

CAV-filtrering av seismisk risk enligt SKI 92:3

Markus Stålbom & Sture Andersson

Westinghouse

Syfte

- Lägsta magnitudgräns (Lower bound magnitude) har generellt en betydande påverkan på beräknade UHS-nivåer, speciellt för högre frekvenser.
- SKI 92:3 beaktar momentmagnituder av intensitet 3.93 - 5.93. I många fall anses en momentmagnitud $M = 4.6$ konservativ undre gräns.
- Metod med en lägsta magnitudgräns ger oönskad snedvridning (bias) mot höga riskbidrag från närliggande jordbävningar.
- Att filtrera bort "ofarliga" jordbävningar med CAV-metod ger ett mer korrekt urval.

CAV-filtrering av SKI 92:3 E-6

CAV (Cumulative Absolute Velocity) - Beskrivning

- V. C. Summer i South Carolina (1978 och 1979)
Jämföra det beräknade responspektrat för aktuell jordbävning med OBE-spektrat
Både OBE- och SSE-spektra överskreds i det högre frekvensområdet > 10-15 Hz.
Inga skador kunde noteras
- EPRI NP-5930 (1988) - OBE-exceedance
 - MMI VI som ett mått på den jordbävningsintensitet som kan anses ofarlig för ett kärnkraftverk
 - maximal markacceleration eller PGA = Peak Ground Acceleration, utgjorde ett mycket dåligt mått på en jordbävnings skadepotential
 - CAV-värdet gav bäst resultat när det gällde att på ett tillförlitligt sätt kunna skilja mellan farliga och ofarliga jordbävningar.
 - CAV står för Cumulative Absolute Velocity
- EPRI TR-100082 (1991) – Förbättrad CAV-formulering
 - Markaccelerationens tidsfunktion integreras endast över varje hel sekund som har accelerationsvärden över 0.025 g.
 - Nytt kriterievärde 0.16 g-sek.

$$CAV = \int |a(t)| dt$$

$$CAV = \sum_{i=1}^N H(pga_i - 0.025) \int_{t=t_i}^{t_{i+1}} |a(t)| dt$$

CAV-filtrering av SKI 92:3 E-6

- Övergripande arbetssätt är att utgå från befintligt UHS och applicera framtagen metod av EPRI.
- SKI 92:3 används för att reproducera framtagen UHS för sannolikhetsnivå E-6
- EPRI har arbetat fram en metod för CAV-filtrering som redovisas i rapport EPRI 1014099. Denna metod går att använda för denna utredning.

Ingen metodutveckling

SKI 92:3 – Svensk jordbävning

- Består av en sammanfattande rapport och 5 underrapporter
- Primärt används data från Rapport 1

SUMMARY REPORT

Characterization of seismic ground motions for probabilistic safety analyses of nuclear facilities in Sweden

- Report No. 1: Probabilistic assessment of seismic ground motion characteristics for Swedish hard rock sites.
- Report No. 2: Seismic response spectra for characterization of ground motions in Swedish hard rock.
- Report No. 3: Synthetic time-histories for characterization of ground motions in Swedish hard rock.
- Report No. 4: Characterization of seismic ground motions for Barsebäck NPP.
- Report No. 5: Geological aspects on seismic hazard assessments for the Ringhals and Barsebäck NPP sites.

EPRI 1014099

- Komplet metod för CAV-filtrering



**Program on Technology Innovation:
Use of Cumulative Absolute Velocity (CAV) in
Determining Effects of Small Magnitude
Earthquakes on Seismic Hazard Analyses**

Författare:

- Kelvin L. Merz
- Greg S. Hardy
- Norm Abrahamson
- Jennie Watson-Lamprey

RG 1.208: A Performance-Based Approach to Define the Site-Specific Earthquake Ground Motion, March 2007

Lower-Bound Magnitude Cutoff

Current seismic hazard analysis methods generally utilize a lower-bound body wave magnitude cut-off value for earthquakes to be included in the PSHA. This lower-bound magnitude cut-off level is a conservatively defined value based on research studies whose objective was to estimate the damage potential of smaller earthquakes. Reference 18 establishes an appropriate distribution of low-magnitude earthquakes in the seismic hazard analysis through the use of the cumulative absolute velocity (CAV) model, in place of a lower-bound magnitude cutoff.

