de derved bestemte jordskælvs epicentre eller punkter for maximal intensitet er beliggende på det nærmeste punkt på den nærmeste »tektoniske struktur« eller »tektoniske provins«. Det jordskælv, som herved kunne tænkes at forårsage de kraftigste jordrystelser betegnes »nedlukningsjordskælv«. I det følgende gives proceduren for bestemmelse af områdets jordrystelser:

1. Bestemmelse af »nedlukningsjordskælv« foregår ved en seismisk og geologisk vurdering på basis af nedenstående undersøgelser.
 - i) Det 'største' eller mest 'intense' historiske jordskælv, som er korreleret med 'tektoniske strukturer' i overensstemmelse med be-

stemmelserne i afsnit IV (a,6) skal bestemmes. Herudover skal man for 'potentielt aktive forkastninger' tage den information i betragtning, som kræves i afsnit IV (a,8) ved bestemmelsen af de største jordskælv. 'Størrelsen' eller 'intensiteten' af jordskælv bestemt på basis af geologiske evidenser kan være større end de største historiske jordskælv. Overfladeaccelerationerne på lokaliteten skal bestemmes således, at epicentrene eller punkterne for maximal intensitet med tilknytning til 'tektoniske strukturer' antages at være beliggende på den nærmeste 'tektoniske strukturs' nærmeste punkt.

- ii) Hvor epicentre eller punkter for maximal intensitet for historiske jordskælv ikke kan relateres til 'tektoniske strukturer', skal man antage, at jordskælvene fandt sted på selve lokaliteten.
 - iii) Hvor epicentre eller punkter med maximal intensitet for historiske jordskælv ikke kan relateres til 'tektoniske strukturer', men kun til en 'tektonisk provins', skal man antage, at jordskælvene fandt sted i det nærmeste punkt til lokaliteten på grænsen til den 'tektoniske provins'.
 - iv) Det jordskælv, som frembringer den maximale overfladeacceleration på lokaliteten, således som det fremgår af ovenstående, kaldes 'nedlukningsjordskælvet'. Dette jordskælvs karakteristika skal bestemmes ud fra mere end ét jordskælv, hvor det er nødvendigt for at sikre, at den maximale overfladeacceleration inden for det relevante frekvensområde er omfattet af undersøgelserne. I tilfælde, hvor forkastninger, som kunne forårsage sådanne rystelser, ligger nær lokaliteten, skal der tages hensyn til 'nedlukningsjordskælvet's' spektralfordeling. For at kompensere for de begrænsede data, der fremkommer som følge af ovenstående procedurer, skal disse data anvendes på en konservativ måde. Den maximale overfladeacceleration skal for hver enkelt fundamentplacering bestemmes med henblik på de underliggende jordlags evne til at transmittere jordskælvsinducerede rystelser.
 - v) Hvor den maximale overfladeacceleration ved 'nedlukningsjordskælvet' er bestemt til mindre end 0.1 g (10 % af tyngdeaccelerationen) skal det antages, at 'nedlukningsjordskælvet' har en overfladeacceleration på mindst 0.1 g.
2. Bestemmelse af »funktionsjordskælvet« skal specificeres af ansøgeren på basis af områdets seismologi og geologi. Hvis der opstår overfladeaccelerationer, som overstiger »funktionsjordskælvet's« specifikationer, skal værket lukkes ned. For at værket kan genåbnes, skal bevilningshaveren overfor myndighederne godtgøre, at der ingen skader

er sket på de indretninger, som er nødvendige for fortsat drift uden unødigt risiko for befolkningens sikkerhed og sundhed. Den maximale overfladeacceleration ved »funktionsjordskælv« skal sættes til mindst halvdelen af »nedlukningsjordskælv«.

