



המכון הגיאופיסי לישראל



משרד התשתיות הלאומיות
המכון הגיאולוגי של ישראל

מפת האזורים החשודים בהגברות שתית * חריגות: דברי הסבר

* מונח הנדסי המשמש לתיאור פני שטח טבעיים בניגוד לתשתית שהינה בסיס מלאכותי (מילוי, מצע כבוש וכד')

זהר גבירצמן ויולי זסלבסקי

מוגש לוועדת ההיגוי להערכות לרעידות אדמה
עבור תקן ישראלי 413

מפת האזורים החשודים בהגברות שתית חריגות מצביעה על שני סוגי אזורים בהם מידת הגברת תנודות הקרקע בזמן רעידת אדמה עלולה להיות גבוהה מהרגיל. (1) אזורים בהם קרקע רכה מונחת ישירות על סלע אם קשה (מסומן במפה בשחור), בהם תופעת הגברת התנודות הסיסמיות מתחזקת במידה ניכרת כתוצאה מכליאת האנרגיה הסיסמית בשכבת הקרקע. (2) אגנים גיאולוגיים צרים ועמוקים (מסומן במפה בקווים אדומים), בהם עלולים להיווצר אפקטים נוספים הקשורים לכליאה של האנרגיה בין קירות האגן לפני השטח, למיקוד גלים לאזורים מסוימים, לריכוז אנרגיה בקרבת קירות האגן, לכיווניות הגלים הסיסמיים ועוד.

לאור החשש הזה החליטה ועדת המומחים של מכון התקנים הישראלי שבאזורים אלו, עבור מבני ציבור חשובים ועבור תכנון אורבני, מקדמי הגברת תנודות הקרקע לצורך תכנון מבנים יקבעו על סמך לימוד פרטני של תנאי התשתית המקומיים ולא על פי מקדמים סטנדרטיים. הדרך המעשית ליישום ההחלטה היא לכלול אתרים החשודים בהגברות חריגות בסוג אתר F , המיועד לחריגים מסוגים שונים והמחייב ביצוע סקר אתר מפורט. בת"י 413 בסעיף 202.2.1א, שנוסף בגיליון תיקון מס' 3 (2009), מפורטים חמישה קריטריונים לסיווג אתר כ F . ארבע הקריטריונים הראשונים המגדירים קרקעות המועדות לכשל פנימי נלקחו מהתקן האמריקני; החמישי התווסף בכדי לתת מענה לאזורים החשודים בהגברות שתית חריגות. נאמר שם, שעבור מבנים מקבוצת חשיבות א' ועבור תכנון אורבני, אתר יסווג כ F , אם הוא נכלל באזורים שבהם לפי המפה הנ"ל יש חשד להגברות שתית חריגות עקב הימצאות סלע קשה מאוד בבסיס או עקב השפעת אגן (*basin effect*).

מפה חדשה זו מצטרפת לשתי מפות שצורפו לתקן בעבר: מפת התאוצה האופקית המרבית (PGA) בהסתברות של 10% בחמישים שנה, המהווה בסיס לחישוב ספקטרום התגובה לתכן עבור אתרי סלע; ומפת ההעתקים הפעילים או חשודים כפעילים המגבילה בנייה על קרקע שעלולה להיגזר בזמן רעידת אדמה. יצוין, שמפת האזורים החשודים בהגברות שתית חריגות, שמצטרפת עתה לת"י 413, מצביעה על אזורים בעיתיים אך איננה מהווה תחליף לסקר מפורט שרק בו ניתן לכמת את מידת ההגברה ולאפיינה בתדר ובעוצמה מתאימים.