Several ground motion measures such as peak ground acceleration, Arias intensity, root mean square acceleration, and CAV were evaluated to determine the single ground motion measure that is best correlated with the threshold of potential damage. The CAV was determined to be the best parameter correlating damage with the Modified Mercalli Intensity Scale, and a CAV value of 0.16 g-sec was found to be a conservative characterization of the threshold between damaging and non-damaging earthquake motions for buildings of good design and construction. An empirical model for estimating CAV in terms of magnitude, peak ground acceleration (PGA), and duration is needed because the PSHA calculation does not use time histories directly.

Reference 18 = EPRI report 1012965 => **EPRI report 1014099**

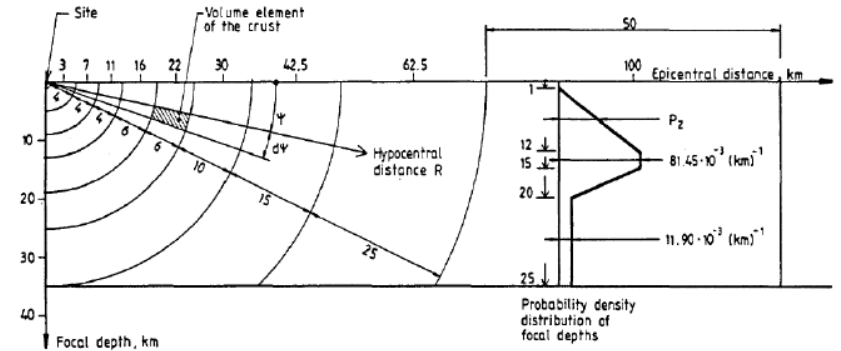
Genomförandet

- Beräkningarna delas in i 3 steg
 - Steg 1: Reproducera PSHA i SKI 92:3
 - Steg 2: Beräkna CAV-värden och deras fördelningar
 - Steg 3: Införande av CAV-filtrering i PSHA

Steg 1: Jordbävningsscenarier

- Utgå från jordbävningsscenarier (M,r) och bestäm händelsefrekvens

M = jordbävningens magnitud
 r = avståndet mellan jordbävningsskällan och anläggningsplatsen

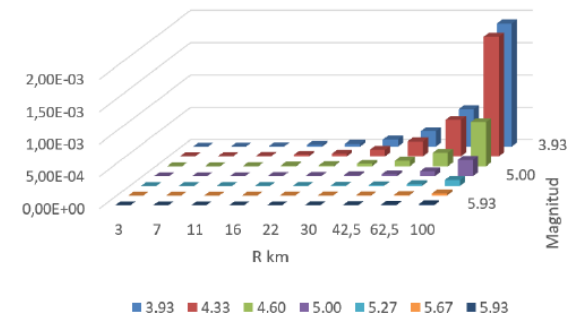


INCREMENTAL RECURRENCE RATE VALUES

R (km)	Seismic moments Mo (Nm)							SUM:
	0.10E+16	0.40E+16	0.10E+17	0.40E+17	0.10E+18	0.40E+18	0.10E+19	
3.0	16	16	6	2	1	0	0	41
7.0	208	202	74	27	10	4	2	527
11.0	851	828	304	112	41	15	9	2159
16.0	3528	3433	1261	463	170	63	36	8955
22.0	5438	5487	2015	740	272	100	58	14310
30.0	14278	13895	5104	1875	689	253	147	36240
42.5	32158	31296	11495	4222	1551	570	330	81421
62.5	78803	76689	23167	10346	3600	1396	809	200011
100.0	258511	251578	92402	33940	12467	4581	2655	656135
SUM:	393991	383424	140828	51727	19001	6982	4047	1000000

SCALE FACTOR = 7.36246E-09
 TOTAL SUM = 7.36246E-03

N(M,R)