(b) Ved bestemmelse af, i hvilken grad det er nødvendigt at konstruere med henblik på overfladenær forkastningsaktivitet, skal værkets placering i forhold til »potentielt aktive forkastninger« undersøges. Det område, indenfor hvilket sådanne forkastninger har forårsaget forskydninger, fastlægges gennem en kortlægning af forkastningsspor omkring lokaliteten. Forkastningssporene kortlægges indenfor en afstand på 10 miles fra det punkt på forkastningszonen, som ligger nærmest lokaliteten. Den maximale bredde af de kortlagte forkastninger – »kontrolbredden« – fastlægges ud fra dette kort. Derefter forøges »kontrolbredden« med en faktor, hvis størrelse er afhængig af, hvor kraftigt et jordskælv der skal regnes med. Indenfor den derved fremkomne »zone for detaljerede forkastningsundersøgelser«, skal mulighederne for forkastningsaktivitet bedømmes. I det følgende er opregnet procedurerne ved bestemmelse af »zonen for detaljerede undersøgelser«:

Bredden af »zonen for detaljerede forkastningsundersøgelser« er afhængig af størrelsen på det maximale jordskælv, der skal regnes med. Sammenhængen fremgår af nedenstående skema:

Jordskælvets størrelse (Richter-skala)	Undersøgelseszonens bredde (multiplum af kontrolbredden)
op til 5.5	1 x
5.5–6.4	2 x
6.5–7.5	3 x
over 7.5	4 x

I tilfælde af, at forkastningerne indenfor den nævnte 2×10 miles zone er dækket af unge aflejringer, kan det være nødvendigt at søge oplysninger om kontrolzonens bredde i en større afstand.

Undersøgelseszonen kan ikke være mindre end en halv miles bred. Til gengæld kan zonen være bredere end ovenfor angivet, hvis geologien tilsiger det. F.eks. vil meget fladt liggende forkastninger kunne begrunde en udvidelse af undersøgelseszonen. Omvendt kan en med meget grundige undersøgelser dokumenteret tredimenssional model af området begrunde en indskrænkning af undersøgelseszonen. Sådanne undersøgelser kan være tæt placerede borer eller tæt placerede geofysiske undersøgelser med høj opløsning. På det sted, hvor forkastningszonen ligger nærmest den valgte lo-

kalitet, skal undersøgelseszonens midtpunkt falde sammen med forkastningscentret (fig. 1).

(c) (Omhandler vurdering af effekter af seismisk inducerede flodbølger).

(d) Bestemmelse af andre konstruktionskriterier:

- 1) Jordbundens stabilitet. (Dette punkt omfatter en række geotekniske forhold, som svarer nogenlunde til de forholdsregler man vil tage ved ethvert andet større byggeri).
- 2) Skræntstabilitet.
- 3) Kølevandsforsyning. Der skal tages hensyn til de geologiske/geotekniske virkninger af en langvarig nød-nedlukning og en sådan nedluknings krav om særlig meget kølevand. Det skal samtidig sikres, at indvindingen af vand til kølesystemerne ikke forstyrres af de samme naturkatastrofer, som værket eventuelt beskadiges af ved »nedlukningsjordskælv«.
- 4) Fjerntliggende anlæg af betydning for værkets sikkerhed skal være konstrueret til at modstå »nedlukningsjordskælv« efter de samme kriterier som selve værket.

VI. Ingeniørmæssig anvendelse af geologiske og seismiske konstruktionskriterier

Afsnittet indeholder en række bygningstekniske anvisninger og krav med henblik på a) jordskælv, b) forkastninger og c) seismisk fremkaldte flodbølger. Det fremgår bl.a., at A-kraftværket skal være sådan konstrueret, at installationer af betydning for sikkerheden ved nedlukning forbliver intakte ved et »nedlukningsjordskælv«. Endvidere skal værket kunne fungere uden unødigt risiko for befolkningens sikkerhed og sundhed i tilfælde af et »funktionsjordskælv«.

RESUMÉ

Loven giver en detaljeret procedure for de undersøgelser, der skal foretages af 1) jordskælv, 2) forkastninger og 3) seismisk inducerede flodbølger i forbindelse med projektering og bygning af A-kraftværker i USA. I artiklen fokuseres især på lovens afsnit om jordskælv og forkastninger. M.h.t. jordskælv skal virkningerne af alle rystelser, som i historisk tid kan formodes at have givet overfladeaccelerationer på mere end 10 % af tyngdeaccelerationen bedømmes i forhold til det foreslåede A-kraftværk. Endvidere skal epicentre for historiske jordskælv relateres til relevante tektoniske strukturer eller provinser indenfor en afstand på 200 miles. Såfremt jordskælvne kan relateres til en bestemt tektonisk struktur (forkastning), skal man antage, at jordskælvne fandt sted på den pågældende tektoniske struk-

turs nærmeste punkt til lokaliteten. Såfremt jordskælvene kun kan relateres til en bestemt tektonisk provins, skal man antage, at jordskælvene fandt sted i det punkt i den pågældende tektoniske provins, som ligger nærmest lokaliteten. Denne procedure skal danne grundlag for beregning af de overfladeaccelerationer, som A-kraftværket kan blive udsat for.

