

## בטון במצב גבולי

ד"ר אברהם פיזנטי\*

### מבוא

כל ספר או פרק בספר או מסמך טכני אחר העוסק בתכן ואנליזה של מבנים/אלמנטים כל שהם, פותח בהצהרה, קצרה או ארוכה יותר, הקובעת מסגרת / תחום לחומרים אליהם מתייחס התוכן בהמשך (קרי מה הם החומרים עליהם מבוסס התכן והרלבנטיים לאנליזה). חוקת הבטון, על כל חלקיה, היא מסמך טכני כזה, ברם ההצהרה על החומרים עליהם מושתת התכן והחישוב של רכיבים מבטון מזוין ודרוך חשיבותה במיוחד רבה בחלק 1 של חוקת הבטון – עקרונות, [1] עקב מרכזיותו בכל חלקי חוקת הבטון ובכול התקנים הפריפריים הסמוכים על חוקת הבטון. חוקת הבטון עומדת כמסמך עצמאי בעברית החל בשנת 1962. עד שנת 2003 הסמיכות בין הוראות התכן לבין החומרים עליהם מושתת תכן הבטון המזוין והדרוך היתה קיימת לאורך כל התקופה, במידה לא מבוטלת בהשראת תשתית התקן האירופי CEB FIP MC, לדוגמה האחרון - [2]. בשנים האחרונות התערער קשר זה. כל הערעור הזה נעשה בתקנים, תחת קורת מוסד התקינה. תהיה זו טעות ויהיה זה עוול לבוא בטענות אל מכון התקנים על כך. חוק מכון התקנים [3] קובע מפורשות כי בתקינה ישתתפו הגופים המעוניינים (ראה סעיפים 7 ו 8 לחוק התקנים). מכאן שתחת קורת גג התקינה הגופים המעוניינים פועלים לקדם את האינטרסים שלהם הבאים לבטוי במבנה תקנים ובתוכנם. על מנת לבדוק אם יש בעיה ומה היקפה נערוך בהמשך הקבלה בין התקינה האירופית לבין התקינה הישראלית.

### שלד התקינה האירופית מול הישראלית

התקינה האירופית הינה מערכת מסועפת של תקנים, אשר מכסים את כל התחום (כאן הכוונה למבנים מבטון) והם מאוזכרים הדדית כך שזהו פסיפס תקינה בו הושקעה עבודה של שנים על ידי גופים רבים ואלפי מומחים בשטחים שונים. כולם נושאים את הסימן EN אולם בהתאם לשפה (לפחות באנגלית, גרמנית וצרפתית) בה הם מודפסים ובארצות בהן מופץ התקן נוסף עוד סמל (הגירסה האנגלית נושאת את הכותר EN BS וכו'). התקינה של אירגון CEN לא מתבססת במפורש על מערכת ISO. בראש פירמידת התקינה האירופית למבני בטון עומד EN2 [4] המהווה מין מסגרת מוסכמת לחוקת בטון, אשר מבוסס בעיקרו על [2] במובנים רבים. צריך אבל לזכור כי [4] אינו תקן מחייב בצורה הפשטנית. לכל אחת מהמדינות החברות ב CEN (אירגון התקינה של הקהילה האירופית) יש מסמך מלווה (National Document) אשר "מתאים" מספר סעיפים או הוראות למקובל באותה הארץ ומקובל זה הינו בעצם שאריות מהתקן הקודם שלה. National Document יש כמעט לכל ארץ המקבלת את [4].

EN2 [4] "עומד על שני נציבים": EN10080 [5] בו מפורטות רוב הדרישות למוטות הברזל ו EN206 [6] בו מפורטות הדרישות לבטון. במערכת התקינה הישראלית התקבלה החלטה לאמץ את EN2 [4]. אימוץ היא פעולה מורכבת. צריך לעשותה "לאורך ולרוחב ולעומק" על מנת לממש את כל עקרונות המערכת (זה לא רק תקן אחד ויחיד אלא מערכת תקנים) המאומצת. באימוץ המקובל בישראל נהוג לומר: "תוך התאמות למשק הישראלי". כאשר בודקים אימוץ זה (או אחר) ברוח הדברים הנ"ל נראה כי יש לא מעט בעיות ולא מעט קיצורי דרך תוך האימוץ.