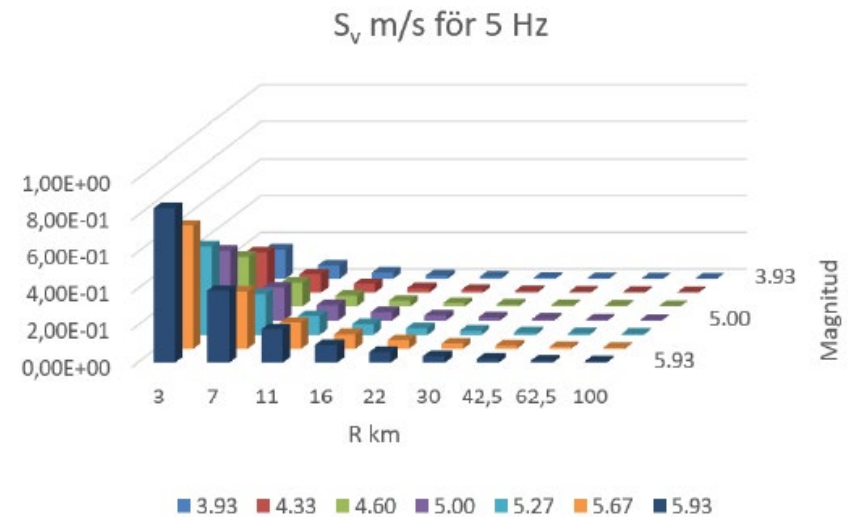
Steg 1: Jordbävningsscenarier

- Bestäm S_a -värde för vart och ett av dem.

M = jordbävningens magnitud

r = avståndet mellan jordbävningsskällan och anläggningsplatsen

S_a = medianvärdet för den spektrala accelerationsrespons som scenariot ger upphov till vid anläggningsplatsen



CHARACTERISTIC SPECTRAL VELOCITY (= MEAN*1.2)
Frequency = 5.00 (Hz)

R (km)	Seismic moments M_0 (Nm)						
	0.10E+16	0.40E+16	0.10E+17	0.40E+17	0.10E+18	0.40E+18	0.10E+19
3.0	0.16	0.22	0.27	0.38	0.48	0.67	0.84
7.0	0.73E-01	0.10	0.13	0.18	0.22	0.31	0.39
11.0	0.34E-01	0.47E-01	0.59E-01	0.83E-01	0.10	0.14	0.18
16.0	0.18E-01	0.25E-01	0.32E-01	0.45E-01	0.56E-01	0.78E-01	0.97E-01
22.0	0.11E-01	0.15E-01	0.19E-01	0.27E-01	0.33E-01	0.47E-01	0.58E-01
30.0	0.67E-02	0.95E-02	0.12E-01	0.17E-01	0.21E-01	0.29E-01	0.36E-01
42.5	0.41E-02	0.57E-02	0.71E-02	0.10E-01	0.12E-01	0.18E-01	0.22E-01
62.5	0.25E-02	0.35E-02	0.43E-02	0.61E-02	0.76E-02	0.11E-01	0.13E-01
100.0	0.15E-02	0.21E-02	0.26E-02	0.37E-02	0.46E-02	0.65E-02	0.81E-02

Steg 2: Beräkning av CAV-värden (& fördelningar)

- Utifrån uppgifter i steg 1 kan man för varje scenario beräkna sannolikheten för att CAV-värdet skall överstiga 0.16 g-sek, vilket alltså är den "andel" av scenariot som är potentiellt skadlig och skall inräknas i den integrerade risken.
- Sveriges berggrund består till övervägande del av den Baltiska Skölden och markrörelseregistreringar med PGA överstigande 0.025g, från vilka man skulle kunna skapa anpassade CAV-modeller, saknas i princip helt.
- Områden som ENA och Canadian Shield anses tillämpliga och använd modell i EPRI 1014099 är kombinerad WUS/CEUS/Canadian data

Steg 2: Beräkning av CAV-värden - grundformel

$$\ln(CAV_{median}) = d_1 + d_2(\ln(PGA) + 2.5) + \frac{d_3}{\ln(PGA)+d_4} + d_5(M - 6.5) + d_6(M - 6.5)^2 + d_7(\ln(V_{S30}) - 6)$$

