

20. חישוב שקיעות מתקדם ברכיבים קוויים

20.1 חישוב באמצעות גליון אלקטרוני (שיטת Beeby)

חישוב השקיעות המקובל בתקן האמריקאי [5] ואשר אומץ גם בתקן הישראלי [1] הינו מקורב ופשטני והתכונה העיקרית החיובית שלו היא הפשטות ונוחות הניסוח בתקנים. החסרון הגדול שלו הוא הנחת קשיחות אקוילנטית אחידה לאורך כל הרכיב.

בפרק חישוב השקיעות ב *fib* Bulletin 2 [16], הציע Beeby חישוב פשוט באמצעות גליון אלקטרוני (או בשפת משתמשי המחשב – שימוש בתוכנת EXCEL). מטרת החישוב כפולה: להפעיל את הכלי ששמו מחשב בצורה היעילה ביותר ומצד שני – להביא בחשבון לפחות חלק מהאפקטים הלא ליניאריים שבהתנהגות הבטון המזוין. בשים לב לכך כי ברור שהמאמצים בתחום מצב שרות בבטון הם די נמוכים ועל כן הם בקרוב טוב מאד בתחום הליניארי, וכן ברור כי המאמצים במוטות הפלדה הם בהחלט בתחום הליניארי (הפלדה בדרך כלל מצויה במרחק ניכר מתחום הנזילה), נשאר בעיית הסדיקה אשר לה תרומה להתנהגות לא ליניארית כל שהיא של רכיב מבטון מזוין על ידי החלשת תכונות החתך (וגם מבטון דרוך אם הרכיב סדוק בגבולות המותרים).

בשיטה שהוצעה על ידי Beeby [16] יש התייחסות לבעיית הסדיקה בצורה היעילה ביותר. הרכיב מחולק לקטעים (או דיסקרטיזציה בשפה הנומרית). בכל קצה קטע נערכת בדיקה האם המומנט עולה על מומנט הסדיקה. אם המומנט לא עלה על מומנט הסדיקה – העקמומיות מחושבת כעקמומיות חתך לא סדוק. אם המומנט עלה על מומנט הסדיקה – העקמומיות מחושבת לפי עקמומיות חתך סדוק.

עקמומיות חתך סדוק מחושבת כאשר מביאים בחשבון כי לאחר שהחתך נסדק קיים בו האיזור הלחוץ של הבטון בלבד, הזיון הלחוץ המצוי באיזור זה וכן הזיון באיזור המתוח. לגבי צורת חישוב גובה האיזור הלחוץ וכן מומנט האינרציה של החתך הסדוק ראה חוקת הבטון חלק 1 (2003) [1] וכן פרק 19 כאן.

בהמשך מבוצע חישוב העקמומיות בעליל על פי EC2 [8] 2004 EC וכן על פי M.C.1990 CEB FIP [4] בהם נוסחה פרוצדורה הטוענת (ראה הסבר בפרק 19) כי העקמומיות האמיתית הינה שיקלול בין $1/r_1 = M/E_c I_1$ - העקמומיות הבלתי סדוקה, בה I_1 הינו מומנט האינרציה של החתך הבלתי סדוק, והעקמומיות הסדוקה $1/r_2 = M/E_c I_2$, בה I_2 הינו מומנט האינרציה של החתך הסדוק. השיקלול נעשה באמצעות מקדם ksi (ξ) הנתון על ידי (ראה נוסחה (19.3.11) בפרק 19)

$$\xi = 1 - (M_{cr}/M)^2$$

העקמומיות $1/r$ תהיה נתונה על ידי הביטוי (ראה (19.3.10) בפרק 19):

$$1/r = (1-\xi)1/r_1 + \xi 1/r_2 \quad (20.1)$$

משמעות נוסחה זו היא: כאשר החתך לא סדוק $\xi = 0$ והעקמומיות תהיה הבלתי סדוקה. כאשר החתך סדוק מאד (כלומר המומנט החיצוני גדול מאד לעומת מומנט הסדיקה) תהיה ξ גבוהה מאד ובמילא ההשפעה של העקמומיות הבלתי סדוקה תשאף לאפס. בכל מצב ביניים יהיה שיקלול בין שתיהן לפי הנוסחה (20.1).

