



Företagsintern

Rapport

Distribution
Enligt särskild distributionslista
hos DCT

DokumentID 1088189	Version 1.0	Status Godkänt	Reg nr	Sida 1 (9)
Författare Reynir Böðvarsson Björn Lund Hossein Shomali Ari Tryggvason			Datum 2007-09-20	
Granskad av Raymond Munier			Granskad datum 2007-11-27	
Godkänd av Thomas Hornebrant			Godkänd datum 2007-11-27	

Clab - Referensrapport till SAR allmän del kapitel 2 - Aktualiserat underlag för seismologi

Innehållsförteckning	Sida
1. Bakgrund	2
2. Uppdateringar av texten	2
3. Avsnitt 2.7 - Seismologi	3
3.1 Inledning	3
3.2 Regional tektonik och regionala spänningsförhållanden	3
3.3 Jordskalv i Sverige	4
3.4 Jordskalv i Oskarshamnstrakten.....	4
3.5 Sannolikheter för jordskalv i Oskarshamnsområdet	5
4. Referenser.....	8

1. Bakgrund

I samband med en övergripande komplettering av Clabs säkerhetsredovisning 2006/2007 identifierades behov av att aktualisera bland annat avsnitt angående förläggningens platsens seismologiska förutsättningar. SKB gav Institutionen för geovetenskaper på Uppsala universitet i uppdrag att ta fram ett textunderlag med erforderliga referensunderlag. Detta underlag ska därefter tas in i huvudrapporten SAR allmän del kapitel 2 – Förläggningens plats, och denna rapport kommer då att utgöra en första nivå referensrapport till huvudrapporten.

2. Uppdateringar av texten

Texten har omarbetats med utgångspunkt i de senaste 10 årens forskning om seismiciteten i Skandinavien och dess orsaker. SKB rapporten R-06-67 - Earthquake activity in Sweden - har använts vid framtagningen av denna rapport.

Nedanstående referenshänvisningar är till Clab SAR kapitel 2 (reg nr 8/A1-2 den version som godkändes den 2007-06-25 spårbar i dokumentdatabas alladin 2) och ska inte förväxlas med referenshänvisningar till referenser i övriga delar av denna rapport.

Tidigare referenser:

- 2-6 Är kvar.
- 2-7 Är uppdaterad till 2007 och kompletterad med SNSN-katalogen (Bödvarsson et al, 2006)
- 2-8 Är borttagen p g a flera felaktigheter gällande seismiciteten i Skandinavien. Har ersatts med bl a Fjeldskaar et al. (2000), Johnston (1987), Johansson et al., (2002) och Stephansson et al., (2001) som ger en mer modern och komplett bild av seismiciteten och dess relation till t ex landhöjningen.
- 2-9 Har borttagits då diskussionen i det sammanhanget om var förkastningarna är belägna inte är relevant för jordskalvsstatistiken.
- 2-10 Utgått.
- 2-11 Har utgått då den inte går att få tag på.
- 2-12 Är kvar.
- 2-13 Är kvar.
- 2-14 Är kvar.
- 2-15 Har utgått för att den inte går att få tag på samt det felaktiga antagandet om att ett magnitud 4 (eller större) skalv inte kan inträffa närmare Oskarshamn än på 175 km distans.

Nya referenser:

Utöver R-06-67 och som angetts ovan har flertalet referenser relaterade till problematiken att uppskatta jordskalvsrisker i områden med låg seismicitet i allmänhet och den Skandinaviska skölden i synnerhet tillkommit. Det bör noteras att i tabellerna 1-3 som är modifierade efter R-06-67, har samma b-värde som för Forsmark använts då motsvarande värden för Simpevarp är mer osäkra.

Skillnaden förväntas inte vara stor, men då statistiken förväntas bli bättre inom de närmaste åren bör beräkningarna göras om med ett b-värde för Simpevarp när mer tillgängliga data finns.

3. Avsnitt 2.7 - Seismologi

3.1 Inledning

Ett jordskalv är en hastig rörelse längs ett sprickplan. Skalvet alstras av spänningar i jordskorpan, som regel på grund av långsamma deformationer under lång tid men även hastiga förlopp, som att fylla en nybyggd damm, kan orsaka jordskalv. När spänningarna byggts upp till den gräns där friktionen på sprickan inte längre förmår stå emot är jordskalvet ett faktum. Jordskalv sker som regel på redan befintliga sprickor eller sprickzoner eftersom berggrunden innehåller ett stort antal sprickor med olika orientering och det är spänningsmässigt lättare att förskjuta en redan existerande spricka än att skapa en ny.