- CAVmedian = medianvärdet på CAV uttryckt i enheten g-sek
- PGA = Peak Ground Acceleration g m/s²
- M = momentmagnitud
- Vs30 = 1100m/s Skjuvvågshastighet i översta 30 m av berggrunden
- d1 – d7 konstanter som, hämtas från Table 2-5 i EPRI 1014099

Denna formel är direkt applicerbar för beräkning av CAV-värden vid punkten PGA i blivande UHS

Steg 2: Beräkning av CAV-värden – Sa(f) beroende

$$\ln(CAV_{median}) = d_1 + d_2(\ln(PGA) + 2.5) + \frac{d_3}{\ln(PGA)+d_4} + d_5(M - 6.5) + d_6(M - 6.5)^2 + d_7(\ln(V_{S30}) - 6)$$

- Relation mellan PGA och spektrala responsvärdet Sa(f).

$$\ln(PGA_{med}|Sa(f), M, r) = \ln(PGA_{med}(M, r)) + b_1(f)\varepsilon_{sa}\sigma_{\ln PGA}$$

- Standardavvikelse för (ln Sa) och (ln PGA) = 0.3

$$\sigma_{\ln PGA|Sa} = \sqrt{1 - b_1(f)^2}\sigma_{\ln PGA}$$

$$\varepsilon_{sa} = \frac{\ln(Sa(f)) - \ln(Sa_{med}(f))}{\sigma_{\ln Sa}}$$

Steg 3: Införande av CAV-filtrering i PSHA

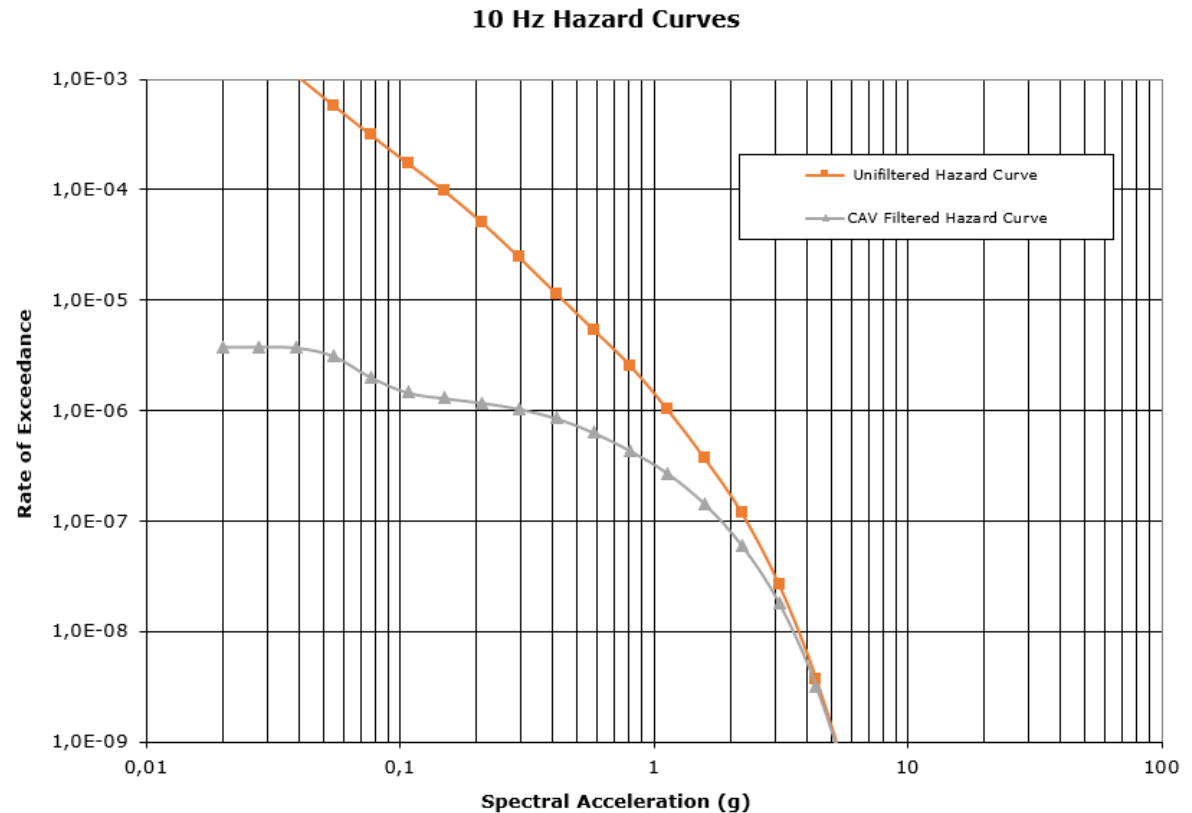
$$v(Sa > z | PGA > 0.025g, CAV > 0.16g - s) =$$