\*מהנדס יועץ למבנים, יו"ר ועדת חוקת הבטון 1 בעבר, הפקולטה להנדסה אזרחית בעבר.

במקביל גם חוקת הבטון 1 [1] אמורה לעמוד על שני נציבים: סדרת התקנים 4466 לפלדה לזיון בטון והסדרה 1735 לפלדה לדריכת בטון מצד אחד, והתקן 118 [7] האמור להסדיר את כול הדרוש סביב הבטון – הרכבו, תכונותיו בדיקותיו ותיפקודו. ההצהרה היתה כי [7] יהיה ערוך (זה כבר לא אימוץ!) לפי [6] ולעומת זאת תקני הפלדה 4466 כבר כלל לא מאמצים את המערכת האירופית EN אלא את ISO. מכאן מתחילה הסתעפות אשר מובילה להחטאת המטרה החשובה – חיבוק המערכת האירופית כחבילה.

### **מבט על EN2 [4]**

EN2 [4] יצא בהוצאה ראשונה בשנת 1992 ובינו לבין הגירסה התקיפה היום, שנת 2004, יש רק מעט שוני. חלק גדול מן השוני נובע מאומדן/כיוול מחודש של כמה ערכים. [4] כולל מידע רב לצרכי תכן של מבני בטון, כגון: מקדמי בטחון המבוססים על הנחות הסתברותיות, חוזקי תכן לבטון ולפלדה ולאינטראקציה ביניהם (הידבקות ועיגון לדוגמה), תסבולת לכפיפה ולגזירה וכו'. יש כמו כן פרוצדורות לאומדני התנהגות לזמן ארוך (זחילה והצטמקות). במבט לאחור כמעט באופן בלעדי מידע זה שורשיו בשנות ה 70 וה 80 של המאה ה 20 ובמבט לאחור - עד ה CEB MC 1978 [2]. יש ב EN2 [4] מידע רב על החומרים ובעיקר על דרישות התיפקוד מהבטון. יש ב [4] דרישות מפורטות על התכונות המכניות למוטות זיון לבטון מזוין.

### **מבט על חוקת הבטון חלק 1 [1]**

ת"י 466 חלק 1 – חוקת הבטון [1], נמצא ברביזיה. פרקי התכן הותאמו ל [4]. הנספח להתנהגות לזמן ארוך של הבטון (הצטמקות וזחילה) יותאם אף הוא ל [4]. כל ערכי חוזק התכן של הבטון והפלדה ישארו כמו בגרסת התקן משנת 2003 מסיבה פשוטה – אין סיבה מדוע לשנותם כי אין מידע חדש. ועדת [1] נדרשה כמעט בכוח להוציא מחוקת הבטון כל מידע ביחס לבטון כחומר. תהליך זה בעיצומו.

כל חוזקי התכן ניגררים לא רק מהגירסה משנת 2003 אלא בדיקה תוכיח כי הם נוסחו כבר בשנות ה 80 וחלק מהם מופיע בצורתם וגודלם ב CEB FIP MC 1978 [8]. לסיכום – המידע הרלבנטי לתכן מבני בטון מבחינת חוזקים ומקדמי בטיחות ותכונות מכניות, וכל דבר, ב [1] כמו ב [4] מקורו בידע בן 20 עד 25 שנה.

