



Analyse van het seismisch risico voor de kanselarij van New Delhi

Torild van Eck

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Technical Report = Technisch Rapport; TR-254

De Bilt, 2003

PO Box 201, 3730 AE De Bilt
The Netherlands
Wilhelminalaan 10
<http://www.knmi.nl>
Telephone +31 30 22 06 911
Telefax +31 30 22 10 407

Author: Eck, Torild van

UDC: 550.34
(540)

ISSN: 0169-1708

ISBN: 90-369-2235-6



Analyse van het seismisch risico voor de kanselarij van New Delhi

Torild van Eck
Afdeling Seismologie, KNMI
Postbus 201
3730 AE De Bilt

June 23, 2003

Analyse van het seismisch risico voor de kanselarij van New Delhi

**Torild van Eck
Afdeling Seismologie, KNMI
Postbus 201
3730 AE De Bilt**

June 23, 2002

Samenvatting

In en rond New Delhi moet men zeker rekening houden met een seismisch risico. In de regio zijn tenminste drie bevingen met $M \geq 6,0$ bekend sinds 1720. Ook worden regelmatig kleinere bevingen gemeten. Helaas weet men nog weinig over de breuken die de bevingen veroorzaken. Ook weet men nog weinig over de mate waarin de seismische golven gedempt of versterkt worden, met name in het gebied rond New Delhi. Dit betekent dat er nog een grote onzekerheid bestaat m.b.t. het bepalen van het seismisch risico. De aanwezige gegevens kunnen weliswaar een grove schatting geven voor het risico, maar gezien deze grote onzekerheden is een conservatieve benadering geboden.

1. Inleiding

Het algemene begrip seismisch risico is opgebouwd uit twee factoren; het is de statistische kans dat krachtige trillingen zullen optreden door aardbevingen (in het engels 'seismic hazard') en het is de factor dat de trillingen aanleiding zijn tot schade, dus de gevolgen van de trillingen (in het engels 'seismic risk'). In dit rapport beschouwen we de kans op krachtige trillingen. De gevolgen van de trillingen voor het ambassadegebouw worden door TNO bouw beschreven.

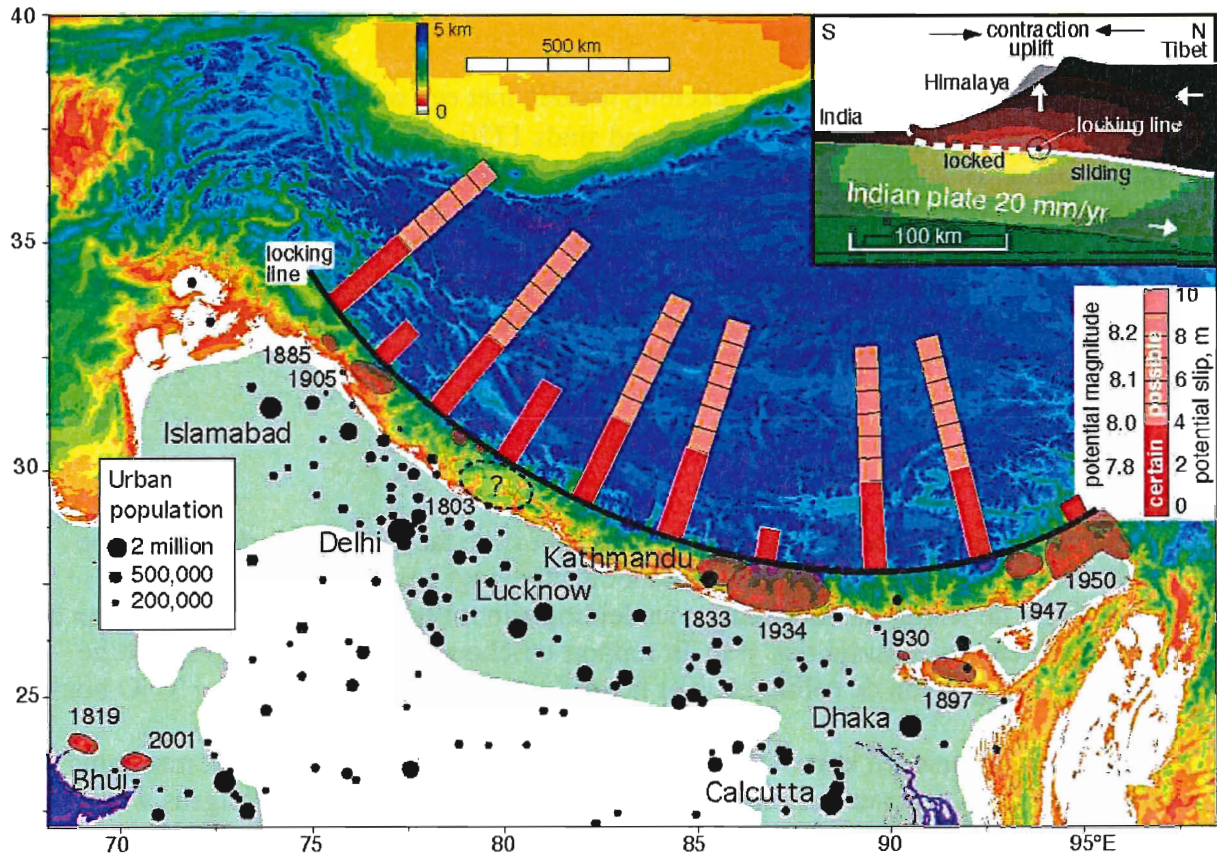
In dit rapport wordt eerst een kort overzicht van de seismiciteit in India gegeven, met name in en rondom New Delhi, en van de bestaande risico- en zoneringskaarten. Vervolgens wordt een eenvoudige risicoberekening gepresenteerd voor verschillende herhalingsperioden met enkele toepassingen die een eerste indruk geven van de onzekerheidsmarge. En tenslotte volgt de conclusie.

Het rapport wordt gecompleteerd met een kort commentaar in Appendix 1 op de aanwezige literatuur aangaande het aardbevingsrisico betreffende de Nederlandse Ambassade.

2. Overzicht aardbevingen in India (relevant voor New Delhi)

Het algemene beeld dat het "continent" India onder de Euro-aziatische plaat schuift met een snelheid van 20 ± 3 mm/jaar (Bilham et al, 2001) is correct. De grote bevingen in het noorden van India zijn dan ook direct gerelateerd aan deze onderschuiving en kunnen zeer krachtig zijn. Bilham et al. (2001) geven hier ook een zekere kwalitatieve schatting aan (Figuur 2.1 en Figuur 2.3).

Bevingen langs de segmenten als aangegeven in Bilham et al. 2001 zullen ook van invloed zijn op het risico in New Delhi, maar in mindere mate dan de matige tot krachtige aardbevingen die in en nabij New Delhi zijn voor gekomen (Iyengar, 2000) (zie ook Figuur 2.2, Appendix 2). De bevingen in en rond New Delhi zijn waarschijnlijk gerelateerd aan minder bekende breuksystemen, die echter zeker met de grootschalige tektoniek in verband staan. Bevingen op dit breuksysteem zullen de meeste invloed hebben op het seismisch risico in New Delhi. Helaas is de kennis over dit breuksysteem veel geringer en daarom zijn de risicoschattingen in grote mate onzeker.