$$\sum_{M_{\min}}^{M_{\max}} \sum_{r_{\min}}^{r_{\max}} \sum_{PGA_{\min}}^{PGA_{\max}} \sum_{Sa=z}^{Sa_{\max}} \left\langle \begin{array}{c} v(M, r)_i \\ P(PGA_1 < PGA_i < PGA_2) P(PGA_i > 0.025g) \\ P(CAV_i > 0.16 | M, V_{S30}, (PGA_i | Sa(f), M, r)) P(Y < Sa_i < Z) \end{array} \right\rangle$$

- CAV-filtreringen inkluderas i vanlig PSHA med två ytterligare delmoment:
 - sannolikheten för att betraktat jordbävningsscenario genererar ett PGA-värde som är större än 0.025g. Den ger antingen värdet 1 (sant) eller värdet 0 (falskt) för PGA-fördelningen
 - sannolikheten för att betraktat jordbävningsscenario genererar ett CAV-värde som är större än 0.16g-sek

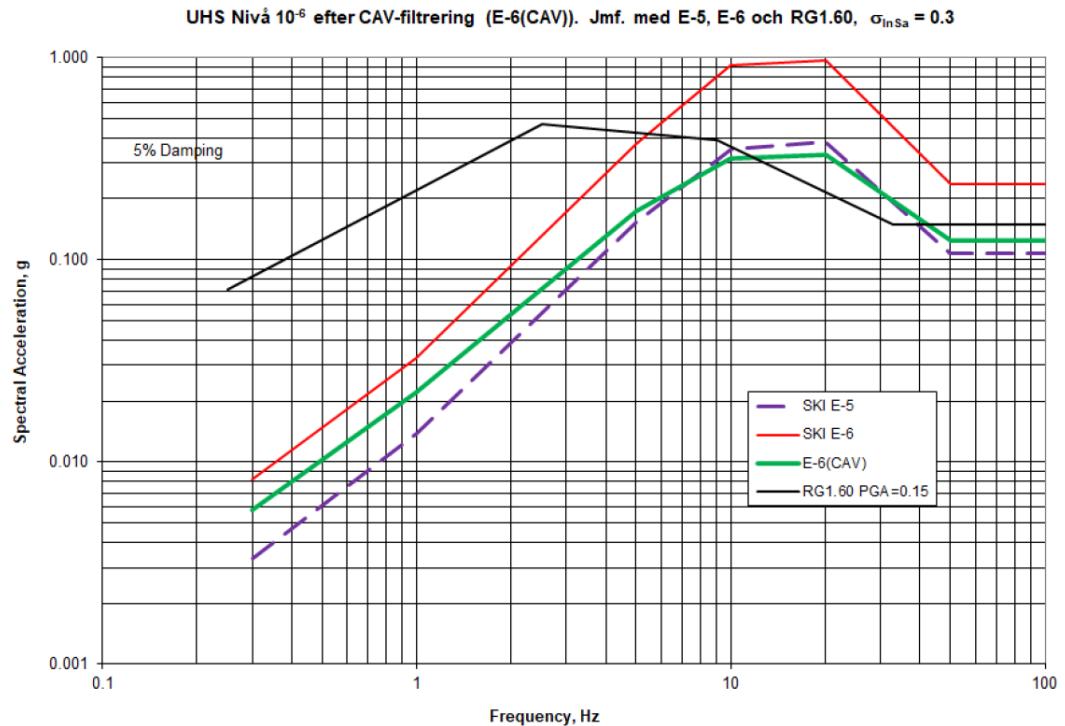