M.h.t. forkastninger og forkastningszoner herunder især forkastninger, som har været aktive indenfor de sidste 35.000 år, eller som har udvist tendens til bevægelser af tilbagevendende natur indenfor de sidste 500.000 år, skal man i en nærmere beskrevet detailleringsgrad kortlægge alle sådanne forkastninger, såfremt blot en del af en sådan forkastning ligger indenfor en afstand på 5 miles fra det projekterede A-kraftværk. Såfremt den planlagte lokalitet eller dens omegn er dækket af aflejringer, der gør det særlig vanskeligt at undersøge forkastningernes alder og strukturelle relationer, kan man søge problemet belyst i andre dele af den pågældende tektoniske provins. Herefter skal det vurderes, hvor kraftige jordskælv disse forkastninger har givet anledning til på lokaliteten.

Dernæst giver loven retningslinier for hvilke seismiske og geologiske konstruktionskriterier, der skal anvendes. Herunder skal især fremhæves proceduren for bestemmelse af det såkaldte »nedlukningsjordskælv«, d.v.s. det jordskælv, som kræver at værket lukkes, men som ikke må kunne forstyrre nødkølesystemet og andre installationer af betydning for langvarig nedlukning af værket. Ligeledes angives en procedure for bestemmelse af »funktionsjordskælv«, d.v.s. det jordskælv, som hverken må kunne forstyrre selve værket eller installationer af betydning for befolkningens sikkerhed og sundhed.

Endelig giver loven retningslinier for, hvordan man ved værkets ingeniørmæssige projektering skal tage hensyn til vikningerne af »funktionsjordskælv« og »nedlukningsjordskælv«.

Kommentarer vedrørende danske forhold

Med hensyn til seismisk registrerede jordskælv kan lovens bestemmelser direkte overføres på danske forhold. Afsnittene om overfladenære forkastninger fokuserer især på begrebet neotektoniske forstyrrelser. Selv om en række neotektoniske forstyrrelser er beskrevet fra Danmark, er kendskabet til landets neotektonik stadig ganske overfladisk. De neotektoniske forstyrrelser, kendt fra Danmark, kan på det foreliggende litteraturgrundlag gøres op i mindst 5 hovedgrupper:

- 1) Jordskælv med relation til velkendte tektoniske provinser eller strukturer.

- 2) Jordskælv med ukendt relation til geologiske strukturer.
- 3) Salttektoniske forstyrrelser forårsaget af Perm- og Trias-saltets flydning.
- 4) Differentialbevægelser relateret til gamle tektoniske strukturer, herunder især forstyrrelser af kvartære lag i Den Fennoskandiske Randzone.
- 5) De regionale niveauforandringer forårsaget af isens bortsmeltning ved slutningen af sidste istid.

Hertil kommer andre neotektoniske forstyrrelser af mere uvis oprindelse som f.eks. de midtjyske spaltedale og søer (Milthers 1916, Kronborg, Bender & Larsen 1978).

Med hensyn til jordskælv registreret i historisk tid er det ikke altid muligt klart at relatere dem til tektoniske strukturer eller provinser. Således synes det særligt kraftige 1904-jordskælv, som havde epicentrum i Oslofjordens munding, at have givet anledning til særligt kraftige rystelser i Den Fennoskandiske Randzone (Harboe 1910) mens epicentret synes relateret til en anden tektonisk provins, nemlig Oslograven (Slunga 1979). Derimod synes en række andre kraftige jordskælv klart relateret til Den Fennoskandiske Randzone (Rosenkrantz 1934, Båth 1956, Gregersen 1979). En række andre og mindre kraftige jordskælv er vanskelige at relatere til nogen bestemt struktur eller provins (Lehmann 1956, Gregersen 1979, Tamrazyan 1969).