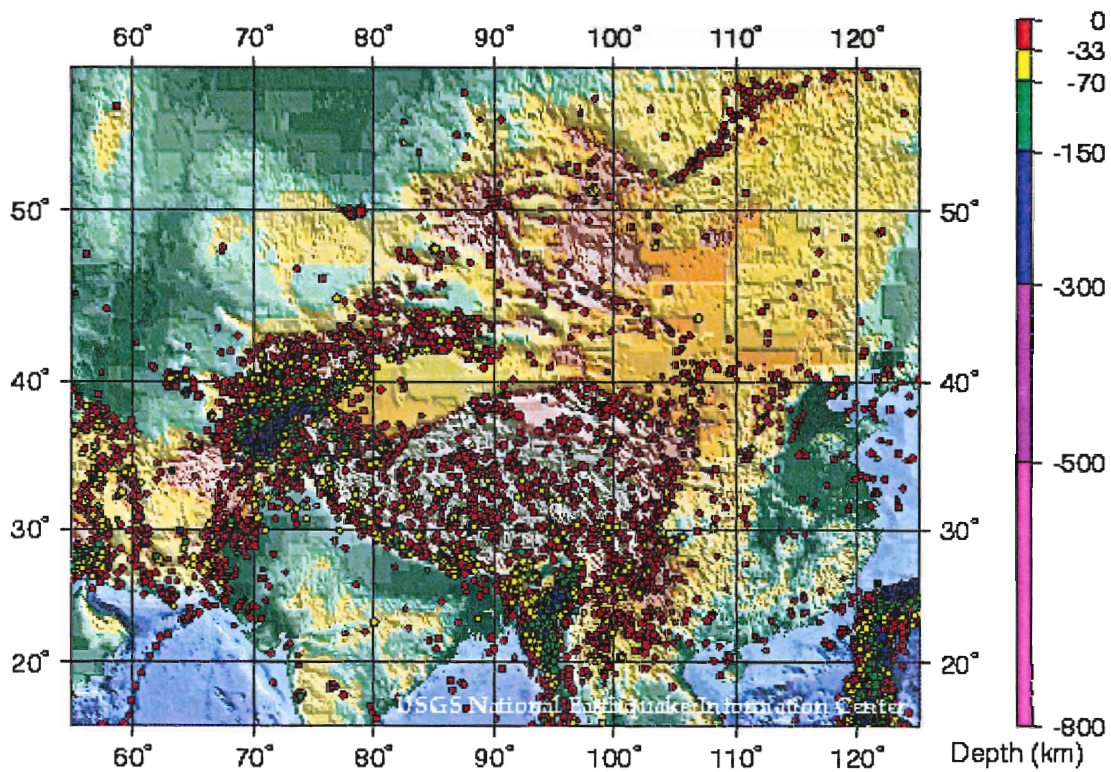


Figuur 2.1 De beweging van de korst onder de Himalaya's is de belangrijkste oorzaak van aardbevingen in Noord-India. Een recente studie van (Bilham et al, 2001) geeft hiervan een samenvatting. Zij gebruiken hier een vereenvoudigd segmentenmodel om het aardbevingspotentiaal langs de Himalayaketten te kwantificeren. Het segment dat overeenkomt met de 1803, $M \approx 8,0$ beving is ook relevant voor New Delhi.

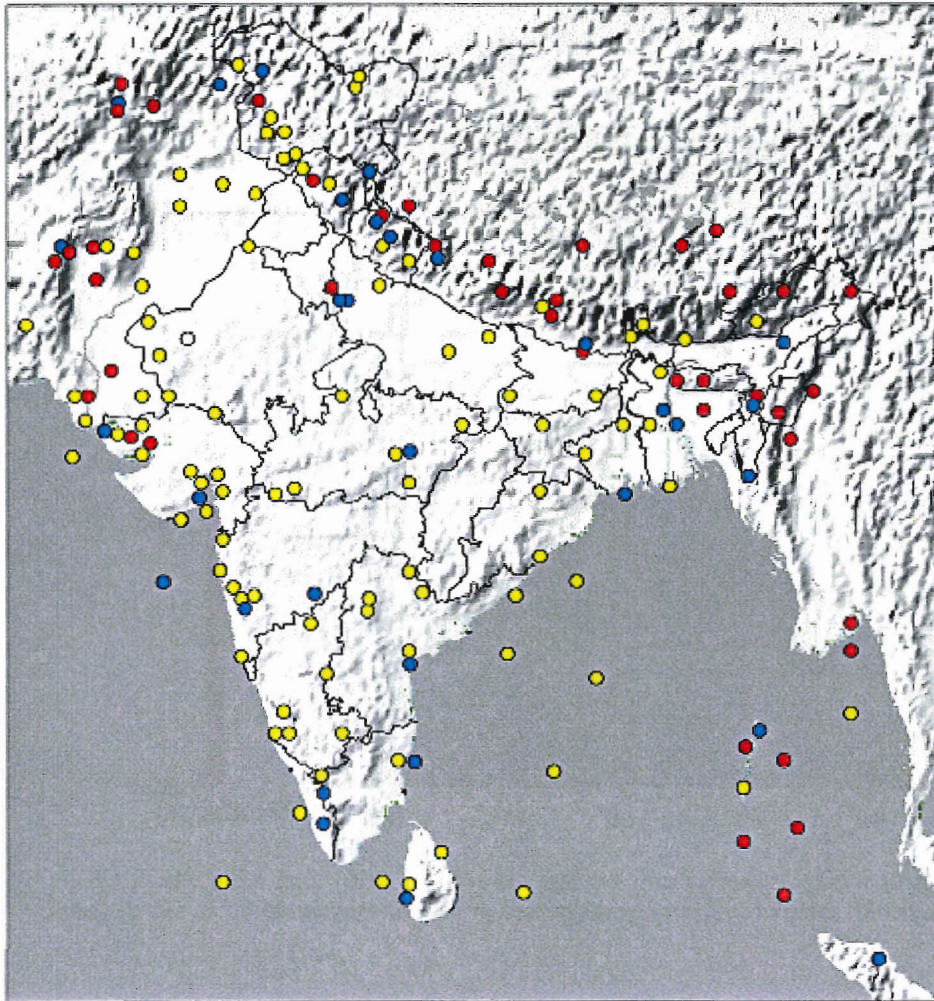
In Appendix I wordt een kort overzicht gegeven van enkele bevingen in en rond New Delhi. De beving van 15/7/1720 was waarschijnlijk de grootste beving die in de meer recente geschiedenis is voorgekomen. De magnitudeschatting loopt van 6,5 (Bhatia et al, 1999) tot 7,4 (Tandon and Srivastava, 1974). Twee andere bevingen in de nabijheid, 10/10/1956 ($M = 6,2$) en 27/8/1960 ($M = 6,0$), bevestigen dat het aardbevingsrisico in New Delhi inderdaad relevant is.

Dus, het risico voor aardbevingen in New Delhi is zeer reëel, maar heeft een grote onzekerheidsfactor omdat bevingen met het epicentrum dicht bij New Delhi op een minder bekend breuksysteem plaatsvinden.