ידוע מתוך הסטטיקה האלמנטרית ותורת החוזק כי שיפוע הקו האלסטי של רכיב קווי בחתך כל שהוא, הינו האינטגרל של העקמומיות בכל חתך החל בקצה הרכיב לכיוון הקצה השני עד אותו החתך. השקיעה הינה האינטגרל השני, או אינטגרל שיפועי הקו האלסטי על אורך הרכיב, שוב מקצה האחד של הרכיב עד אותו החתך לכיוון הקצה השני.

אי לכך נערך גליון חישוב של excel ובו תחושב בכל חתך העקמומיות וייערך אינטגרל העקמומיות (כלומר בניה הדרגתית של סכום השתנות השיפוע לאורך הקו האלסטי) לפי הביטוי (הציטוט מתוך [16]):

$$A_{(0 \text{ to } i)} = A_{(0 \text{ to } i-1)} + \delta(1/r_{i-1} + 1/r_i)/2 \quad (20.1)$$

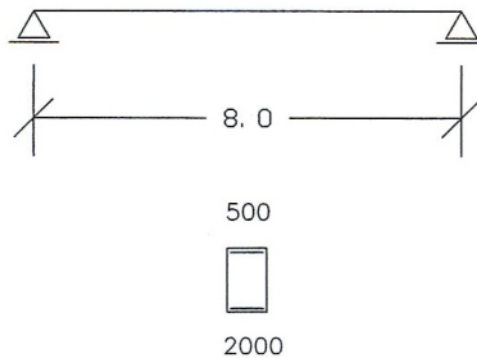
הביטוי הנ"ל אומר כי נעשית צבירה של העקמומיות, כאשר עבור כל שלב העקמומיות A מנקודת ההתחלה (0) ועד הנקודה (i) הינה הצבירה עד הנקודה (i-1) ועוד ממוצע העקמומיות ב i-1 ו ב i מוכפל במרחק ביניהן δ .

מובן כי כמו בכל שיטה נומרית הציפוף בין הנקודות (הקטנת δ) יוסיף דיוק לפתרון.

בדיוק באותה הצורה של "אינטגרל" – סיכום של הפרשי העקמומיות, אפשר לנקוט לגבי ה"אינטגרל השני" – סיכום של הפרשי השיפועים, לקבלת השקיעה של רכיב קווי.

לשם הבהרת השיטה נביא כאן את הדוגמה הפשוטה אשר ניתנה על ידי Beeby :

נתונה קורה של שני סמכים, מסוימת סטטית, בעלת מיפתח של 8 מ', ציור 20.1, בעלת חתך מלבני של 500 ממ' (גובה) ו 300 ממ' רוחב כאשר בצד המתוח כמות הזיון היא 2000 ממ"ר ובצד הלחץ 500 ממ"ר (ראה ציור מס' 20.1). כמויות הזיון ממוקמות במרחק 50 ממ' מהפן הלחץ והמתוח בהתאמה. הבטון הוא C 30 (אשר משמעותו קרוב מאד ל 40 הישראלי). עבור בטון זה: $E_{cm} = 33551$ ו $f_{ctm} = 2.896$ MPa. אי לכך היחס בין מודולי האלסטיות של הפלדה והבטון $n = 5.96$. גובה האיזור הלחץ בחתך MPa הסדוק 148.3848 mm ומומנט האינרציה של החתך הסדוק $I_2 = 1440.158 \cdot 10^6$ mm⁴ ושל החתך הבלתי סדוק $I_1 = 3701.721 \cdot 10^6$ mm⁴. לבסוף מומנט הסדיקה הינו $M_{cr} = 44.833$ kNm. המירווחים בין הנקודות הם 400 ממ' דבר היוצר 20 מירווחים או 21 חתכים. העומס במצב שרות הינו $Fds = 12.4$ kN/m. נתונים אלה מביעים תנאי זיון לכפיפה אחידים על פני כל הרכיב.