Hur ”stort” ett jordskalv är beror på flera omständigheter som sprickplanets yta, förskjutningens storlek och bergets elastiska egenskaper. Eftersom jordskorpan bara är spröd i sin översta del, och eftersom den delen har en begränsad styrka, finns det gränser för hur stort ett jordskalv kan bli. Det största skalv som uppmätts hade en (Richter) magnitud på 9.5 och därmed en förskjutning på några tiotals meter längs en förkastning med flera hundra kilometers längd och tiotals kilometers bredd (djup).

Jordskalv har bara observerats instrumentellt under ca 100 år. Denna korta observationstid utgör i många områden med låg frekvens av stora skalv, inklusive Sverige, ett problem för uppskattningen av jordskalvsrisk. Man har dock hunnit observera ett tydligt samband mellan jordskalvens magnitud och deras antal, en magnitudens ökning motsvarar ca en faktor tio färre i antal skalv.

Sambandet, som kallas Gutenberg-Richter-sambandet, används flitigt i alla bedömningar av jordskalvsrisker.

3.2 Regional tektonik och regionala spänningsförhållanden

Den övervägande delen av världens jordskalv sker längs längs kanterna på de stora tektoniska plattorna. Sverige ligger långt ifrån en plattgräns, den närmaste är den Mittatlantiska ryggen, och är därmed att betrakta som ett område med låg seismisk aktivitet. Dessutom ligger Sverige på en mycket gammal och stabil del av jordskorpan, den s.k. Baltiska skölden, vilket gör att aktiviteten generellt sett är lägre än i motsvarande yngre områden. Det är därför högst osannolikt att Sverige skulle drabbas av ett stort, magnitud 8-9, jordskalv på den tidsskala som är relevant här (100 år).

I Sverige dominerar spänningarna på jordskalvsrelevant djup, under ca 1 km, av tektoniska spänningar från den Mittatlantiska ryggen, något som observerats både seismiskt [14] och i djupa borrhål [11, 17]. Närmare jordytan visar både wireline- och overcoringmätningar att spänningstillståndet kan variera betydligt både i storlek och i riktning, men att det ändå finns en tendens till att båda de horisontella spänningarna är större än den vertikala [17].

Landhöjningen är Sveriges dominerande deformationsprocess med vertikala rörelser upp till en dryg centimeter per år [6]. Trots de stora rörelserna påverkar landhöjningen inte spänningstillståndet i jordskorpan i någon större utsträckning eftersom den vertikala rörelsen sker utan motstånd.

Plattekoniken dominerar spänningsbilden, vilket visas tydligt i analysen av svenska jordskalvs fokalmekanismer [14]. Landhöjningens effekt som utlösare av jordskalv har diskuterats flitigt [t ex 4, 5], och är ännu utan definitivt svar.

3.3 Jordskalv i Sverige

I Sverige förekommer ytterst sällan jordskalv som skadar byggnader eller andra konstruktioner. Små jordskalv sker dock dagligen [1] och på en längre tidsskala är det inte osannolikt att ett större skalv kan inträffa. Det förekom M8 skalv i norra Skandinavien i samband med ishavsmältningen för cirka 9000 år sedan. Det senaste stora skalvet i Sverige hade magnitud Ms 5.5 och skedde vid Kosteröarna 1904. Detta är det största kända skalvet i Sverige, både från historiska [18] och instrumentella [1, 3, 14] källor. I och med den låga seismiska aktiviteten behövs mycket lång (hundratals år) observationstid för att fullständigt kartlägga jordskalvens beteende. Då detta inte är möjligt för en bedömning av seismisk risk idag krävs istället en förnuftig extrapolation av existerande seismiska och deformationsrelaterade data.