Seismicity of Central Asia: 1977 - 1997



Figuur 2.2. Geregistreerde en door NEIC geanalyseerde bevingen in centraal Azië (bron: NEIC van de US Geological Service). Dit zijn hoofdzakelijk bevingen met magnitude groter dan magnitude 4,5 en van de laatste 50 jaar.

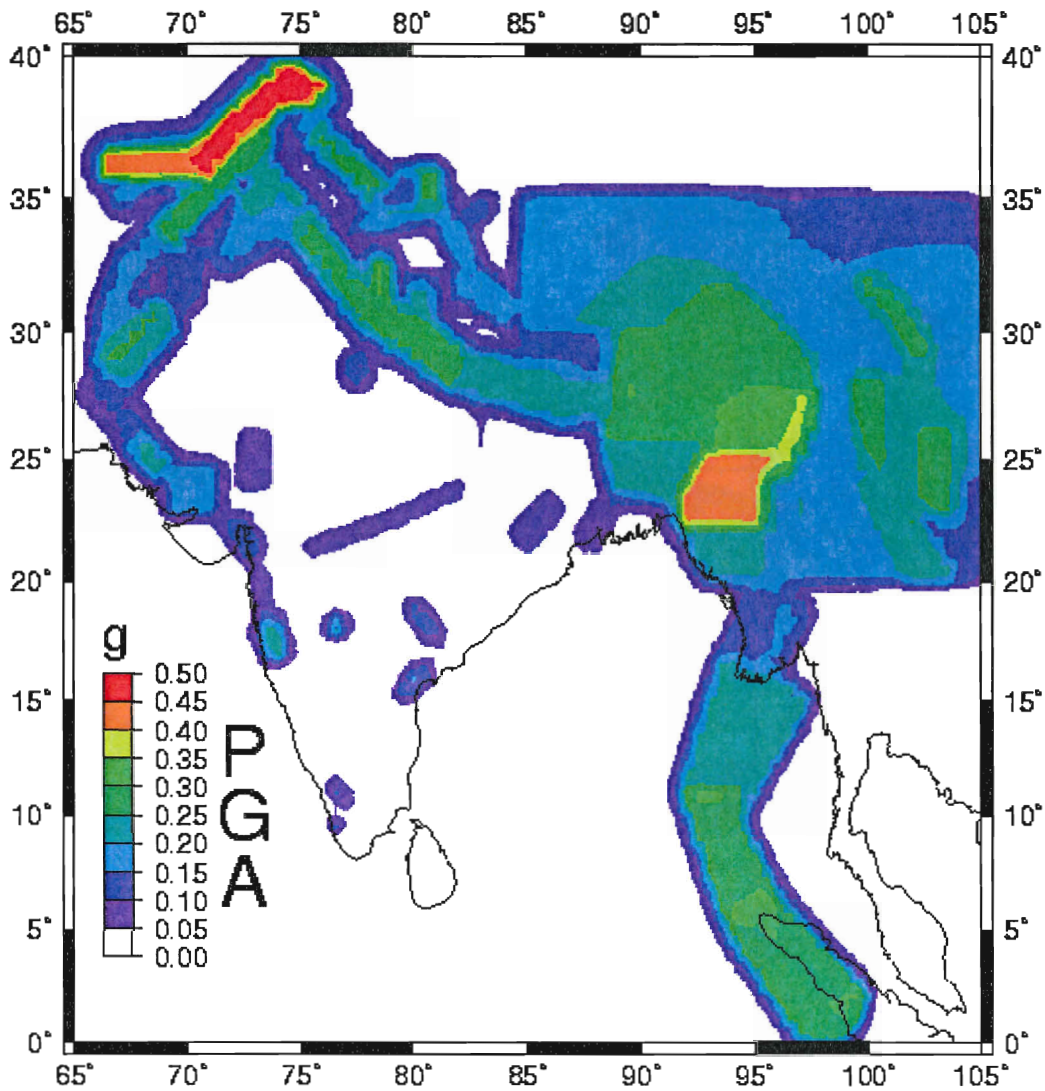


Figuur 2.3. Significante historische en meer recente aardbevingen in India (S. Martin, 2003: <http://asc-india.org/menu/gquakes.htm>). De drie bevingen in en rondom New Delhi zijn die van 15/7/1720 ($M = 6,5-7,4$), 10/10/1956 ($M = 6,2$) en 27/8/1960 ($M = 6,0$). Over de rode ($M \geq 7$) en blauwe ($M < 7$) cirkels is meer informatie beschikbaar op de bovengenoemde site. Over de gele cirkels is slechts weinig informatie beschikbaar.