ציור 20.1

בגליון ה excel (טבלה מס' 20.1) נתון החישוב של השקיעה. בעמודה מס' 1 – המרחק מהסמך השמאלי. בעמודה מס' 2 – המומנט במצב שרות. בעמודות 3 ו 4 העקמומיות במצב בלתי סדוק $1/r_1$ ובמצב סדוק $1/r_2$ בהתאמה. בעמודה מס' 5 חושב מקדם השיקלול ξ . בעמודה מס' 6 חושבה העקמומיות $1/r$ המשוקללת. בעמודה מס' 7 נערך האינטגרל הראשון. יש לשים לב – הערך הראשון הוא 0 מאחר והעקמומיות בנקודה הראשונה הינה 0. בעמודה מס' 8 נערך האינטגרל השני המביא למעשה לשקיעה. יש לשים לב – אינטגרל זה לא מביא בחשבון את תנאי הקצה השני, אי לכך בקצה הימני של הקורה התקבל ערך של 33.53 ממ'. ערך זה יש לאפס על ידי הנחת תיקון בגודל -33.53 ממ' בקצה הימני ולהניח כי הוא מתנוון ליניארית אל כיוון הקצה השמאלי עד שהוא מגיע לערך 0 שם. סיכום העמודות 8 (אינטגרל השקיעה) ו 9 התיקון נתון בעמודה 10 והיא השקיעה הסופית המיידית ברכיב בהתחשבות בסדיקה.

טבלה מס' 20.1 (דוגמת Beeby)

מרחק	המומנט	עקמומ'	עקמומ'	ksi	עקמומ'	אינטגרל	אינטגרל	תיקון	השקיעה
מהסמך	בחתך	1/r1	1/r2		בעליל	ראשון	שני	אינ שני	הסופית
Mm	kNm	x E+6	x E+6		x E+3	x E+3		mm	mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
400	18.85	0.15	0.39	0.000	0.15	0.03	0.01	-1.68	-1.67
800	35.71	0.29	0.74	0.000	0.29	0.12	0.04	-3.35	-3.31
1200	50.59	0.41	1.05	0.215	0.54	0.28	0.12	-5.03	-4.91
1600	63.49	0.51	1.31	0.501	0.91	0.58	0.29	-6.71	-6.42
2000	74.40	0.60	1.54	0.637	1.20	1.00	0.60	-8.38	-7.78
2400	83.33	0.67	1.72	0.711	1.42	1.52	1.11	-10.06	-8.95
2800	90.27	0.73	1.87	0.753	1.59	2.12	1.84	-11.74	-9.90
3200	95.23	0.77	1.97	0.778	1.70	2.78	2.82	-13.41	-10.59
3600	98.21	0.79	2.03	0.792	1.77	3.48	4.07	-15.09	-11.02
4000	99.20	0.80	2.05	0.796	1.80	4.19	5.60	-16.77	-11.17
4400	98.21	0.79	2.03	0.792	1.77	4.91	7.42	-18.44	-11.02
4800	95.23	0.77	1.97	0.778	1.70	5.60	9.52	-20.12	-10.60
5200	90.27	0.73	1.87	0.753	1.59	6.26	11.90	-21.79	-9.89
5600	83.33	0.67	1.72	0.711	1.42	6.86	14.52	-23.47	-8.95
6000	74.40	0.60	1.54	0.637	1.20	7.38	17.37	-25.15	-7.78
6400	63.49	0.51	1.31	0.501	0.91	7.81	20.41	-26.82	-6.41
6800	50.59	0.41	1.05	0.215	0.54	8.10	23.59	-28.50	-4.91
7200	35.71	0.29	0.74	0.000	0.29	8.26	26.86	-30.18	-3.32
7600	18.85	0.18	0.38	0.000	0.15	8.35	30.18	-31.85	-1.67
8000	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	8.38	33.53	-33.53	0.00