### **מבט על EN10080 [5] מול ת"י 4466 חלק 3 [9]**

[5] מסדיר את כל הנוגע לפלדה לבטון מזוין למעט טבלת התכונות המכניות המצויה בגופו של EN2 [4]. פרט לבדיקות ודרישות גיאומטריות וכו' חשוב לציין: מצויות בו דרישות מאד ממוקדות וקפדניות לגבי ההרכב הכימי של הפלדה (טבלה 2 בסעיף 7 שם), כאשר צוין במיוחד כי הרכב כימי זה חשוב לגבי קיים הפלדה. תמצית הדרישות לגבי התכונות המכניות נתונה ב [4] – ניספח C. בסדרת תקני הפלדה לזיון בטון הקיים בתקינה בישראל 4466, חלק 2 (מוטות חלקים), חלק 3 (מוטות מצולעים) וחלק 4 (רשתות זיון). הרביזיה הנערכת בכל התקנים הללו מתבססת על אימוץ תקני ISO 6935, דבר שהוא לא מקובל מאחר והוא סותר את המדיניות של אימוץ "עץ" התקנים של EN. יחד עם זאת עידכון (לאחר שנים רבות מדי) התכונות המכניות הוא טוב ומתאים גם לדרישות [5]. שני דברים חסרים: מפרט ההרכב הכימי של הפלדה הוא דל מדי ואחוז הפחמן גבוה יותר מאשר ב [5]. מפרט ההרכב הכימי דל באותה המידה גם ביחס לתקני ISO אשר ניטען כי הם אלה שאומצו. יתרה מכך – ב [5] ניטען כי למפרט ההרכב הכימי השפעה על הקיים, דבר אשר ועדת המומחים לפלדה והיצרנים בארץ בחרו להתעלם ממנו. דבר שני – אין שום סיבה מדוע לא להתיר מיידית שימוש במוטות זיון מצולעים בעלי חוזק כניעה של 500 MPa בעלי צילוע זהה לזה של 400 MPa כמקובל ב [5] עבור [4]. כל מערכת חוזקי התכן וההידבקות ומקדמי הבטחון, וכו' כבר מצויה ב [1] מאחר והיא אמורה להיות מאמצת את [4] המתירה מוטות בעלי חוזק זה. יחד עם זאת יש לסכם כי בהשוואה למצב תקני 4466 בישראל עד כה, אשר היו בפיגור אומלל לעומת התקינה העולמית לגבי מוצרים אלה, נעשית קפיצה ממשית קדימה.

## מבט על EN 206 [6] מול ת"י 118 [7]

אם קיימת טענה כי אומצה המערכת האירופית של התקנים ככל הנוגע לבטון מזוין, הרי שטענה זו אינה עומדת במבחן השואה בין שני תקנים אלה.

EN 206 [6] שומר על הפורמט הידוע של כל מערכת התקינה האירופית והצפון אמריקאית בהגדרת חוזק הבטון האופיני אשר יצוטט בשפת המקור: 3.1.22 characteristic strength – value of strength below which 5% of the population of all possible strength determinations of the volume of concrete under consideration are expected to fall.

בת"י 118: 3.26 – חוזק אופיני בלחיצה ( $f_{ck}$ ) - חוזק הלחיצה (במגפ"ס) של הבטון בגיל 28 יום, שעליו מבוסס תכן המבנה או הרכיב.

חשוב לציין כי כלל ה-5% הינו הבסיס ההסתברותי לקביעת מקדם הבטחון לבטון. בעוד כמה שנים איש לא יידע ולא יזכור על סמך מה מחושב מקדם הבטחון הזה.

EN206 [6] קובע בצורה קטגורית כי חוזק הבטון האופיני ייקבע בגיל 28 יום: ציטוט מהמקור: 5.5.1.2.....Unless specified otherwise the compressive strength is determined on specimens tested at 28 days. For particular uses it may be necessary to specify the compressive strength at ages earlier than 28 days (e.g. for massive structural elements) or after storage under special conditions (e.g. heat treatment).

במקרים חריגים ועבור בטונים מיוחדים [6] מתיר בדיקה בגיל מאוחר מ-28 יום אולם זהו החריג והוא מוגדר כחריג. בדיוק באותה הצורה והמידה בתקינה האמריקאית מותר לבדוק בטון אשר התקשה באתר (רק) עד גיל 56 יום, אולם שוב – בטון שהתקשה באתר וכחריג.