אתרי קרקע שבבסיסם מצע סלעי קשה מאוד

הגברה של תנודות קרקע בזמן רעידת אדמה נובעת מהקטנת מהירות הגלים הסיסמיים תוך כדי עלייתם מהסלעים הקשים שבעומק אל הסלעים הרכים והקרקעות בקרבת פני השטח. כאשר שינוי המהירות איננו הדרגתי וישנו מעבר חד בין המצע הסלעי הקשה לשכבת הקרקע הרכה, תופעת ההגברה מתחזקת במידה ניכרת כתוצאה מכליאת האנרגיה הסיסמית בשכבה העליונה. הגלים הסיסמיים שמוחזרים מפני השטח כלפי מטה מתאבכים עם הגלים המוחזרים מהמצע הקשה כלפי מעלה ונוצרת תהודה עם תדירות ואמפליטודה אופייניים. במקרים חריגים אלו ישנו חשש שמקדמי ההגברה הסטנדרטיים בת"י 413 אינם מספיקים.

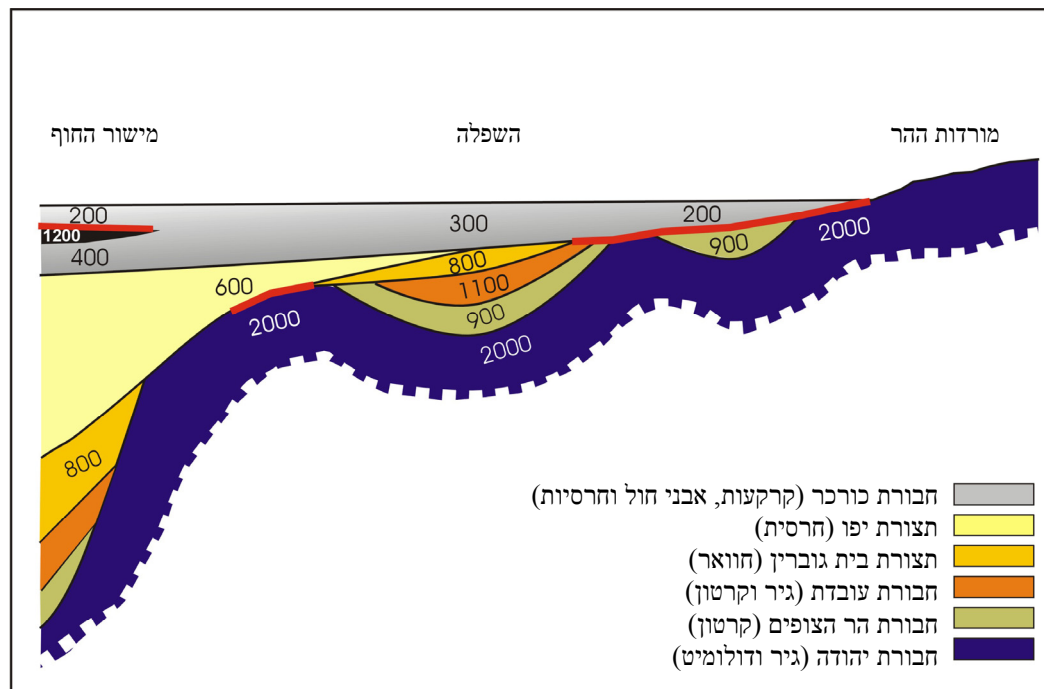
האזורים שמסומנים במפה בשחור הינם אזורים עם כיסוי קרקעי שבבסיסו קיים כנראה מצע קשה, שיוצר רפלקטור סיסמי חזק (יחס אימפדנס של 4-5 ואולי יותר). להלן תיאור קצר של התנאים הגיאולוגיים שעלולים ליצור רפלקטור כזה בחלקיה השונים של המדינה. התיאור מלווה בחתך גיאולוגי סכמתי שמדגים את הצירופים האפשריים של שכבות רכות וקשות בתת הקרקע של השפלה ומישור החוף.