20.2 חישוב השקיעה ברכיבים קוויים נמשכים

הפרוצדורה אשר תוארה ב 20.1 נוסחה על ידי Beeby [16] לגבי רכיב מסוים סטטית. לגבי רכיב בלתי מסוים סטטית טוען הוא כי מאחר והחישוב הסטטי (פריסת מומנטי הכפיפה), נערך על רכיב בהנחה של התנהגות אלסטית ליניארית ולא נערך באמצעות אנליזה לא ליניארית מדויקת (כולל של החומר והסדיקה וכו') לא יהיה נכון לגשת לחישוב מאותה איסטרטגיה. בהמשך אבל טוען Beeby כי ניתן יהיה להניח הזזת יחידה בכל סמך (למשל עבור רכיב קווי נמשך על 4 סמכים, עבור שני הסמכים הפנימיים b ו c):

$$\Delta_c = \Delta M_b \delta_{cb} + \Delta M_c \delta_{cc} \quad \Delta_b = \Delta M_b \delta_{bb} + \Delta M_c \delta_{bc}$$

ולקבוע מה המומנטים המתקנים הדרושים על מנת לאפס את השקיעה בשני הסמכים הפנימיים b ו c. אבל, בסיכום הוא מסכים בעצמו כי עדיין החישוב מקורב במידת מה.

תועלה כאן טענה כי ניתן לבצע את החישוב בצורה פשוטה ביותר, עם רמת קירוב לא פחות טובה מאשר לפי התיזה של Beeby וללא שום צורך בתהליך ניסוי ותהייה.

הנימוקים הם כלהלן:

א. למעט מקרים חריגים ביותר החישוב הסטטי של רכיבים קוויים מבטון מזוין (ודרוך) מבוצע כחישוב של רכיב העשוי מחומר אלסטי. המקרים בהם יידרש חישוב המביא בחשבון את השפעת ההזזות (geometrical nonlinear analysis) הם נדירים ביותר, והדבר יצביע בדרך כלל על כך כי הסדיקה היא כה נרחבת עד כי היא עוברת כל גבול מותר במצב גבולי של שרות.

ב. במצב גבולי של הרס החתך מחושב לפי התנהגות לא ליניארית של החומר, אולם לאי ליניאריות זו אין קשר עם ההתנהגות הסטטית של הרכיב והיא עדיין בתחום החישוב לפי small deflections theory, אי לכך בין שני סוגי האי ליניאריות בחישובים להבטחת מצב גבולי של שרות לא נוצרת הצלבה, ולכן לזו של החומר אין השפעה.

ג. אם נשארים בתחום ה small deflections theory עדיין מותרת סופרפוזיציה של הזות.

ד. לפי המודל של Beeby אם נשחרר את הרכיב הנמשך מהסמכים, למעט את הקיצוני השמאלי, ונחשב את העקמומיות הבלתי סדוקה והסדוקה, והעקמומיות בעליל, זה יביא בחשבון את היות הרכיב סדוק, לפי מצב סדיקה שנבדק לכל אורכו, כך שהשפעה זו לא אבדה. מצד שני אם נעשה תיקון בקו האלסטי על ידי העתקה של הקו (לביטול השקיעה בסמכים) להזזה זו תהיה השפעה מזערית על פריסת המומנטים מאחר ואנחנו פועלים עדיין בתחום ה small deflections theory.

בשים לב לכך פותחה פרוצדורה לחישוב הכפף של רכיבים קווים מבטון מזוין ודרוך, ההיא כדלקמן:

1. יערך חישוב סטטי של הרכיב הנמשך לצורך קבלת מהלך המומנטים של הרכיב כנמשך.

2. הקורה תשחרר מהסמכים הפנימיים שלה ותישאר מסוימת סטטית עם שני הסמכים הקיצוניים, אבל עליה מהלך המומנטים של הסכימה הנמשכת הבלתי מסוימת סטטית.

3. ייערך כל החישוב לפי המוצע על ידי Beeby עד לאינטגרל הראשון – חישוב העקמומיות לאורך הרכיב (ראה עמודה 7 בטבלה מס' 20.1)

4. אם יש ריתומים בסמכים הקיצוניים יבוצע תיקון על האינטגרל הראשון כך שהשיפוע במקום בו יש ריתום יתאפס (ויענה על צרכי ריתום). השפעת איפוס השיפוע בריתום לאורך הרכיב תיערך באמצעות פריסה ליניארית עד הסמך הנגדי.