M.h.t. neotektoniske forstyrrelser forårsaget af saltstrukturens vertikale bevægelser, således som de finder sted på en række jyske lokaliteter (Madirazza 1968a, b, 1970, 1979, Håkansson & Hansen, 1980), eksisterer der stadig en række uafklarede problemer, som ikke er uden betydning for de anskuelsesmåder, man må anlægge i forbindelse med eventuel projektering af A-kraftværker i nærheden af eller på jyske saltstrukturer.

Neotektoniske bevægelser i gamle tektoniske strukturer eller provinser er kun ganske overfladisk undersøgt i Danmark. I den forbindelse knytter interessen sig især til Ringkøbing-Fyn Ryggen og Den Fennoskandiske Randzone. I disse mere eller mindre forkastningsbestemte strukturer er der for Den Fennoskandiske Randzones vedkommende sandsynliggjort neotektoniske bevægelser (Madsen 1912, Lykke Andersen 1979, Hansen 1980), mens der fra Ringkøbing-Fyn Ryggen endnu ikke foreligger publicerede neotektoniske undersøgelser. De få undersøgelser fra Den Fennoskandiske Randzone viser, at de kvartære bevægelser her er af en sådan størrelsesorden, at de må have givet anledning til jordskælv af en betydelig større intensitet end de registrerede jordskælv fra historisk tid lader antyde.

De regionale niveauforandringer (Mertz 1924), som især har bevirket en

relativ hævnning af Nordjylland, udgør et fundamentalt grundlag for en vurdering af de fleste neotektoniske forstyrrelser i Danmark. Imidlertid tyder meget på, at isobasernes forløb er betydeligt mere kompliceret, end vor nuværende viden tillader at trække dem. Således skal især fremhæves, at det isostatisk hævningsforløb synes at være væsentlig forskelligt på hver sin side af Den Fennoskandiske Randzone (Mörner 1969). Al den stund de regionale isobaser udgør et fundamentalt grundlag for en beregning af mere lokale – og i denne sammenhæng betydeligt vigtigere – uregelmæssigheder (Hansen & Håkansson 1980) er det derfor et vigtigt skridt mod en bedre forståelse af neotektoniske forkastningsbevægelser forårsaget af aktivering af gamle tektoniske strukturer og niveauforandringer forårsaget af saltbevægelser at få et mere detaljeret indblik i den sen- og postglaciale isostasi.

P.gr.a. de kvartære lags relative store tykkelse i Danmark mangler man en oversigtlig fremstilling af eventuelle neotektoniske strukturer. En sådan oversigt kunne indledningsvis fremstilles ved en målrettet geomorfologisk kortlægning af landet f.eks. ved indtegnning af samtlige terrænlineamenter over en vis størrelse og ved geomorfologisk analyse af saltstrukturuområdet.

En sådan kortlægning ville kunne medføre en omtrentlig lokalisering af mulige neotektoniske strukturer, som sammen med de fra litteraturen kendte strukturer skulle undersøges nærmere i tilfælde af projektering af et A-kraftværk i området.

Næste skridt må være en undersøgelse af de åbne profilers tektoniske forhold med henblik på at finde forstyrrelser forårsaget af aktivitet i undergrunden. Her vil problemet oftest være at adskille glacialtektoniske fænomener fra ægte neotektonik. Som regel vil nøjere undersøgelser dog med god sikkerhed kunne fastslå oprindelsen. I denne forbindelse spiller de post- og senglaciale aflejringer en vigtig rolle. Disse aflejringer er ikke forstyrret af isen, og de er derfor specielt egnede til studier af eventuel neotektonisk aktivitet. Interessen retter sig især mod Nordjylland, som ligger i Den Fennoskandiske Randzone, og som har de mest udbredte marine flader. Ved en sådan indsamling af tektoniske data fra kvartære lag, vil den råstofgeologiske kortlægnings anden fase være af stor værdi. I denne fase indgår bl.a. geologisk opmåling af alle tilgængelige profiler, f.eks. i råstofgrave, kystklinter og større udgravningsarbejder. En tektonisk opmåling indgår som standard i disse profilbeskrivelser (Bondesen 1980). Dette kortlægningsarbejde påhviler amtskommunerne, men resultaterne tilgår DGU (jvf. råstofloven af 1977), og det vil således inden for en ret kort årrække være muligt at få et overblik over de kvartære lags tektoniske forhold i Danmark.