באזור השפלה, בין המורדות הסלעיים של הרי יהודה ושומרון לבין מישור החוף (איור 1), רפלקטור חזק נוצר במגע בין קרקעות ואבני חול רכות של חבורת כורכר לבין סלעי גיר ודולומיט קשים של חבורת יהודה ועבדת ואפילו סלעי קרטון קשים של חבורת הר הצופים. עומקו של רפלקטור זה בבסיס חבורת כורכר שבשפלה אינו עולה בדרך כלל על כמה עשרות מטרים. מערבה יותר, מתחת לאבני החול של חבורת כורכר ישנה חרסית רכה של תצורת יפו ובאותם המקומות שחרסית זו מונחת על גיר או על קרטון קשים (חבורת יהודה, הר הצופים או עובדת) נוצר רפלקטור סיסמי נוסף שעלול אף הוא לגרום להגברה חריגה. מאידך, ככל שרפלקטור זה מעמיק, עוצמת התהודה שנוצרת מעליו נחלשת עד למצב בו היא איננה נחשבת חריגה. לצרכי המפה המוצגת כאן סומן בשחור האזור בו עומקו של הרפלקטור החשוך אינו עולה על 250 מטר. מסיבה זו מרבית אזור מישור החוף איננו מוגדר כחשוך בהגברות שתית חריגות, היינו, מקדמי ההגברה הסטנדרטיים מספיקים עבורו. יוצאים מן הכלל מספר תאי שטח מוגבלים שבהם מתחת לכיסוי הקרקעי או החולי הרך ישנן שכבות קשות מאוד של אבן חול גירית ("כורכר"), שהן עבות מספיק כדי ליצור הגברה בתווך שמעליהן. עומקו של רפלקטור זה בדרך כלל אינו עולה על כמה עשרות מטרים ובכל מקרה מוגבל לתוך חבורת כורכר שעובייה המירבי כ 200 מטר (איור 1).

בעמק הקישון נמצא שבנוסף לאמור לעיל, מתחת לקרקעות וחולות של חבורת כורכר ולעיתים גם מתחת לחרסיות של תצורת יפו ישנן שכבות קשות מאוד של גיר (תצורת פטיש או צקלג) ו/או גבס (תצורת מבקיעים) שיוצרות רפלקטור חשוך. ברוב שטח העמק עומקו של רפלקטור זה אינו עולה על 250 מטר פרט לאזור הקרוב לים שלא סומן בשחור.

בגולן, בגליל ובעמקים גם סלעי בזלת קשים בתת הקרקע יוצרים רפלקטור חזק.

בדרום הארץ קרקעות וחולות של תצורת חצבה או קונגלומרטים לא מלוכדים מונחים לעיתים על סלעים קשים בדומה למה שתואר בשפלה לגבי חבורת כורכר. בנוסף, גם אבני החול של תצורת חתירה המונחות על מצע קשה מאוד של סלעי גיר מגיל יורה וטריאס עלולות ליצור הגברה חריגה.



איור 1: חתך סכמטי המדגים צירופים אפשריים של יחידות גיאולוגיות בשפלה ובמישור החוף של ישראל, היוצרים החזרה חזקה של גלי רעידות אדמה ועלולים לגרום להגברה חריגה של תנודות הקרקע בזמן רעידת אדמה. המספרים מציינים בקירוב את מהירות גלי גזירה ביחידות של מטר לשנייה. קו אדום עבה מציין מחזיר סיסמי עם יחס אימפדנס מוערך של 4 ויותר שעומקו בתחום העלול לגרום הגברה חריגה. איור זה נועד להמחשה בלבד ואין להשתמש בו לחישובי הגברה ללא סקר מפורט באתר הנחקר.

אתרי קרקע באגנים גיאולוגיים צרים ועמוקים

בנוסף לתופעת ההגברה הנובעת מהפרשי מהירויות הגלים הסיסמיים, באגנים גיאולוגיים צרים ועמוקים עלולים להיווצר אפקטים מיוחדים הקשורים לכליאה של האנרגיה בין קירות האגן ופני השטח, למיקוד גלים לאזורים מסוימים, לריכוז אנרגיה בקרבת קירות האגן, לכיוונית הגלים הסיסמיים ועוד. יצוין, שאגנים אלו נמצאים בדרך כלל באזורים סיסמוגניים שבהם הסיכון הסיסמי גדול ממילא. מניסיון שהצטבר מרעידות אדמה חזקות כמו זאת שהתרחשה באזור לוס אנג'לס (קליפורניה) ב-1994 ובקובה (יפן) ב-1995 התברר שהשפעות אגן גם מאריכות את משך התנודות וגם מגבירות אותן.