5. יבוצע האינטגרל השני – השקיעה.

6. בסמך הקיצוני הימני תאופס השקיעה (ראה טבלה 20.1). השפעת האיפוס מועברת בפריסה ליניארית עד הסמך השני הנגדי.

בשלב זה נותר הרכיב כאילו נשען על שני הסמכים הקיצוניים אולם הובאו בחשבון ריתומים, אם יש.

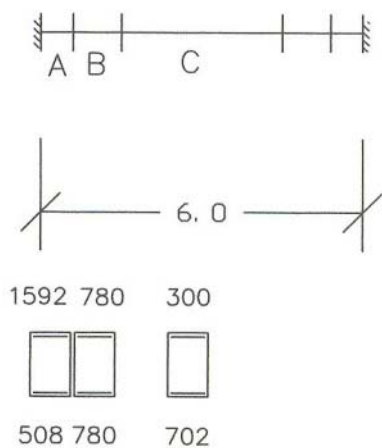
7. יועתק הקו האלסטי בכיוון איפוס השקיעה בכל סמך פנימי. ההשפעה של כל תזוזה כזאת תועבר אל יתר הסמכים בפריסה ליניארית.

8. סיכום המצבים לפי שלבים 6 ו 7 לעיל מהווה את השקיעה הסופית.

להלן נתונות 5 דוגמאות המתארות קשת רחבה של מקרים העונה כמעט לכל מצב לגבי רכיבים קווים. בכל הדוגמאות החתך זהה וכן הבטון בכולן 40 (כל נתוני הבטון לפי דוגמת Beeby). הזיון מסוג מצולע - Φ ומרכזי הכובד של הזיון בצד העליון או התחתון של החתך מצויים במרחק 40 מ"מ מהפן הקרוב.

דוגמה מס' 1

נתונה קורה בת שדה אחד – ציור מס' 20.2, בעלת מפתח של 6 מ', דו רתומה, בעלת חתך 300/500 מ"מ. הקורה עמוסה בעומס מפורס אחיד של 63.6 kN/m. הקורה חולקה ל 20 קטעים באורך 300 מ"מ כל אחד, בהתאם לצרכי הזיון לכפיפה, וכוללת את האיזורים: 600 מ"מ ליד הריתום, שם הזיון העליון – 1592 מ"מ והתחתון 508 מ"מ, 900 מ"מ נוספים כלפי המרכז שם הזיון העליון והתחתון 780 מ"מ, וכן האיזור המרכזי באורך 3000 מ"מ שם הזיון העליון 300 מ"מ והתחתון 762 מ"מ – ראה ציור 20.2.



ציור מס' 20.2

הפתרון נתון בטבלה 20.2 :