ת"י 118, לאחר גליון התיקון ממאי 2010 מתיר בדיקת בטון שהתקשה באתר וקוביות בטון טרי שנלקחו לבדיקה מן האתר לבדיקה עד גיל 90 יום (ראה בקריאה מדוקדקת את סעיף 10.3 יחד עם גליון התיקון האחרון ממאי 2010), דבר שאין לו שחר לגבי בטונים אשר נוצקו בשימוש בצמנטים טובים (יובהר להלן) ומהווה היתר להפסיד כ-10% מחוזק הבטון וזו קביעה פסולה בעליל.

EN206 [6] נותן המלצות מסוימות רק לגבי צמנטים מסוג CEM1 (המכילים 95% ויותר קלינקר) – ראה לדוגמה סעיפים 5.3.2 הערה 2, סעיפים 5.2.5.2.2 ו-5.2.5.2.3 הממליצים המלצות לגבי ה- $k$  value וניספח F.

בת"י 118 [7] מיישמים את הערך  $k$  value (סעיף 5.2.5) כמו ב- [6] אבל לא רק עבור צמנט מסוג CEM1 אלא גם עבור צמנטים מסוג CEM II/A-V ו-CEM II/A-W, אבל הערך  $k$  הינו מפתח להוספת אפר פחם לצמנט מסוג CEM1 ואילו בצמנטים אלה יש כבר אפר פחם (20%-6)? הבעיה החמורה ביותר נוגעת לסוגי הצמנטים וכאן יש כשל ממשי, ועל כך ראה השואה להלן.

### סוגי הצמנט המותרים/מומלצים לשימוש ונמצאים לשימוש בארץ

בת"י 1 [10] נטען כי הוא אימץ את EN-197 [11]. עובדה זו נכונה חלקית בלבד. ב [11] פורסמה טבלה של 27 צמנטים והיא המחייבת לפי [10] אולם ב [11] הטבלה כוללת אחוזי החומרים המרכיבים את הצמנטים ואילו מידע זה בטבלה בעברית הושמט ב [10]. הטבלה המקורית היא טבלה 1 הנתונה להלן.

במבוא ל EN-197 [11] נאמרו בכנות הראויה שני דברים: היתה "התגוששות" אילו צמנטים להכניס לטבלה וכן – אין קריטריונים לקביעת מה הוא צמנט מסורתי ומהו צמנט שיש עמו נסיון מוכח.

במהדורה המקורית של ת"י 1 [10] נטען כי עם הצמנטים הבאים יש נסיון בארץ: CEM1 (לפי הטבלה המקורית מכיל לא פחות מ-95% קלינקר), CEM II/A-S (לפי הטבלה המקורית מכיל 6% עד 20% סיגים ואילו הכתוב ב [1] – 10% סיגים בלבד), CEM II/A-V (לפי הטבלה המקורית מכיל 6-20% אפר פחם ואילו הכתוב ב [1] – 10% אפר פחם בלבד) ו-CEM II/A-M (המכיל לפי הטבלה המקורית 20%-6 תערובת של סיגים, אפר פחם, אבן גיר, חומרים פוצולניים וסיליקה-פיום).

נאמנים למקור זה נכתב בחוקת הבטון [1] כי הצמנטים יתאימו למומלצים שיש נסיון אתם כפי שנקבעו ב [10].

אולם בת"י 118 [7], בו כתוב כי הצמנטים יתאימו לת"י 1 [10] כתוב גם כי הצמנטים אתם יש נסיון לשימוש בארץ הם: CEM 1, CEM II/A-S, CEM II/A-W, CEM II/A-V (ראה לעיל) ו-CEM II/A-M(S-L-V). האחרון מפורט יותר וכתוב בו – 20%-6 סיגים, אפר פחם ואבן גיר. מעניין לציין כאן כי בתקינה האמריקאית אין אבן גיר כתוסף לצמנט אלא לצורך בטון לייצוב קרקע.