Resultat - Frekvensvisa hazard curves

- Framtagna för 0,3, 1, 5, 10, 20 och 50 Hz
- Kurvorna når inte till $10^{-5}/\text{år}$
- Kurvorna är tämligen flacka i nivå-området runt $10^{-6}/\text{år}$



Resultat – Markresponsspektrum (UHS)

- Jämfört med SKI E-6 (röd heldragen linjen) har responsvärdena sjunkit markant
- Jämfört med SKI E-5 (streckad blå linje), ligger värdena något högre i området under ca. 7 Hz och över 30 Hz.

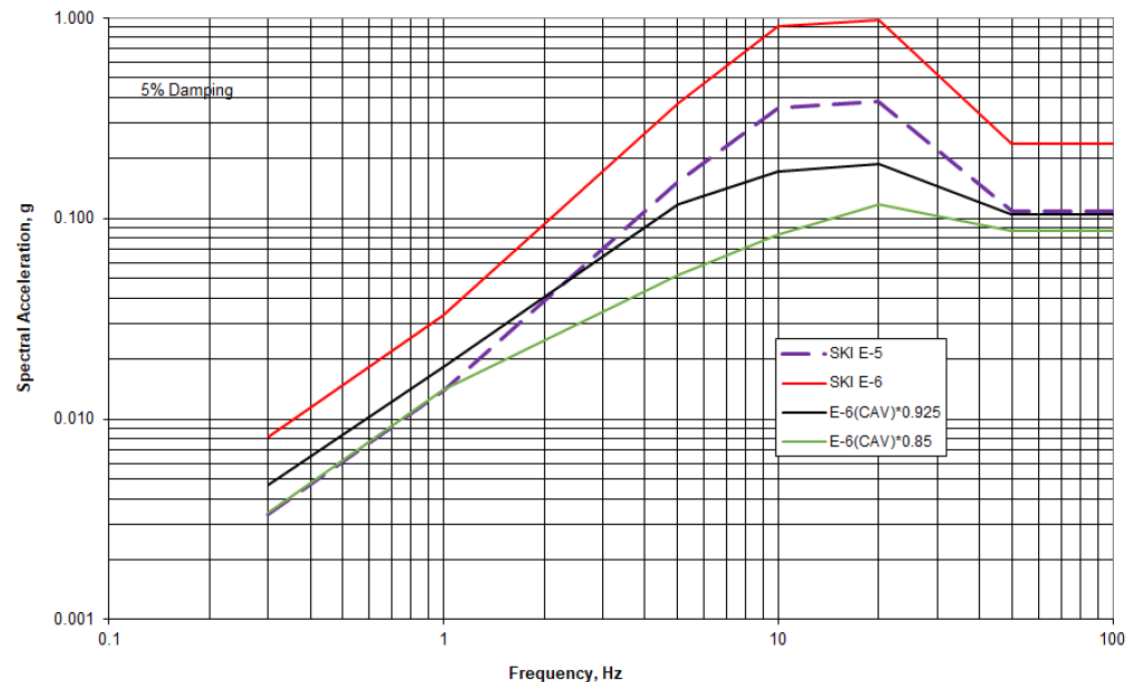


Resultat – Markresponsspektrum (UHS) - Reducerat

VBB rapport 21007024-1, Site-specific ground motion characterization for Simpevarp and Ringhals, VBB Anläggning, september 1995.
Alf Engelbrektsson