טבלה 20.2 - דוגמה מס' 1

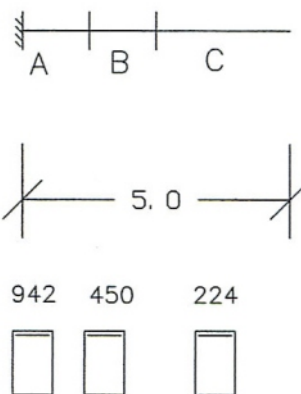
מרחק	המומנט	עקמומ'	עקמומ'	ksi	עקמומ'	אינטגרל	תיקון	אינטגרל	אינטגרל	שקיעה
מהסמך	בחתך	1/r1	1/r2		בעליל	ראשון	לאינטגרל	ראשון	שני	סופית
mm	kNm	1/m	1/m		1/m		ראשון	מתוקן		mm
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12
0	-190.80	-2621.96	-6317.88	0.976	-6227.66	0.00	0.00	0	0.00	0.00
300	-136.42	-1874.67	-4517.22	0.952	-4391.04	-1592.81	-198.45	-1791	-268.69	-0.27
600	-87.77	-1206.13	-2906.29	0.885	-2710.17	-2657.99	-396.90	-3055	-995.61	-1.00
900	-44.84	-643.79	-2577.01	0.627	-1856.73	-3343.02	-595.35	-3938	-2044.60	-2.04
1200	-7.63	-109.55	-438.51	0.000	-109.55	-3637.96	-793.80	-4432	-3300.12	-3.30
1500	23.85	342.43	1370.69	0.000	342.43	-3603.03	-992.25	-4595	-4654.18	-4.65
1800	49.61	742.66	2952.98	0.710	2311.30	-3204.97	-1190.70	-4396	-6002.82	-6.00
2100	69.64	1042.51	4145.24	0.853	3688.13	-2305.06	-1389.15	-3694	-7216.30	-7.22
2400	83.95	1256.74	4997.02	0.899	4617.83	-1059.17	-1587.60	-2647	-8167.45	-8.17
2700	92.54	1385.33	5508.33	0.917	5164.34	408.16	-1786.05	-1378	-8771.15	-8.77
3000	95.40	1428.14	5678.57	0.921	5344.89	1984.54	-1984.50	0	-8977.82	-8.98
3300	92.54	1385.33	5508.33	0.917	5164.34	3560.93	-2182.95	1378	-8771.12	-8.77
3600	83.95	1256.74	4997.02	0.899	4617.83	5028.25	-2381.40	2647	-8167.40	-8.17
3900	69.64	1042.51	4145.24	0.853	3688.13	6274.15	-2579.85	3694	-7216.22	-7.22
4200	49.61	742.66	2952.98	0.710	2311.30	7174.06	-2778.30	4396	-6002.72	-6.00
4500	23.85	342.43	1370.69	0.000	342.43	7572.12	-2976.75	4595	-4654.05	-4.65
4800	-7.63	-109.55	-438.51	0.000	-109.55	7607.05	-3175.20	4432	-3299.96	-3.30
5100	-44.84	-643.79	-2577.01	0.627	-1856.73	7312.11	-3373.65	3938	-2044.42	-2.04
5400	-87.77	-1206.13	-2906.29	0.885	-2710.17	6627.07	-3572.10	3055	-995.40	-1.00
5700	-136.42	-1874.67	-4517.22	0.952	-4391.04	5561.89	-3770.55	1791	-268.45	-0.27
6000	-190.80	-2621.96	-6317.88	0.976	-6227.66	3969.09	-3969.00	0	0.26	0.00

הבהרה:

עד עמודה 8 החישוב בטבלה מתבצע לפי דוגמת Beeby. אנחנו מניחים בשורה הראשונה בעמודה 8 שיפוע משיק 0 כערך הראשון של האינטגרל הראשון. אם עשינו הנחה אחרת שם היינו צריכים לבצע תיקון, כפי שהתבצע בעמודה 9 להלן על מנת לאפס את השיפוע עקב הריתום. בסוף עמודה 8 התקבל ערך עבור שיפוע הקו האלסטי אשר אינו 0. בסמך הימני יש ריתום ולכן שיפוע הקו האלסטי חייב להיות 0 ואת זה ניתן להשיג על ידי התיקון באמצעות עמודה 9. בעמודה זו מניחים כערך מתקן את הערך בתחתית עמודה 8 אולם בסימן הפוך ומנוונים את התוספת לשיפוע המשיק ליניארית עד לערך 0 בקצה הימני של הקורה. בעמודה 10 יש לנו (סיכום של עמודות 8 ו 9) את הערך המתוקן של האינטגרל הראשון המביא בחשבון ריתום בשני הקצוות. בעמודה 11 בוצע האינטגרל השני והוא חולק ב 1000 על מנת לקבל את השקיעה ב ממ' בעמודה 12.

דוגמה מס' 2

נתון זיז במפתח 5 מ' – ציור מס' 20.3, כל נתוני החומרים והחתך לפי דוגמת Beeby. על הזיז פועל עומס מפורס אחיד – 10 kN/m . לפי כמויות הזיון הדרושות לאחר חישוב, הזיז חולק ל 3 איזורים: 1250 ממ' ליד הריתום שם ניתן זיון עליון 942 ממ"ר, 1250 ממ' נוספים על ידם ושם ניתן זיון עליון 450 ממ"ר 2500 ממ' אחרונים שם הזיון העליון 224 ממ"ר. הזיז חולק ל 20 קטעים כלומר – 25 חתכים.