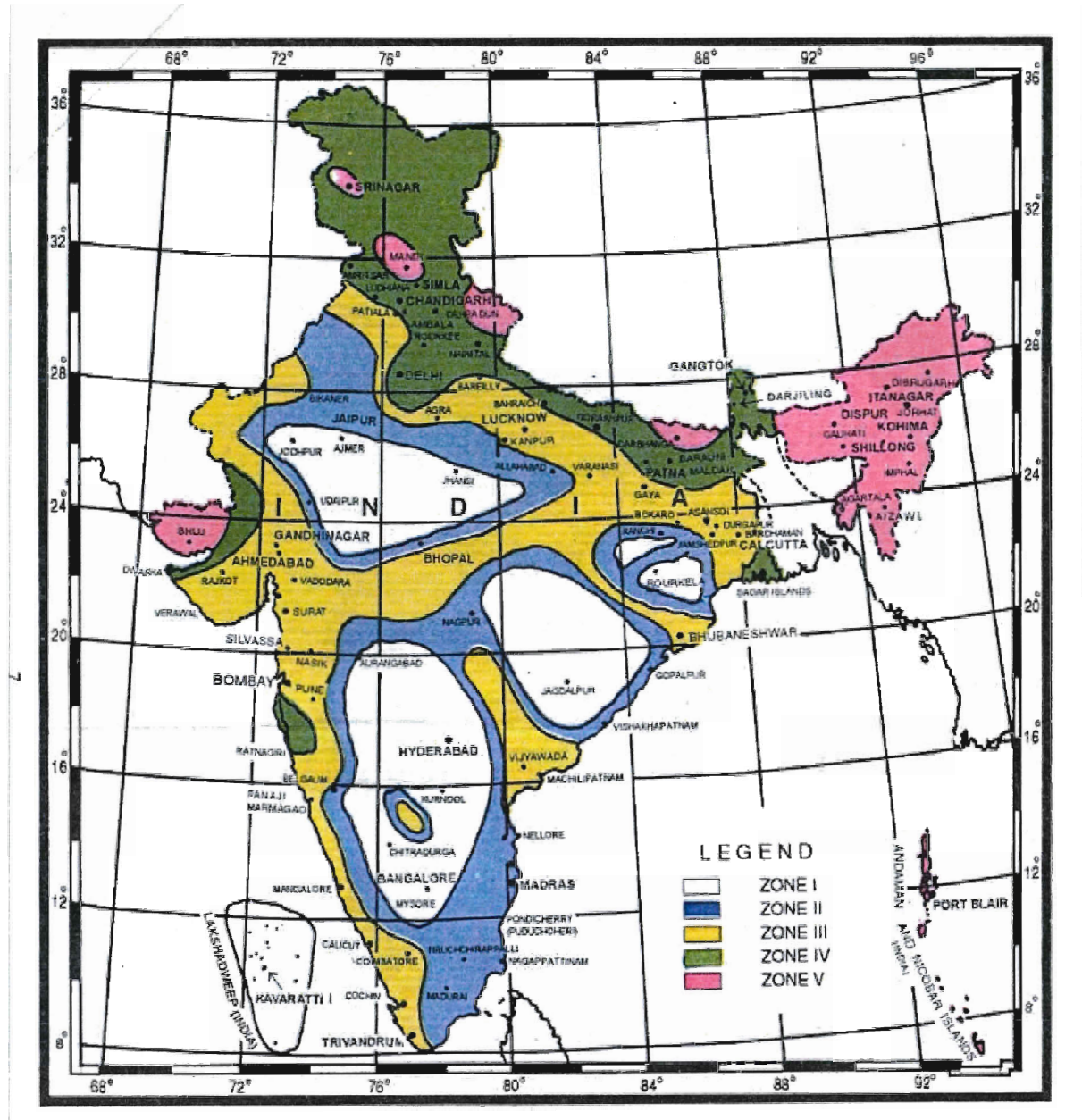
3. Bestaande seismisch risico studies

Het seismisch risico wordt, als eerste benadering, berekend vanuit de bekende seismiciteit (figuur 2.2 en 2.3). De meest recente berekeningen zijn gedaan binnen het zgn. Global Seismic Hazard Analysis Project (GSHAP) door Bhatia et al (1999) (zie figuur 2.4). De geschatte piekgrondversnelling die binnen een bepaalde periode (“return period” = T), bijvoorbeeld 500 jaar, en op een bepaalde plaats overschreden kan worden geeft het seismisch risico aan. Deze piekgrondversnelling fungeert in de Amerikaanse (NEHRP) en Europese codes (Eurocode 8) ook als ankerpunt voor zgn. response spectra voor (probabilistische) dynamische analyses van gebouwen en constructies. Afhankelijk van de toepassingen zijn er ook andere manieren om het risico uit te drukken, maar de boven genoemde methode is het meest gangbaar in de context van deze studie.

Door dit risico te berekenen voor ieder punt kan men risicokaarten produceren voor verschillende herhalingsperioden. Een alternatieve interpretatie van deze kaarten is dat de piekgrondversnelling aangegeven wordt met kans van 10% dat deze overschreden wordt in ongeveer $T/10$ jaar. In ons voorbeeld is dit 50 jaar.



Figuur 2.4. Seismisch risico in India (Bhatia et al, 1999). Hierin is de piekgrondversnelling (Peak Ground Acceleration – PGA) aangegeven, waarvoor men een kans van 10% heeft dat deze wordt overschreden binnen een periode van 50 jaar. Men kan dit ook lezen als de piekgrondversnelling die tenminste één keer in de 500 jaar zal worden overschreden. Deze kaart is gemaakt binnen het zgn. GSHAP project (Giardini, 1999). Voor New Delhi wordt hier een waarde van 0,10-0,15g aangegeven (g is hier de versnelling van de zwaartekracht $\approx 9,8 \text{ m/sec}^2$). Eventuele opslingeringseffecten zijn hier niet in meegenomen.



Figuur 2.5. Seismische zoneringskaart voor India (source: IMD <http://www.imd.ernet.in/section/seismo/>) zoals beschreven in Jain et al. (1994) New Delhi ligt hier in zone IV. Deze zoneringskaart is de huidig geaccepteerde zoneringskaart voor India (Krishna, 1992).

Volgens de algemeen geaccepteerde praktijk in India (Jain et al. 1994) behoort New Delhi tot zone IV in een vijfscalige zoneringskaart (figuur 2.5). Voor iedere zone worden de specifieke seismische coëfficiënt (α_0) en seismische zoneringsfactor (Z) gegeven. Deze zoneringsfactor is gebaseerd op de risicoanalyse van Khattri et al. (1984), die een versnelling van 0,18g aangeeft voor New Delhi. Bij de zone IV hoort echter een zone factor (lees: piek versnelling) van 0,25g (Jain et al, 1994). Momenteel wordt deze zoneringskaart herzien. Interessant is hier dat Bhatia et al, (1999), binnen het globale GSHAP project, een voorstel doen tot een indeling van vier zones gebaseerd op hun seismische risicokaart (figuur 2.4), waar een piekversnelling rond maximaal 0,15g voor New Delhi aangegeven wordt. Hierdoor zou New Delhi in zone II vallen met een zone factor (lees: piekversnelling) van 0,2g.

Site response.

Iyengar (2000) gaat nader in op de “site response” aspecten voor New Delhi en laat zien dat er op bepaalde plaatsen in New Delhi ernstig rekening dient te worden gehouden met opslingeringseffecten. Ove Arup merkt ook op dat er weinig bekend is over de lokale ondergrond (zie Appendix 1). Hier is dan ook rekening mee gehouden in hun funderingsfactor, maar het eventuele opslingeringseffect is hier nog niet in verdisconteerd. Het lijkt ons daarom verstandig om een klein geotechnisch onderzoek te verrichten en te vergelijken met de (preliminaire) bevindingen van Iyengar (2000).