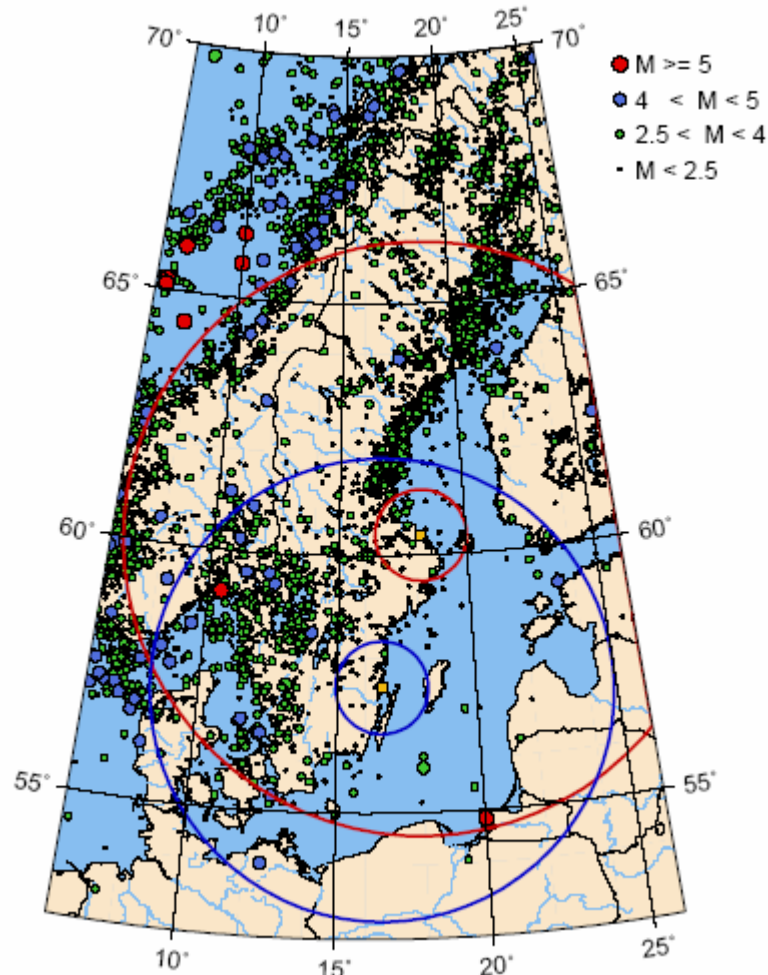
Den seismiska aktiviteten i Sverige visar betydande geografisk variation, se Figur 1. Aktiviteten är högre i sydvästra Sverige och längs Norrlandskusten än i sydöst och i Norrlands inland. Dessutom visar de postglaciala förkastningarna i norra Sverige en betydande seismisk aktivitet. Möjligheten att detektera små skalv har ökat dramatiskt sedan det nya Svenska Nationella Seismiska Nätet (SNSN) [2] togs i drift under år 2000. Idag identifieras och analyseras cirka tre jordskalv per dag i Sverige.

3.4 Jordskalv i Oskarshamnstrakten

Som framgår av Figur 1 har sydöstra Sverige haft mycket låg seismisk aktivitet under det senaste århundradet. Detta gör att en statistisk analys av jordskalvsfrekvensen i området runt Oskarshamn blir mycket osäker. Eftersom mycket dessutom tyder på att det finns betydande episodicitet i den svenska seismiska aktiviteten [7, 14] är det oklart om det relativa lugnet i sydöstra Sverige är ett bestående fenomen. Inga postglaciala förkastningar har emellertid påträffats i Oskarshamntrakten [8, 9, 10].

I [1] analyserades SNSN- och Helsingfors-katalogerna [3], efter att magnitudskalorna homogeniserats, i cirklar med radie 650 km runt Forsmark och 500 km radie runt Oskarshamn. Endast det instrumentella datat från 1904 i Helsingforskatalogen användes. Man fann att b-värdet, lutningen på Gutenberg-Richer fördelningen, var lägre för SNSN datat än för det nordiska datat från Helsingforskatalogen med cirka 0,2 enheter. För Forsmarkområdet var $b_{SNSN} = 0,75$ och $b_{FENCAT} = 0,97$ och för Oskarshamnsområdet $b_{SNSN} = 0,60$ och $b_{FENCAT} = 0,87$. De två katalogerna överlappar bara över en magnitudenhet eftersom det finns få skalv över magnitud 3 i SNSN datat och få skalv under magnitud 2 i Helsingforsdatat. Skillnaden i b-värde beror förmodligen också på att SNSN-katalogen bara spände över sex år och att den geometriska fördelningen av stationer i Norden varit mycket ojämn och variabel sedan 1904. Även tidsvariationer i aktiviteten spelar sannolikt en roll. B-värdena i [1] är generellt något lägre än de som rapporterats av [7] som använde Helsingforskatalogen från 1375–1989 och erhöll $1,04 \pm 0,05$ för Sverige söder om sextionde breddgraden. I [12] fanns $b = 0,8$ för området runt Väneren, i [13] uppskattades b-värden mellan 0,8 och 1,1 för områden runt Barsebäck och Ringhals och i [16] rapporterades $b = 0,75$ för sydligaste Sverige, söder om 56,5 latitud.