I den sammenhæng bør det nævnes, at en systematisk opfølgning og beskrivelse af de midlertidigt åbne profiler, der skabes i forbindelse med an-

læg af et transmissionsnet for Nordsø-gassen med stor sandsynlighed vil træffe en betydelig del af de neotektoniske strukturer, som kan tænkes at eksistere i de neotektonisk set dårligst kendte dele af landet. Alene af den grund vil en beskrivelse af disse profiler være meget værdifuld.

Hertil kommer, at der i de seneste år er udarbejdet en række landsdækkende geologiske temakort, som i en overskuelig form fremstiller en meget stor geologisk datamængde. Blandt disse kort med tilhørende beskrivelser, som er fremstillet af amtskommunerne og DGU i forening, skal især fremhæves de geologiske basisdatakort (jvf. Binzer & al. 1979), kort over prækvartæroverfladens højdeforhold (jvf. Binzer & Andersen 1979), grundvandskemiske temakort (jvf. Knudsen & al. 1979) og morfogenetiske kort (jvf. Hansen, Larsen, Lund & Waagstein 1979). En analyse og sammenstilling af disse korttyper vil kunne føre til en udpegning af en række mulige neotektoniske elementer i den danske undergrund.

Med udgangspunkt i den eksisterende publicerede viden om de strukturelle forhold i de kvartære aflejringer og med henblik på den viden, som i de nærmeste år vil blive fremstillet i en overskuelig form, kan man således umiddelbart pege på 4 arbejdsområder af interesse for en kortlægning af neotektoniske strukturer forud for en eventuel målrettet, detaljeret undersøgelse ved projektering af A-kraftværker:

- 1) Gennemgang og tolkning af eksisterende litteratur og geologiske kort.
- 2) Registrering af afvigelser fra det regionale isobasemønster.
- 3) Analyse af landskabselementer og geomorfologi.
- 4) Åbne profilers tektoniske vidnesbyrd.

Denne type arbejde kan som nævnt ikke stå alene ved eventuel projektering af A-kraftværker, men må følges op med detaljerede undersøgelser bl.a. omfattende boringer og geofysiske undersøgelser. Sådanne undersøgelser må afpasses efter de lokale forhold i forbindelse med en udvalgt lokalitet eller bestemt neotektonisk struktur, som er registreret ved en af de ovennævnte metoder. Her kan især seismiske undersøgelser med stor opløsning tjene til en registrering af strukturernes omfang både lateralt og i dybden. Dette kræver adgang til det nødvendige geofysiske udstyr, ligesom tolkningen af de geofysiske målinger kræver høj datamatkapacitet.

Det bør nævnes, at der allerede foreligger et betydeligt antal geofysiske (især seismiske) undersøgelser, hvoraf en del er frigivet og publiceret i overskuelig form (Baartman i Rasmussen 1978). Disse data er hovedsagelig indsamlet i forbindelse med olie- og gasprospektering og dækker store dele af det danske område.

Afslutningsvis kan det således konkluderes, at den geologiske baggrundsviden, som forudsættes at være tilstede forud for de detaljerede undersø-

geler, i løbet af en kortere årrække vil kunne bringes i en sådan forfatning, at de amerikanske procedurer uden væsentlige ændringer vil kunne bringes i anvendelse herhjemme. Dette forudsætter dog, at de landsdækkende kortlægningsprojekter, som amtskommunerne og DGU er involveret i levnes mulighed for en planmæssig gennemførelse, samt at enkelte mere begrænsede kortlægningsprojekter iværksættes.