מעיון באתר האינטרנט של חברת נשר, הספק הבלעדי של צמנט בארץ, אנו למדים כי היא מייצרת ומשווקת את הצמנטים הבאים:

CEM I/N CEM I/R – מתאימים למומלץ ויש עמם ידע לפי [10], CEM II/A-M(S-L-V), הוא מופיע ברשימת [7] ולא [10] ועוד: CEM II/A-L שעליו כתוב כי המרכיב העיקרי בו קלינקר אך למעשה יש בו 6-20% אבן גיר, CEM II/B-LL שעליו כתוב כי יש בו מינימום 21% אבן גיר ולפי הטבלה המקורית יש בו 21-35% אבן גיר, CEM III/B שעליו כתוב כי יש בו 65% סיגים ולפי הטבלה המקורית יש בו 66-80% סיגים וכמובן שגם הוא כמו שני קודמיו לא מתאימים לתקן [10].  
ואחרון: על שולחן הדיונים נימצא גליון תיקון של [10] ובו הצעת החלטה שלפיה יעלמו כל הצמנטים המומלצים מ [10] (כלומר הם יעלמו גם מת"י 118 [7]) ובמקום זה ייכתב: "הדרישות לגבי השימוש במיני הצמנטים השונים מפורטות בתקנים הישראליים הדנים במוצרים ובמערכות המכילות צמנט". איך תיקבענה דרישות אלה? על ידי אותם האנשים שבטלו את רשימת הצמנטים המומלצים?

## סיכום

1. הטענה על אימוץ מלא של המערכת האירופית לגבי מבני בטון אין לה על מה להישען. ההיפך הוא הנכון – מה ש"אומץ" הוא לא עקבי ואינו מבטיח שום דבר אמין למתכנן.
2. ת"י 118 [7] ות"י 1 [10] אינם דומים כלל למקבילים האירופיים. יש בהם חריגה מהותית מדרישות הבטיחות ומהעקביות בה המערכת האירופית שומרת על ערכי המקצועיות.
3. אחוז גבוה ביותר של מתכננים ומבצעים מדווחים על בטון אשר רחוק מלהגיע לחוזק המתאים בגיל 28 ימים. חלק מהבטונים מתקשים להגיע לחוזק המתאים גם אחרי 56 ימים. הארכת המועד לקבלת חוזק הבטון כמתאים לתקן לצורך סיווגו היא כמו ציור המטרה על החץ לאחר שקלע והיא לא ראויה מבחינה מקצועית.
4. יש כל היסוד להניח כי הבטונים אשר לא מגיעים לחוזק הדרוש לאחר 28 ימים עשויים צמנט עם אחוז גבוה של אבן גיר. הצמנט CEM II/B-LL מצוי בשימוש נרחב בשוק והוא מכיל כפי שצויין לעיל 21-35% אבן גיר. לא יכול להיות שמסה כזאת של בטונים העשויים עם צמנט CEM1 תביא לתוצאות כה גרועות של חוזק הבטון. עשרות שנים של נסיון מוכיחות כי השימוש בצמנט מסוג CEM1 מביא לתוצאות חוזק בטון מצוינות ובמועדים הנכונים.
5. כל מערכת הנתונים לצרכי תכן בחוקת הבטון על כל חלקיה ערוכה בהביא בחשבון שימוש בצמנט מסוג CEM1. כאשר ערכים אלה, כולל כל המידע על התנהגות הבטון לזמן ארוך (הצטמקות וזחילה) נקבעו לא היו בתקינה צמנטים אקוויבנטיים אלא רק CEM1. זו הסיבה שכל המערכת מתאימה רק לצמנט זה.
6. כל נתון שהובא כאן צוטט ממקורות רשמיים – תקני EN, תקני ישראל ואתר חברת נשר באינטרנט. אין אף נתון אחד שיוצר על ידי המחבר.
7. כל מי שמצפה להתבסס על חוקת הבטון בתכן מבני בטון מזוין חייב לקבוע כי הצמנט יהיה אך ורק מסוג CEM1.
8. צמנטים אחרים המכילים אפר פחם ו/או סיגים (אבל לא אבן גיר) הינם לגיטימיים לשימוש אולם לאחר פירסום מחקר (אשר יראה את אור השמש ויודפס בספרות העולמית) בו תובאנה ראיות על: התפתחות מוכחת של חוזק הבטון עם הזמן (הדבר בעיקר נוגע לבטונים עם אחוזים גבוהים של אפר פחם וסיגים), מנות מים מעודכנות, צרכי אשפיה מתוקנים אם דרוש, מועדי פירוק תבניות מעודכנים אם דרוש, חוזקי התכן ומקדמי בטחון מותאמים, חוזקי הידבקות, נתונים בדוקים של זחילה והצטמקות, ועוד. כל ערך המופיע בחוקת הבטון חייב להיבדק ולהיות מאושר או מעודכן לפי סוג הצמנט בו משתמשים והשפעתו על תכונות הבטון.
9. יש לזכור: עברו הימים בהם הקריטריון היחיד והמספיק היה מבחן חוזק הלחיצה. מבחן זה מספק רק מידע מזערי וחלקי ואינו ערובה לתכונות חשובות רבות של הבטון, ביניהם קיים.