Att analysera ett mindre område runt Oskarshamn, med radie 100 km, är statistiskt osäkert men gjordes i [1]. Resultatet indikerar att runt Oskarshamn kan frekvensen av magnitud 5 skalv vara en faktor 2-3 lägre än generellt i södra Sverige. Det framhölls dock att det resultatet innehåller stora osäkerheter.



Figur 1: Seismisk aktivitet i Sverige med närområde mellan 1904 och 2007 [1, 3]. Oskarshamn och Forsmark är utmärkta med kvadrater och cirkelarna visar 100 km och 500 km avstånd till Oskarshamn och 100 km och 650 km avstånd till Forsmark. Magnituderna i Helsingforskatalogen har homogeniserats för att överensstämma med SNSNs magnituder enligt [16]. Notera att katalogerna ej är kompletta för Tyskland, Polen eller de Baltiska länderna.

3.5 Sannolikheter för jordskalv i Oskarshamnsområdet

Som synes är osäkerheterna i b-värdesbestämningen stora och därför baseras analysen i [1] av sannolikheten för jordskalv i Oskarshamnstrakten på data från större delen av Sverige (650 km radie runt Forsmark) och delar av Finland och Norge. Där exkluderas dock den relativt höga aktiviteten längs den norska kusten eftersom det är oklart om den följer samma mönster som den svenska aktiviteten. Skälet till att [1] inte här använder data från ett område runt Oskarshamn är att SNSN inte haft stationer igång i sydvästra Sverige mer än ett drygt år och därför användes hellre de större datamängderna från norra Sverige. Detta kommer naturligtvis att påverka resultatet men i dagsläget är det oklart hur signifikanta skillnaderna mellan norra och södra Sverige är. I [1] erhöles en Gutenberg-Richter fördelning som spänner fem magnitudsteg och ett b-värde = 0,81. a-värdet bestämdes till 2,63 med enhet tiologaritmen av antal skalv per år.

Det relativt låga b-värdet gör att man överskattar antalet stora skalv relativt antalet små skalv jämfört med studier som använder ett b-värde runt 1.

Med den metodologi som beskrivs i [1] har sannolikheter för att jordskalv med en viss magnitud ska inträffa inom ett visst avstånd från Oskarshamn under en viss tidsperiod beräknas. Resultaten för 100 km och 10 km radie från Oskarshamn visas i tabellerna 1 och 2. Av 100 km tabellen framgår att sannolikheten för ett magnitud 5 skalv inom 1 000 år relativt stor, 61 %, och att sannolikheten för ett magnitud 6 skalv, 14%, inte är försumbar. Om radien minskas till 10 km faller sannolikheterna för magnitud 5 och 6 skalven till 0,9 % respektive 0,15 %.

M	T	t=10	t=20	t=30	t=50	t=100	t=1 000
3	27	31.3	52.8	67.5	84.7	97.7	100
4	168	5.77	11.2	16.3	25.7	44.8	99.7
5	1061	0.94	1.87	2.79	4.60	8.99	61.0
6	6696	0.15	0.30	0.45	0.74	1.48	13.9
7	42250	0.02	0.05	0.07	0.12	0.24	2.34
8	266579	.004	0.01	0.01	0.02	0.04	0.37

Tabell 1: Sannolikheter i procent för jordskalv inom ett avstånd på 100 km (med $b=0.8$). M är skalvets magnitud, T är den förväntade tiden mellan två skalv (återkomsttiden), och t är exponeringstiden, båda i år (från [2]).

M	T	t=10	t=20	t=30	t=50	t=100	t=1 000
3	2666	0.37	0.75	1.12	1.86	3.68	31.3
4	16820	0.06	0.12	0.18	0.30	0.59	5.77
5	106127	0.01	0.02	0.03	0.05	0.09	0.94
6	669617	.002	.003	.005	.008	0.01	0.15

Tabell 2: Sannolikheter i procent för jordskalv inom ett avstånd på 10 km (med $b=0.8$). M är skalvets magnitud, T är återkomsttiden, och t är exponeringstiden, båda i år (från [2]).