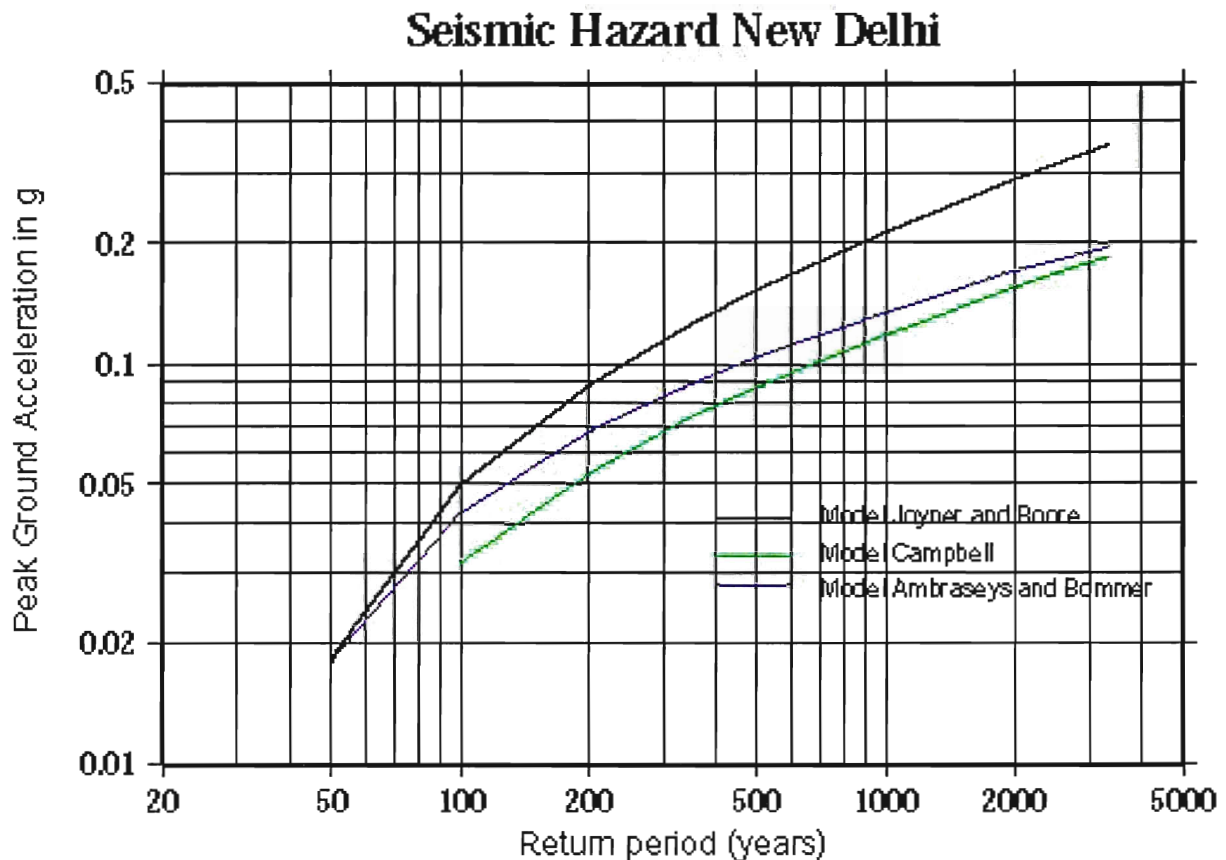
De conclusie uit het bovenstaande is dat een piekgrondversnelling tussen 0,15g en 0,18g correspondeert beter met de bestaande seismische risicoanalyses terwijl de waarde 0,25, zoals Ove Arup and Partners die voorstellen, nogal aan de conservatieve kant moet worden beschouwd. Daarentegen is er weinig bekend over de lokale site response en is er onzekerheid over de demping van de seismische golven. Daarom lijkt de conservatieve waarde die door Ove Arup wordt gehanteerd waarschijnlijk meer geschikt.

4. Statistische analyse aardbevingsgegevens

Teneinde een indruk te krijgen van de onzekerheid van het risico in New Delhi heeft het KNMI een paar eenvoudige risicoschattingen gemaakt gebaseerd op de gegevens van Bhatia et al (1999). Hierbij is een standaard methode van Cornell (1969) toegepast. De onzekerheid i.v.m. het voorkomen van aardbevingen is moeilijk te schatten omdat er te weinig bekend is welke breuken actief zijn en in welke mate. Daarentegen is het wel mogelijk een indruk te geven van de mate van onzekerheid van de demping van de seismische energie van bron tot meetpunt. Hiervoor hebben wij drie empirische golfdempingsrelaties gekozen (Joyner and Boore, 1988; Campbell, 1985 and Ambraseys and Bommer, 1991), die elders ter wereld vaak gebruikt worden. Omdat weinig specifieke lokale kennis beschikbaar is, zijn de drie genoemde dempingsrelaties gebaseerd zijn op talrijke observaties van elders in de wereld. Het resultaat (figuur 2.6) laat een grote variatie zien. Deze waarneming klopt met ervaringen van elders.

De resultaten voor een herhalingsstijd van 500 jaar komen goed overeen met die van Bhatia et al (1999) in figuur 2.4 wanneer wij dezelfde seismiciteitsmodellen en dempingsmodellen gebruiken. We laten hier ook de consequenties zien voor andere herhalingsperioden en andere dempingsrelaties. Het is niet verantwoord om de onzekerheid i.v.m. met de seismiciteit nader te kwantificeren binnen deze eenvoudige studie.

Deze analyse moet gezien worden als een gevoeligheidsanalyse, waarin de invloed van bepaalde onzekerheden worden aangegeven. Een meer uitvoerige analyse ligt buiten de opdracht voor deze studie. Uit deze presentatie willen we echter laten zien dat alleen al één aspect, de demping in de golfvoortplanting, een aanzienlijke variatie in het risico kan veroorzaken. Het KNMI interpreteert dit als een aanwijzing om zoveel mogelijk aan de conservatieve kant van de schattingen te gaan zitten.



Figuur 2.6. Seismisch risico schatting voor New Delhi gebaseerd op het seismiciteitsmodel van Bhatia et al (1999) en het piekversnellings dempingsmodel van Joyner and Boore (1988). Hier wordt de piekgrondversnelling gegeven als functie van de “Return Period” T. Ter vergelijking zijn ook de resultaten voor dempingmodellen van Campbell (1985) en Ambraseys en Bommer (1991) aangegeven. Hiermee illustreren wij dat er ook een aanzienlijke onzekerheid is n.a.v. dempingeigenschappen van de golfvormenergie.

De conclusie van het voorgaande is dat een eenvoudige risicoberekening voor New Delhi voor verschillende herhalingsperioden duidt op grote onzekerheden. Eventuele opslingeringseffecten zijn hier nog niet bij inbegrepen. Gezien de onzekerheden in zowel het seismiciteitsmodel als het dempingsmodel verdient het de aanbeveling om het risico schatting aan de conservatieve kant te houden. Ook op basis van deze eenvoudige studie lijkt de keuze van Ove Arup heel reëel.

5. Discussie en conclusies

Het seismisch risico in New Delhi is zeker aanwezig en kan in redelijke mate worden gekwantificeerd. Met name de bevingen in 1720, 1956 en 1960 zijn duidelijke aanwijzingen, maar er zijn ook eerdere bevingen bekend (zie ook Iyengar, 2000). Helaas weet men nog weinig van de relatie tussen deze waargenomen seismiciteit in en rond New Delhi en de bekende en eventueel onbekende breuken in de regio. Ook de dempingeigenschappen van de ondergrond zijn onvoldoende bekend (Iyengar, 2000). Hierdoor zijn er grote onzekerheden in de risicoschattingen. Het verdient daarom aanbeveling om het risico, de kans op de aangegeven versnellingen, zoals gepresenteerd in figuur 2.6, conservatief te interpreteren. Het lijkt ons zeker de moeite waard om een eenvoudige geotechnisch onderzoek te doen naar de ondergrond direct onder de ambassade. Indien er redenen zijn om opslingeringseffecten te

verwachten, verdient het aanbeveling om dit nauwkeuriger te onderzoeken. Hierdoor kan tenminste deze onzekerheidsfactor geëlimineerd worden.