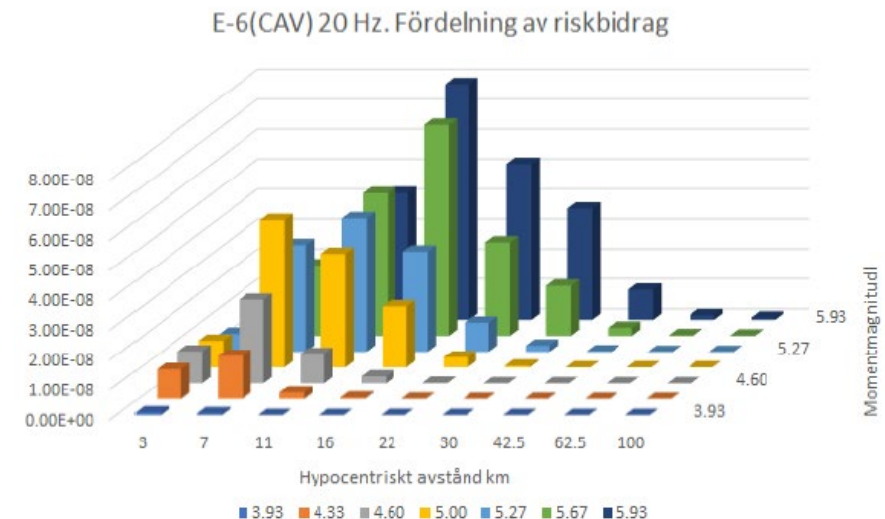
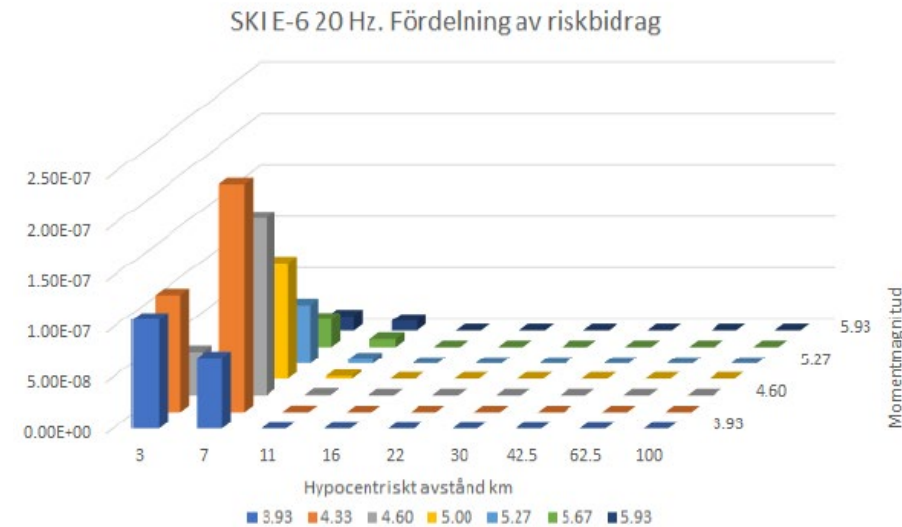
- Responsvärden i PSHA kan reduceras med 15% för Simpevarp
- Innan CAV-filtrering
- Visar att reducerad och CAV-filtrerad E-6 täcks in av SKI92:3 E-5.

UHS Nivå 10^{-6} . Responsvärden reducerade med 7.5 % resp 15 % före CAV-filtrering. $\sigma_{InSa} = 0.3$



Resultat - deaggregation

- Nedbrytning av risken på de olika jordbävningsscenarier som bidragit ger en tydlig bild av inverkan av CAV-filtrering.
- Utan filtrering dominerar närliggande relativt låga jordbävningar.



Summaring & slutsatser

- Val av lägsta magnitudgräns “lower-bound magnitude” har en betydande inverkan för seismisk risk i SKI 92:3.
- Användning av CAV-filtrering visar sig effektivt för att minska bidragen från “ofarliga jordbävningar”.

**Reducerad (0,85 för Simpevarp) och CAV-filtrerad
SKI 92:3 E-6 täcks in av SKI 92:3 E-5**

Tack för visat intresse!

Markus Stålbom

stalbomg@westinghouse.com

021-347769

Sture Andersson

sture.andersson@sa-ing.se

070-5886154