Dessa sannolikheter kan överföras till det förväntade medianavståndet till ett skalv av en viss magnitud under en viss tidsperiod [2]. Tabell 3 visar hur medianavståndet ökar med ökande magnitud och minskar med ökande tid. Till exempel kan ett magnitud 5 skalv förväntas inom 230 km vart hundra år och ett magnitud 6 skalv inom 183 km vart tusende år.

M	T=50	T=100	T=250	T=500	T=1 000
3	52	37	23	16	12
4	130	92	58	41	29
5	326	230	146	103	73
6	818	579	366	259	183
7	2 056	1 453	919	650	460
8	5 163	3 651	2 309	1 633	1 155

Tabell 3: Förväntat medianavstånd d (km) till jordskalv med magnitud M och återkomsttid T (år) enligt [2]

3.5.1 Maximala rörelser orsakade av jordskalv

Jordskalv orsakar två typer av deformationer, dels en statisk, permanent deformation av berggrunden och dels en dynamisk, tillfällig, deformation i form av elastiska vågor. Den statiska deformationen avtar relativt hastigt från jordskalvets fokus medan de dynamiska deformationerna fortplantas betydligt längre.

Statiska deformationer

I [1] visades hur de statiska deformationerna på jordytan varierar med djupet för ett jordskalv med magnitud 5 och egenskaper som skalvet i Kaliningrad 2004. Beräkningarna gjordes med en mycket enkel elastisk modell av jordskorpan och utan hänsyn tagen till de variationer i bergets egenskaper som ofta förekommer mycket nära jordytan. På 800 m djup producerar skalvet permanenta deformationer på maximalt 1 cm cirka 1 km från förkastningen, vilket innebär maximala relativa förskjutningar på 2 cm över 2 km. På 3 km djup är motsvarande maximala relativa förskjutning cirka 3 mm över drygt 5 km och för ett skalv på 12 km djup är den maximala relativa förskjutningen cirka 0.25 mm. Ett magnitud 5 skalv på realistiskt djup, under 2 km, ger alltså relativt små statiska förskjutningar. Större skalv ger större förskjutningar, till exempel har några av de postglaciala skalven i norra Skandinavien permanenta förskjutningarna på över 10 m vid jordytan.

Dynamiska deformationer

Den skada seismiska vågor, de dynamiska deformationerna, orsakar på byggnader och konstruktioner beror dels på vågornas amplitud och frekvensinnehåll och dels på konstruktionen i sig och hur den är kopplad till marken eller berget. Traditionellt anger man inom seismologin det fasta bergets rörelse och tar inte hänsyn till ytnära, lösa berg eller jordarter eller konstruktionerna. Det vanligaste måttet på ett jordskalvs skadegörande effekt är den maximala acceleration berget kan utsättas för, så kallad PGA (Peak Ground Acceleration). PGA används explicit i många länders byggnormer och anges ofta som bråkdelar av jordaccelerationen g, 9,81 m/s². Ett annat mått som på senare tid börjat användas av kärnkraftsindustrin i USA är kumulativ absolut hastighet (CAV, Cumulative Absolute Velocity) som är ett integrerat mått och därmed tar hänsyn till att det kan komma flera vågor med hög amplitud.

I [1] uppskattades att ett magnitud 5 skalv med egenskaper som det i Kaliningrad 2004 på 12 km djup ger en maximal ytacceleration rakt ovanför skalvet om 0.05 g i kristallint, kompetent berg. Motsvarande maximala hastighet är 16 mm/s och den relativa dynamiska förskjutningen över 500 m är 0.4 mm, betydligt större än motsvarande statiska förskjutning över samma avstånd. I [19] studerades jordskalvsrisken i Skandinavien med sannolikhetsbaserade metoder och man drog slutsatsen att man med 90 % sannolikhet kan förvänta sig att PGA inte överstiger 0.01 - 0.015 g i Oskarshamnsområdet på 50 år. I [15] beräknades att med sannolikhet 0.01 per år kan PGA nå 0.007 g och med sannolikhet 10⁻⁵ per år kan PGA nå 0.15 g i Oskarshamnstrakten. Enligt [15] är det i huvudsak magnitud 6 skalv som står för de riskerna. Markresponsspektra och utbredningsspektra för sannolikheter 10⁻⁵, 10⁻⁶ och 10⁻⁷ per år finns framtagna i [20]. Specifikt för Simpevarps berggrund anges 15 % lägre påfrestningar [21].