Referencer

- Baartman, J. C. 1978: I: Rasmussen, L. B.: Geological aspects of the Danish North Sea sector. – Danmarks Geol. Unders., III. Rk., 44: 85 pp.
- Binzer, K. & Andersen, C. 1979: Eksempel på kort over prækvartæroverfladens højdeforhold. – Danmarks Geol. Unders. Årbog 1978: 119–129, 1 kort.
- Binzer, K. & al. 1979: I: Danmarks Geologiske Undersøgelse: Hydrogeologisk kortlægning af Vestsjællands Amtskommune. Vestsjællands Amtskommune 1979, 160 pp., 13 kort.
- Bondesen, E. 1980: Vejledning i tektonisk beskrivelse af åbne profiler. I: Hansen, J. M. (red.): Vejledning i beskrivelse af råstofgrave. – Fredningsstyrelsen 1980 (i trykken).
- Båth, M. 1956: An earthquake Catalogue for Fennoscandia for the years 1891–1950. – Sveriges Geol. Unders. Ser. C no. 545.
- Gregersen, S. 1979: Earthquakes in the Skagerrak recorded at small distances. – Bull. Geol. Soc. Denmark, 28:5–9.
- Hansen, J. M. 1980: Løsøs Postglaciale udvikling i relation til den Fennoskandiske Randzone. – Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979: 23–30.
- Hansen, J. M. & Håkansson, E. 1980: Thistedstrukturens geologi – et »neotektonisk« skoleeksempel. – Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979: 1–9.
- Hansen, J. M., Larsen, A. R., Lund, E. & Waagstein, R. 1979: B-5 4 cm kort (morfogenetiske kort). Vejledning i fremstilling og forståelse. – Danmarks Geol. Unders. Råstofgeologisk afdeling.
- Harboe, E. G. 1910: Jordrystelserne i Danmark ved det skandinaviske Jordskælv den 23. oktober 1904. – Meddr. dansk geol. Foren., 16: 393–462.
- Knudsen, J. & al. 1979: I: Danmarks Geologiske Undersøgelse: Hydrogeologisk kortlægning af Fyns Amtskommune. Fyns Amtskommune 1979, 72 pp., 19 kort.
- Kronborg, C., Bender, H. Larsen, G. 1978: Tektonik som en medvirkende årsag til daldannelsen i Midtjylland. – Danm. Geol. Unders. Årbog 1977: 63–76.
- Larsen, G., Christensen, O. B., Bang, I. & Buch, A. 1968: Øresund. Helsingør-Hälsingborg Linien. – Danm. Geol. Unders. Rapport nr. 1: 90 pp.
- Lehmann, I. 1956: Danske jordskælv. – Meddr. Dansk geol. Foren., 13:88–103.
- Lykke-Andersen, H. 1979: Nogle undergrundstektoniske elementer i det danske Kvartær. – Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1978: 1–6.
- Madirazza, I. 1968a: Mønsted and Sevel salt domes, north Jutland, and their influence on Quaternary morphology. – Geologische Rundschau, 57: 1034–1066.
- Madirazza, I. 1968b: An interpretation of the Quaternary morphology in the Pårup salt dome area. – Bull. geol. Soc. Denmark, 18: 241–243.
- Madirazza, I. 1970: Landskab of saltstruktur. – Varv, 1:3–11.
- Madirazza, I. 1979: Salt diapirernes betydning for den Kvartære kronologi. – Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1978:7–13.

- Madsen, V. 1917: En kvartær dislokation ved Sundvik tegelbruk i Skåne. – Geol. Fören. Förhandl., 39(5): 597–602.
- Mertz, E. L. 1924: Oversigt over de sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark. – Danm. Geol. Unders. II. Rk., 41: 50pp.
- Milthers, V. 1916: Spaltdale i Jylland. – Danm. Geol. Unders IV. Rk. 1(3):16pp.
- Mörner, N.-A. 1969: The Late Quaternary history of the Kattegat Sea and the Swedish west coast. – Sveriges Geol. Unders. Ser. C, 640: 487 pp.
- Rosenkrantz, A. 1934: Notits vedrørende en Brudlinie i det sydlige Københavns Undergrund. – Meddr. Dansk geol. Foren., 8: 407–410.
- Slunga, R. 1979: Swedish earthquakes and acceleration probabilities. – Försvarets Forskningsanstalt, FOA rapport C 20295–E4, 48 pp.
- Stenestad, E. 1976: Københavnsområdets geologi især baseret på citybaneundersøgelserne. – Danm. Geol. Unders., III Rk., 45: 149 pp.
- Tamrazyan, G. P. 1969: Earthquakes and cosmic conditions in the southern part of Scandinavia. – Bull. geol. Soc. Denmark, 19: 227–235.