בשים לב לכל זה יש לנו ספק אם אנחנו לא מתכננים ומבצעים מבנים אשר חוזקם נחות ואורך חייהם קצר. מהנדסי המבנים הועמדו בפני מצב בלתי אפשרי: החומר המשמש לתכן מבני בטון נלקח מחוקת הבטון והועבר לתכן אחר בו ניתן לעשות שינויים מבלי שיורגשו בחוקת הבטון (ראה השחיקה המתמדת והחזק סטרית של "הצמנטים שיש עמם נסיון"). ההפרדה של הבטון מחוקת הבטון היא פצצת זמן לגבי תכן מבני בטון בעיקר לנוכח הנטייה להביא לכך ש: "הדרישות לגבי השימוש במיני הצמנט השונים מפורטות בתקנים הישראליים הדנים במוצרים ובמערכות המכילים צמנט".

האיזכור של כל מיני נתונים לגבי הבטון בחוקת הבטון [1] ובחלקיה השונים הפך לפארכסה מאחר ובמילא, כאשר בודקים בטון, רק לדוגמה, לא בודקים אותו בגיל 28 ימים כפי שכתוב בחוקת הבטון, כי לא התקן הזה קובע לגבי טיב הבטון אלא ת"י 118 ושם כבר מובטח כי ניתן למשוך כל בטון עד גיל 90 יום, עם או בלי אפר פחם וללא קשר בכמותו (ואולי קיימים גם טריקים אחרים?). ובכלל כאשר ועדת ת"י 118 עושה מה שעולה על דעתה וועדת ת"י 4466 טוענת כי היא "אוטונומית" ושלא יבלבלו לה את המוח, חוקת הבטון הופכת למסמך לא רלבנטי.

יש עילה ראויה ומספקת לקרוא לכל מי שמתכנן מבני בטון לדרוש (ולהקפיד כי דרישתו נתמלאה) כי המבנה המתוכנן (ולא חשוב מה גודלו ויעודו) יבוצע אך ורק בבטון העשוי צמנט מסוג CEM1.

#### מראי מקום:

- [1] ת"י 466 חלק 1, חוקת הבטון – עקרונות, 1975 (עם כל העדכונים) וגם 2003 (עם גליונות התיקון).
- [2] CEB FIP Model Code 1990, Design Code, Bulletin d'Information No. 213 / 214, May 1993.
- [3] חוק התקנים התשי"ג, 1953.
- [4] EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1, General Rules and Rules for Buildings, December 2004.
- [5] BS EN 10080:2005, Steel for the reinforcement of concrete – Weldable reinforcing steel – General.
- [6] BS EN 206-1:2001, Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity.
- [7] ת"י 118, בטון: דרישות, תיפקוד וייצור. ספטמבר 2008, כולל גליון תיקון – מאי 2010.
- [8] CEB FIP M.C. 1978, Model Code for Concrete Structures, Comite Euro International du beton, Bulletin d'Information No. 125, April 1978.
- [9] ת"י 4466 חלק 3; פלדה לזיון בטון: מוטות מצולעים, הצעת תקן מאוקטובר 2010.
- [10] ת"י 1, חלק 1, צמנט: צמנט רגיל, יולי 2002, כולל גליון תיקון בדיון 2008.
- [11] EN 197-1; Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements, June 2000.