Dessa siffror för sannolikheter för jordskalv och förväntade accelerationer är beroende av vilket b-värde som används. I Tabellerna 1-3 har ett b-värde på 0.8 använts, medan ett b-värde på 0.69 har använts i [15]. Det senare ger något högre sannolikheter, men skillnaderna kan anses befinna sig inom felmarginalerna, vilket diskuterats i inledningen av kap. 3.5.

4. Referenser

- [1] Böövarsson, R., B. Lund, R. Roberts and R. Slunga, Earthquake activity in Sweden – Study in connection with a proposed nuclear waste repository in Forsmark or Oskarshamn, R-06-67, Svensk kärnbränslehantering AB, Stockholm, Sverige, 2006.
- [2] Böövarsson, R. and B. Lund, The SIL seismological data acquisition system - As operated in Iceland and in Sweden, In: Methods and applications of signal processing in seismic network operations, Lecture Notes in Earth Sciences, Springer-Verlag, Berlin, 2003.
- [3] FENCAT: Katalog över jordskalv i Norra Europa, Institute of Seismology, University of Helsinki, Finland, 2007.
- [4] Fjeldskaar, W., C. Lindholm, J.F. Dehls and I. Fjeldskaar, Postglacial uplift, neotectonics and seismicity in Fennoscandia, Quaternary Sci. Rev., 19, 1413–1422, 2000.
- [5] Johnston, A., Suppression of earthquakes by large continental ice sheets, Nature, 330, 467–469, 1987.
- [6] Johansson, J.M., et al., Continuous GPS measurements of postglacial adjustment in Fennoscandia: 1. Geodetic results, J. Geophys. Res., 107, doi: 10.1029/2001JB000400, 2002.
- [7] Kijko, A., E. Skordas, R. Wahlström and P. Mäntyniemi, Maximum likelihood estimation of seismic hazard for Sweden, Natural Hazards, vol. 7, 41-57, 1993.
- [8] Lagerbäck, R., M. Sundh, J-O. Svedlund, Searching for evidence of late- or postglacial faulting in the Oskarshamn region - Results from 2003, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, Sverige, 2004.
- [9] Lagerbäck, R., M. Sundh, S-I. Svantesson, J-O. Svedlund, Searching for evidence of late- or postglacial faulting in the Oskarshamn region - Results from 2004, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, Sverige, 2005.
- [10] Lagerbäck, R., M. Sundh, S-I. Svantesson, Searching for evidence of late- or postglacial faulting in the Oskarshamn region - Results from 2005, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, Sverige, 2006.
- [11] Lund, B. and M.D. Zoback, Orientation and magnitude of in situ stress to 6.5 km depth in the Baltic Shield, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., 36, 169-190, 1999.
- [12] Skordas, E. and O. Kulhánek, Spatial and temporal variations of Fennoscandian seismicity, Geophys. J. Int., 111, 577–588, 1992.
- [13] Skordas, E. and R. Wahlström, Magnitude-frequency relations for site-specific (nuclear power plants) areas in southern Sweden, Tech. Report, Dept. of Seismology, Uppsala University, 1988.
- [14] Slunga, R., The Baltic Shield earthquakes, Tectonophysics, 189, 323-331, 1991.
- [15] Slunga, R., Jordskalvsorsakade markskakningar i Oskarshamn, FOA Rapport, 1978.

- [16] Slunga, R., P. Norrmann and A-C. Glans, Seismicity of southern Sweden, FOA Rapport C 20543-T1, ISSN 0347-3694, Stockholm, 1984.
- [17] Stephansson, O., C. Ljunggren and L. Jing, Stress measurements and tectonic implications for Fennoscandia, Tectonophysics, 189, 317-322, 1991.
- [18] Wahlström, R., A catalogue of earthquakes in Sweden 1375–1890, GFF, 112, 215–225, 1990.
- [19] Wahlström, R. and G. Grünthal, Probabilistic seismic hazard assessment (horizontal PGA) for Fennoscandia using the logic tree approach for regionalization and nonregionalization models, Seismol. Res. Lett., 72, 33–45, 2001.
- [20] SKI Technical Report 92:3, April 1992, SKI Project Seismic Safety Technical Characterisation of Seismic Ground Motions for Probabilistic Safety Analysis of Nuclear facilities in Sweden. Summary Report SEO 06-133, rev 2.
- [21] Engelbrektsson, A., VBB anläggning Report 21007024-1, 1995-09-20, Site-specific ground motion characterisation for Simpevarp and Ringhals.