סקר תגובת אתר

בהתאם להנחית גליון תיקון 3 של ת"י 413 מומלץ שמודל תת הקרקע שיובא בחשבון בסקר תגובת אתר יכלול את כל השכבות מפני השטח ועד למצע הקשה (גיר, דולומיט, בזלת, וכדומה) שהגדרתו המדויקת משתנה בהתאם לתנאים הגיאולוגיים השונים של ישראל (כפי שהוסבר לעיל) ועומקו עלול להגיע ל 250 מטר.

כאשר המצע הקשה עמוק במידה כזו שהשגת מידע על עובי השכבות ותכונותיהן הפיסיקליות בחלק התחתון של החתך איננה מעשית, ניתן להיעזר במידע מקידוחים סמוכים כדי להעריך את עובי השכבות שלא נקדחו ואת הרכבן ובהתאם לכך להעריך את תכונותיהן הפיסיקליות. יחד עם זאת, מומלץ שעבור מאה המטרים העליונים של חתך הקרקע והסלע יש להשתמש בערכים שמקורם במדידות שבוצעו באתר עצמו (בשיטות גיאופיסיות, בקידוח או במדידות מעבדה).

באתרים הנמצאים באגנים גיאולוגיים עמוקים וצרים מומלץ שסקר תגובת אתר יבוצע בתשומת לב יתירה על פי מיטב הידע המדעי והטכנולוגי הקיים בעולם ובמידת האפשר יתחשב גם באפקטים המיוחדים שנזכרו לעיל. אם אתר מסוים נמצא באגן שסומן במפה המצורפת באדום וגם בתחום המסומן בשחור, היינו שקיים חשד שבתת הקרקע של אגן זה קיים רפלקטור סיסמי חזק, יש להתחשב באופן פרטני גם ברפלקטור זה (למשל, שכבות בזלת בחלקים מסוימים של עמק יזרעאל).

מידע על תת-הקרקע בישראל ניתן למצוא במכון הגיאולוגי ובמכון הגיאופיסי. מפה סטרוקטורלית של גג חבורת יהודה - אחד הרפלקטורים הסיסמיים החזקים והנפוצים בתת הקרקע של ישראל - ניתן למצוא במכון הגיאופיסי.

ABSTRACT

The map presents regions with potentially high ground motion amplifications. Two types of areas with higher than normal ground motion amplification during earthquakes were identified. (1) Regions where soft soil directly overlies hard basement rocks (marked black). Here ground motion amplification increases significantly, due to the trapping of energy within the soil layer and the development of resonance. (2) Regions of narrow and deep geologic basins (marked red), in which additional effects such as wave focusing, wave directivity, intra-basin energy trapping, basin edge effects, and other phenomena may occur.

In light of these concerns, the professional committee that revised Israel Building Code 413 decided that in such areas ground motion amplification factors for designing important public structures and urban planning will not be defined by the standard code tables, but according to a site specific study. The practical way of implementing this decision is to include all areas defined as "Potentially High Ground Motion Amplification Zones" in Site Class F, which consists of several exceptional cases that all require a site specific survey. Such a survey will account for special local conditions.

In section 202.2.1a, added to the Israeli building code SI 413 in draft amendment no. 3, five criteria are used to define Site Class F. The first four criteria, taken from the American building code, characterize soils that are sensitive to internal failure; the fifth criterion was added to include zones with high potential of ground motion amplification.

The new map joins together two previous maps, which are already part of the Israeli building code: (1) PGA map of 10% probability in an exposure time of 50 years, which is the base for calculating the response spectra for rock sites; and (2) map of active or potentially active faults, which limits construction on sites that may rupture during an earthquake. Note that the new map highlights problematic areas, which should be further investigated; it does not replace a site specific survey in which ground motion amplification should be characterized by an appropriate frequency and amplitude.



The Geophysical Institute
of Israel



The Ministry of National Infrastructures
Geological Survey of Israel

Map of Zones with Potentially High Ground Motion Amplification: Explanatory Notes

Zohar Gvirtzman and Yuli Zaslavsky

Supported by the steering committee for earthquake preparedness