6. Referenties

- Ambraseys, N.N. and J. Bommer, 1991. The attenuation of ground acceleration in Europe. *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, **20**, 1179-1202.
- Bhatia, S. C., M. R. Kumar and H. K. Gupta, 1999. A probabilistic seismic hazard map of India and adjoining regions. *Annali di Geofisica*, **42**, 1153 – 1164. (includes catalog).
- Bilham, R. and V.K. Gaur, 2000. The geodetic contribution to Indian seismotectonics. *Current Science*, **79**.
- Bilham, R., V.K. Gaur and P. Molnar, 2001. Himalayan Seismic Hazard. *Science*. **293**, 1442-1444.
- Campbell, 1985. Near source estimation of strong ground motion for the Eastern United States. Second Quarter Progress report – FY 1985 to Nuclear Regulatory Commission, 14 pp.
- Cornell, C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **58**, 1503-1606.
- Giardini, D., 1999. The Global seismic hazard assessment program (GSHAP) 1992-1999. Summary Volume. *Annali di Geofisica*, **42**, 6, 957-1230. (<http://seismo.ethz.ch/GSHAP>).
- Iyengar, R.N., 2000. Seismic status of Delhi Megacity. *Current Science*, **78**, 5, pp 568-574.
- Jain, S. K., B. Chandra and D.K. Paul, 1994. India. In: *International Handbook of Earthquake Engineering; codes, Programs and Examples*. Ed. M. Paz. Chapman & Hall, pp 256-276.
- Joyner, W.B. and D.M. Boore, 1988. Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion, in: *Proceedings Earthquake Engineering & Soil Dynamics II*, GT Div/ASCE, Park City, Utah, June 27-30, 1988, 43 – 102.
- Khatti, K.N., A.M. Rogers, D.M. Perkins and S.T. Algermissen, 1984. A seismic hazard map of India and adjacent areas. *Tectonophysics*. **108**, 93-134.
- Krishna, J., 1992. Seismic Zoning Maps for India. *Current Science Association*. Indian Academy of Science. **62**, 17-23.
- Martin, S. Amateur Seismic Centre: <http://asc-india.org>.
- Tandon, A.N. and H.N. Srivastava, 1974. Earthquake occurrence in India: Earthquake Engineering (Jai Krishna Vol). *Sarita Prakashan*, Meerut. pp1-48.

Appendix 1. Evaluatie voorliggende rapportages.

2.1. Seismic hazard

Mahendra Raj Consultants Private Limited. (16/3/1998).

In dit stuk wordt kort een vrij zware beving genoemd.

Onder het hoofdstuk "Geology" wordt genoemd: "Within approximately 25 km South West of Delhi lies an epicentre having magnitude of 6.5 to 7.0".

Conclusie

De vraag is voor welke beving dit geldt. Wanneer en hoe betrouwbaar zijn de locatiegegevens. Khattri et al. (1984) noemt voor het gebied rond New Delhi slechts een beving met een magnitude van rond de 6.

2.2. Seismisch risico

Ove Arup & Partners International Ltd. Consulting Engineers. Job 54682 DO May 1998.

"India, and New Delhi in particular, is subject to major earthquakes."

"New Delhi is located in zone IV. As such, the coefficient is given as 0.05 (remark: the Basic Seismic Coefficient), which appears to correspond to a peak ground acceleration of 0.25g (remark: 10% kans binnen 50 jaar)."

Deze waarde van 0.25g is gebaseerd op Seismische Zonation Factor, F_0 , in Tabel 19.3 van Jain et al. (1994) voor zone IV.

Ove Arup & Partners International Ltd. Consulting Engineers. Job 54682 S-001 29/1/1998.

Op p. 2 in het hoofdstuk 2.1 worden vier grote bevingen in India genoemd. Voor het seismisch risico wordt de NBC-code uit 1983 geciteerd met New Delhi in de op een na hoogste zone, zone IV.

De Weger Architecten en Ingenieursbureau BV. 26/2/1999.

De Weger constateert hetzelfde als Ove Arup en heeft geen verschil van mening omtrent het seismisch risico.

Conclusie

De conclusie van Ove Arup betreffende de toe te passen seismische risicofactor is gebaseerd op de huidige toepasbare zoneringskaart. Dit lijkt in onze conclusie aan de conservatieve kant, maar gezien het aanwezige gebrek aan kennis over de seismiciteit en de golfvoortplantings-eigenschappen is een dergelijk conservatisme aan te bevelen.

2.3. Lokale opslingering ("site response")

Mehndra Raj Consultants Private Limited (20/3/1998). "American Embassy School - Chanakyapuri" General site condition.

In dit stuk wordt de algemene grond conditie gegeven:

"The rock formation in most parts of Delhi shows significant variations in the degree of weathering. The rock varies from fresh unweathered hard quartzite and slightly weathered moderately strong sandstone to very severely weathered sandstone (Murrum) with rock mass effectively reduced to soil with only a few fragments of strong to weak rock remaining" en

"Variation in rock quality degree of weathering occurs over very short distances".

Hier wordt gesuggereerd dat er eventueel significante "site effects" (locale opslinging) kunnen optreden. Aan de andere kant lijkt de -weliswaar niet overduidelijke- sectie voor de Amerikaanse school, die blijkbaar niet ver verwijderd is van de kanselarij, niet te duiden op een zachte laag boven een hardere laag, ofwel een hoog contrast in seismische golf voortplantingssnelheden. Met andere woorden dit zou duiden op een kleine kans dat opslinging zal plaatsvinden.

Conclusie

Mede naar aanleiding van de recente publicatie van Iyengar (2000) is een nadere beschouwing van de lokale ondergrond en de funderingen van de kanselarij aan te bevelen. De hierboven geciteerde studie geeft geen duidelijkheid of men nu wel of niet rekening moet houden met een lokaal opslingingseffect.

Appendix 2

Drie aardbevingen in en rondom New Delhi (bron: Martin, S.: <http://asc-india.org>)

1956 – Khurja (Uttar Pradesh), India, Ms 6.2

Date 10th October 1956

Epicenter: Near Jahangirpur (Uttar Pradesh), India

Latitude: 28.20° N (2)

Longitude: 77.70° E (2)

Origin Time: 15:31:36 UTC / 21:01:36 IST (2)

Magnitude: Ms 6.2 (1)

On 10th October 1956, a strong earthquake shook a wide section of north India, including the capital, New Delhi. It had a magnitude of 6.2 (Ms) and lasted for 30 seconds (3).

It was centered near Jahangirpur in Uttar Pradesh, India or 15.5 kms WSW of Khurja (Uttar Pradesh), India, or 27 kms SW of Bulandshahr (Uttar Pradesh), India, or 40 kms ESE of Faridabad (Uttar Pradesh), India, or 50 kms NW of Aligarh (Uttar Pradesh), India, or 64 kms SE of New Delhi, India.

23 people were killed (4) in the Bulandshahr district and a few injuries were reported in Delhi (3). It hit at 21:02 IST and caused widespread panic. In New Delhi (3), people fled into the open as the quake rumbled through the city. Many were in restaurants and cinemas and outdoors that evening as heavy rains had finally abated after a couple of days. 2 buildings collapsed in Old Delhi and one person was hurt. At Kacha Natwan, a building collapsed. It had only been vacated 6 hours earlier, as it had been deemed structurally unsafe. In the Lal Darwaza, Sidipura and INA colony area in Safdarjung, lampshades cracked and plaster fell. The Reserve Bank building developed cracks. There were cracks on the pillars of the treasury. The mess on Raising Road was also damaged. At Rashtrapati Bhavan (3), the then President of the India, Dr. Rajendra Prasad was with the UN Secretary General, Dr. Jose Maza, were having dinner when the earthquake hit. The building was violently shaken and the chandelier began to swing. All the secretary general, who was from Chile, said was, "We have got experience of quakes in our country."