Table 1 — The 27 products in the family of common cements

Main types	Notation of the 27 products (types of common cement)		Composition [percentage by mass <sup>a)</sup> ]											Minor additional constituents
			Main constituents											
			Clinker K	Blast-furnace slag S	Silica fume D <sup>b)</sup>	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale T	Limestone			
natural P	natural calcined Q	siliceous V				calcareous W	L	LL						
CEM I	Portland cement	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 to 5
CEM II	Portland-slag cement	CEM II/A-S	80 to 94	6 to 20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 to 5
		CEM II/B-S	65 to 79	21 to 35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 to 5
	Portland-silica fume cement	CEM II/A-D	90 to 94	—	6 to 10	—	—	—	—	—	—	—	—	0 to 5
	Portland-pozzolana cement	CEM II/A-P	80 to 94	—	—	6 to 20	—	—	—	—	—	—	—	0 to 5
		CEM II/B-P	65 to 79	—	—	21 to 35	—	—	—	—	—	—	—	0 to 5
		CEM II/A-Q	80 to 94	—	—	—	6 to 20	—	—	—	—	—	—	0 to 5
		CEM II/B-Q	65 to 79	—	—	—	21 to 35	—	—	—	—	—	—	0 to 5
	Portland-fly ash cement	CEM II/A-V	80 to 94	—	—	—	—	6 to 20	—	—	—	—	—	0 to 5
		CEM II/B-V	65 to 79	—	—	—	—	21 to 35	—	—	—	—	—	0 to 5
		CEM II/A-W	80 to 94	—	—	—	—	—	6 to 20	—	—	—	—	0 to 5
		CEM II/B-W	65 to 79	—	—	—	—	—	21 to 35	—	—	—	—	0 to 5
	Portland-burnt shale cement	CEM II/A-T	80 to 94	—	—	—	—	—	—	6 to 20	—	—	—	0 to 5
		CEM II/B-T	65 to 79	—	—	—	—	—	—	21 to 35	—	—	—	0 to 5
	Portland-limestone cement	CEM II/A-L	80 to 94	—	—	—	—	—	—	—	6 to 20	—	—	0 to 5
		CEM II/B-L	65 to 79	—	—	—	—	—	—	—	21 to 35	—	—	0 to 5
		CEM II/A-LL	80 to 94	—	—	—	—	—	—	—	—	6 to 20	—	0 to 5
		CEM II/B-LL	65 to 79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21 to 35	0 to 5
	Portland-composite cement <sup>c)</sup>	CEM II/A-M	80 to 94	<----- 6 to 20 ----->									0 to 5	
CEM II/B-M		65 to 79	<----- 21 to 35 ----->									0 to 5		
CEM III	Blastfurnace cement	CEM III/A	35 to 64	36 to 65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 to 5
		CEM III/B	20 to 34	66 to 80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 to 5
		CEM III/C	5 to 19	81 to 95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 to 5
CEM IV	Pozzolanic cement <sup>c)</sup>	CEM IV/A	65 to 89	—	<----- 11 to 35 ----->						—	—	0 to 5	
		CEM IV/B	45 to 64	—	<----- 36 to 55 ----->						—	—	0 to 5	
CEM V	Composite cement <sup>c)</sup>	CEM V/A	40 to 64	18 to 30	—	<----- 18 to 30 ----->			—	—	—	—	0 to 5	
		CEM V/B	20 to 38	31 to 50	—	<----- 31 to 50 ----->			—	—	—	—	0 to 5	

<sup>a)</sup> The values in the table refer to the sum of the main and minor additional constituents.  
<sup>b)</sup> The proportion of silica fume is limited to 10 %.  
<sup>c)</sup> In Portland-composite cements CEM II/A-M and CEM II/B-M, in Pozzolanic cements CEM IV/A and CEM IV/B and in composite cements CEM V/A and CEM V/B the main constituents other than clinker shall be declared by designation of the cement (for example see clause 8).