The shock was felt widely in north India. It was felt (3) for 8 seconds in Jaipur (Rajasthan). In Rajasthan, besides Jaipur, tremors were experienced at Alwar and Dholpur. It was also felt (3) at Aligarh, Kanpur, Meerut, Moradabad and Nagirbagh in Uttar Pradesh, at Patiala in Haryana and in the Union Territory of Chandigarh.

REFERENCES

1) Dasgupta, S., Pande, P., Ganguly, D., Iqbal, Z., Sanyal, K., Venkatraman, N.V., Dasgupta, S., Sural, B., Harendranath, L., Mazumdar, K., Sanyal, S., Roy, K., Das, L.K., Misra, P.S., Gupta, H., "Seismotectonic Atlas of India and its Environs", Geological Survey of India, 2000.

2) Tandon, A.N., and Srivastava, H.N., "Earthquake occurrence in India: Earthquake Engineering (Jai Krishna Vol.)", pp. 1 - 48, Sarita Prakashan, Meerut, 1974.

3) Times of India newspaper archives, Dr. D.N. Road, C.S.T., South Mumbai (Maharashtra), India.

4) Srivastava, L.S., and Somayajulu, J.G., "The Seismicity of the Area Around Delhi", Proceeding of the Third Symposium of Earthquake Engineering, Roorke, pp.417-422, November 1966.

1960 - Palwal (Uttar Pradesh), India, Ms 6.0

Date 27th August 1960

Epicenter: 4.8 kms E of Janauli (Uttar Pradesh), India

Latitude: 28.20° N (4)

Longitude: 77.40° E (4)

Origin Time: 15:58:59 UTC / 21:28:59 IST (4)

Magnitude: Ms 6.0 (2)

On 27th August 1960, a strong earthquake shook a wide section of north India, including the capital, New Delhi. It had a magnitude of 6.0 (Ms).

It was centered 4.8 kms E of Janauli (Uttar Pradesh), India or 9.6 kms NE of Palwal (Uttar Pradesh), India, or 23.3 kms SSE of Faridabad (Uttar Pradesh), India or 47.7 kms SE of Gurgaon (Haryana), India, or 51.7 kms SSE of Connaught Place, Delhi (N.C.T.), India, or 74.2 kms NW of Aligarh (Uttar Pradesh), India or 105 kms NE of Alwar (Rajasthan), India, or 128 kms NW of Agra (Uttar Pradesh), India.

2 people were killed and 100 people were injured (1). 50 of the injuries were in Delhi (3). The earthquake caused extensive damage (1) to buildings in Delhi, Delhi Cantonment, Muhammudpur, Palam and Gurgaon. In the New Delhi Municipal area damage occurred at Irwin, Ashoka, Mahadeo, Talkatora, Fero Shah, Shershah, Hastings Road and in the South and North Avenues. The upper portion of the clock tower at Rashtrapati Bhavan collapsed. Hairline cracks appeared on the Reserve Bank of India, Ashoka Hotel, Janpath Hotel and Eastern Court. In Haryana, at Sohna water discharged at the hot springs was reduced. Damages amounted to Rupees 5 lakh (500,000). Damage, i.e. intensity VI, was also noted at Badshahpur and Najafgarh in Haryana (2). The shock was also felt at intensity V (2) at Ghaziabad and at Ballabgarh in Faridabad.

A repeat of a similar magnitude earthquake in this region would have serious consequences for both Delhi and Faridabad, as both presently have populations in excess of one million.

REFERENCES

1) Bapat, A., "Delhi - Another Ahmedabad?", Indian Express, 3 March 2001.

2) Dasgupta, S., Pande, P., Ganguly, D., Iqbal, Z, Sanyal, K, Venkatraman, N.V., Dasgupta, S., Sural, B., Harendranath, L., Mazumdar, K., Sanyal, S., Roy, K., Das, L.K., Misra, P.S., Gupta, H., "Seismotectonic Atlas of India and its Environs", Geological Survey of India, 2000.

3) Srivastava, L.S., and Somayajulu, J.G., "The Seismicity of the Area Around Delhi", Proceeding of the Third Symposium of Earthquake Engineering, Roorke, pp.417-422, November 1966.

4) Tandon, A.N., and Srivastava, H.N., "Earthquake occurrence in India: Earthquake Engineering (Jai Krishna Vol.)", pp. 1 - 48, Sarita Prakashan, Meerut, 1974.

1720 - Delhi (N.C.T.), India, M 7.4

Date 15th July 1720

Epicenter: Near Red Fort, Delhi

Latitude: 28.66° N (5)

Longitude: 77.25° E (5)

Magnitude: M 7.4 (2), M 6.5 (5)

Max. Intensity: XI (1)

The earthquake that rocked Delhi and the adjoining region on July 15th, 1720, was probably the biggest earthquake in or near the city in recent recorded history. It had an estimated magnitude ranging from 6.5 (5) to 7.4 (2).

The epicentral co-ordinates of this earthquake are thought to be at 28.66° N and 77.25° E. If plotted this would give an approximate epicentral location within 500 meters of Red Fort or 3 kilometres West-South-West of Shahdara (Delhi), India, or 4.3 kilometres North-East of Connaught Place (Delhi), India, or 5 kilometres East of Karol Bagh (Delhi), India.

Kafi Khan (3), recorded an eyewitness account of this earthquake.

"At this very time, i.e. 22nd of the auspicious month of Ramzan, 1132 A.D. on Friday (15th July 1720), after the expiry of the prohibited time of prayer (zavali), when in most of the mosques of Darul Khilafat (capital, i.e. Delhi) the recitation of the Khutba (pre-prayer address) was in progress and people were getting ready for a prayer, a horrible earthquake took place. People were afraid of the noise below the ground, the shaking of the walls, and the cracking of roofs of buildings. During the day and the following night the earth shook with houses, nine or ten times. Though it is well known that the fortification wall and the buildings were destroyed and innumerable people perished in both Shahjahanabad and old Delhi, the writer of this history in order to ascertain the truth mounted on a horse and visited the area with circumspection. He saw with his own eyes that the market road from Kabulgat in the north up to Lal Darwaza in the south had been broken down in several places, and buildings were razed to the ground. The battlemented fortification wall near the entrance gate of Shaharpanah (city wall) was damaged. Three battlements of Fathpuri mosque had also fallen down which killed ten to twelve persons there and many more were wounded. It was noticeable that for one month and ten days afterwards the earth and the buildings trembled four or five times daily and the people got so scared that they did no longer sleep under their roofs. Later on the shocks were reduced but even after that period the earth and buildings vibrated occasionally for the next four or five months and the effects of the earthquake were felt until the arrival of the blessed feet of His Majesty, when the shocks gradually ceased".

The MM intensity (4) of this shock in the felt area, namely old Delhi has been estimated to be XI. The fault, which caused this event, is yet to be identified (1).

REFERENCES

- 1)Iyengar, R.N., "Seismic Status of Delhi Megacity", Current Science, Vol. 78, No. 5, 10 March 2000
- 2) Giardini, D., Grünthal, G., Shedlock, K.M., Zhang, P., "The GSHAP Global Seismic Hazard Map", Annali di Geofisica, Vol. 42, No.6, p. 1225 - 1230, 1999 (Event Catalog).
- 3) Khan, K., "Muntakhab-ul Lubab", M.H., Bibl. India Series, Calcutta (Kolkata), 1874.
- 4) Srivastav, V.K. and Roy, A.K., "Proceedings of the IV Congress, Intl. Assoc. Eng. Geol. 1982", vol. VIII, pp 77-86, 1982.
- 5) Tandon, A.N., and Srivastava, H.N., "Earthquake occurrence in India: Earthquake Engineering (Jai Krishna Vol.)", pp. 1 - 48, Sarita Prakashan, Meerut, 1974.

◀ **KNMI-PUBLICATIE MET NUMMER / KNMI PUBLICATIONS (MISCELLANEOUS)**

- 186-III Rainfall generator for the Rhine Basin: nearest-neighbour resampling of daily circulation indices and conditional generation of weather variables / Jules J. Beersma and T. Adri Buishand
- 186-IV Rainfall generator for the Rhine Basin: multi-site generation of weather variables for the entire drainage area / Rafal Wójcik, Jules J. Beersma and T. Adri Buishand
- 186-V Rainfall generator for the Rhine Basin: description of 1000-years simulations / Jules J. Beersma
- 191 Het KNMI-programma HISKLIM (HISTorisch KLIMaat) / T. Brandsma, F. Koek, H. Wallbrink en G. Können
- 192 Gang van zaken 1940-48 rond de 20.000 zoekgeraakte scheepsjournalen / Hendrik Wallbrink en Frits Koek
- 193 Science requirements document for OMI-EOS / contributions by R. van der A. .. [et al.] **(limited distribution)**
- 194-1 De zonsverduistering van 11 augustus 1999, deel 1: de waarnemingen van het gedrag van flora en fauna / Jacob Kuiper, m.m.v. Guus Kauffeld
- 195 An optimal infrasound array at Apatity (Russian Federation) / Láslo Evers and Hein Haak **(limited distribution)**
- 196-I Rainfall Generator for the Meuse Basin: simulation of 6-hourly rainfall and temperature for the Ourthe catchment / Rafal Wójcik and T. Adri Buishand
- 197 Meteorologie op zee: beknopte handleiding voor waarnemingen op zee [= manual meteorology at sea] **(limited distribution)**
- 198 Projectie van de Elbe-zomerneerslag op de Rijn en Maas : onderzoek naar aanleiding van de recente overstromingen in Midden Europa / J.R.A. Onvlee en G.P. Können (gepubliceerd in samenwerking met Rijkswaterstaat)
- 199-I Droog, droger, droogst : bijdrage van het KNMI aan de eerste fase van de Droogtestudie Nederland / J.J. Beersma en T.A. Buishand
- 200 Aerosol Retrieval and Assimilation (ARIA) : final report / G.H.L. Verver, J.S. Henzing, G. de Leeuw, C. Robles-Gonzales and P.F.J. van Velthoven **(limited distribution)**
- 201 Sciamachy data assimilation 2 / J.F. Meirink, H.J. Eskes, M. van Weele and H.M. Kelder **(limited distribution)**
- 202 MSG cloud products : final report / R.A. Roebeling, A.J. Feijt, R. Dlhopsky and H. Roozenkrans
- 203 Implementation of scatterometer wind processing at KNMI: final report / Ad Stoffelen, Tilly Driesenaar and Jeroen Beysen

◀ **PROCEEDINGS (PR)**

ISSN 1570-9345

- 2002-01 24th EWGLAM and 9th SRNWP meetings: 7-10 October 2002, KNMI, De Bilt / [edited by G. Cats]

◀ **TECHNISCH RAPPORT = TECHNICAL REPORT (TR)**

ISSN 0169-1708

- 237 Tracing water masses in the Atlantic / Yann Friocourt and Siebren Drijfhout
- 238 Klimaat voor Amsterdam Airport Schiphol / A. Smits
- 239 Seismische analyse van de aardbevingen bij Alkmaar op 9 en 10 september en Bergen aan Zee op 10 oktober 2001 / H.W. Haak, B. Dost en F.H. Goutbeek
- 240 EBEX-2000 : the KNMI/WAU contribution / W. Kohsiek, E.W. Meijer, P.J.B. Versteeg, O.K. Hartogensis, H.A.R. de Bruin
- 241 Ontwikkeling gidsvergelijkingen voor meerdaagse neerslagkansen / D. Vogelesang en K. Kok
- 242 On photosynthesis parameters for the A-gs surface scheme for high vegetation / G.J. Steeneveld
- 243 Temperatuurvergelijkingen voor de Middellange Termijn Gids : ontwikkeling en verificatie over 2000 / J. Wijngaard
- 244 Verification of clear-air turbulence forecasts / A. Overeem
- 245 A comprehensive description of the KNMI seismological instrumentation / B. Dost and H. Haak
- 246 Verandering van neerslagkarakteristieken in Nederland gedurende de periode 1901-2001 / A.T.H. Bruin
- 247 Het nachtelijk uur en de kans op stralingsmist / J. Terpstra
- 248 BoWa NL: visie bovenluchtwarnemingen Nederland / S. Tijm, B. Wichers Schreur en H. Klein Baltink
- 249 An investigation of the representative heights for atmospheric motion vectors / R. Dlhopsky and A. Feijt
- 250 New drag formulation in NEDWAM / V.K. Makin and M. Stam
- 251 Analysis of global irradiance measurements from pyranometer and AVHRR / G.J. van Geel, R. Roebeling and A.J. Feijt
- 252 Simulation of present-day climate in RACMO: first results and model developments / Geert Lenderink, Bart van den Hurk, Erik van Meijgaard, Aad van Ulden and Hans Cuijpers
- 253 Het berekenen, verifiëren en corrigeren van radarneerslagsommen / R.M. van Westrheden
- 254 Analyse van het seismisch risico voor de kanselarij van New Delhi / Torild van Eck

◀ **WETENSCHAPPELIJK RAPPORT = SCIENTIFIC REPORT (WR)**

ISSN 0169-1651

- 02-01 Quality control and wind retrieval for SeaWinds / M. Potabella and A. Stoffelen
- 02-02 Shortwave radiation and cloud parameterizations for intermediate complexity models / J.J. Beersma, R. van Dorland and J.D. Opsteeg
- 02-03 Sensitivity study of the residue method for the detection of aerosols from space-borne sensors / M. de Graaf
- 02-04 Assimilation of satellite derived surface heating rates in a Numerical Weather Prediction model / Bart van den Hurk and Han The
- 02-05 On the use of physical and statistical downscaling techniques for NWP model output / Wim de Rooy and Kees Kok
- 02-06 ENVISAT Land Surface processes Phase 2 : final report / B.J.J.M. van den Hurk, Z. Su, W. Verhoef, G. Roerink and L. Jia
- 02-07 Effects of aerosols on UV-index / J. Badosa and M. van Weele
- 02-08 MERCI - Measurement ERROR and Correlation Impact on the atmospheric dynamics mission / A. Stoffelen, P. Flamant, M. Hakansson, E. Källén, G.-J. Marseille, J. Pailleux, H. Schyberg and M. Vaughan
- 02-09 Influence of clouds on the solar radiation budget / H.M. Deneke