ציור מס' 20.3

הפתרון נתון בטבלה 20.3 :

הבהרה:

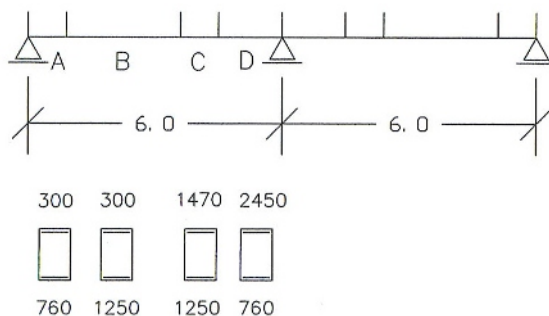
הפתרון הערוך בטבלה 20.3 מתנהל בדרך אשר הוסברה ללא שום צורך בתיקונים מן הטעם הבא: עד עמודה מס' 7 חושבה העקמומיות בדרך המקובלת. בעמודה מס' 8 נערך האינטגרל הראשון. הערך הראשון הוא 0. ערך זה עונה לצרכי הריתום ולכן אפשר להמשיך לכיוון האינטגרל השני. לגבי הקצה הנגדי, הוא הימני, אין שום אילוץ – לא לגבי שיפוע המשיק (האינטגרל הראשון) ולא לגבי השקיעה (האינטגרל השני). אי לכך בזאת הסתיים החישוב ובעמודה 12 נתונה השקיעה בממ'.

טבלה 20.3 - דוגמה מס' 2

מרחק	מומנט	עקמומ'	עקמומ'	מומנט	ksi	עקמומ'	אינטגרל	אינטגרל	שקיעה
מהסמך	בחתך	1/r1	1/r2	סדיקה		1/r	ראשון	שני	סופית
Mm	kNm			kNm					mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	-125.00	-1107.51	-4543.50	40.26	0.896	-4187.12	0.00	0.0	0.00
250	-112.81	-999.51	-4100.42	40.26	0.873	-3705.53	-986.58	-123.3	-0.12
500	-101.25	-897.08	-3680.24	40.26	0.842	-3240.26	-1854.80	-478.5	-0.48
750	-90.31	-800.16	-3282.59	40.26	0.801	-2789.31	-2608.50	-1036.4	-1.04
1000	-80.00	-708.81	-2907.84	40.26	0.747	-2351.00	-3251.04	-1768.9	-1.77
1250	-70.31	-622.95	-4780.15	40.26	0.672	-3417.29	-3972.08	-2671.7	-2.67
1500	-61.25	-563.45	-4164.19	38.14	0.612	-2767.86	-4745.22	-3761.4	-3.76
1750	-52.81	-485.81	-3590.38	38.14	0.478	-1970.90	-5337.57	-5021.8	-5.02
2000	-45.00	-413.96	-3059.40	38.14	0.282	-1158.85	-5728.78	-6405.0	-6.41
2250	-37.81	-347.82	-2570.58	38.14	0.000	-347.82	-5917.12	-7860.8	-7.86
2500	-31.25	-287.47	-2124.58	38.14	0.000	-287.47	-5996.53	-9350.0	-9.35
2750	-25.31	-237.00	-3206.01	37.17	0.000	-237.00	-6062.09	-10857.3	-10.86
3000	-20.00	-187.28	-2533.39	37.17	0.000	-187.28	-6115.12	-12379.5	-12.38
3250	-15.31	-143.36	-1939.31	37.17	0.000	-143.36	-6156.45	-13913.4	-13.91
3500	-11.25	-105.34	-1425.03	37.17	0.000	-105.34	-6187.54	-15456.4	-15.46
3750	-7.81	-73.13	-989.29	37.17	0.000	-73.13	-6209.85	-17006.1	-17.01
4000	-5.00	-46.82	-633.35	37.17	0.000	-46.82	-6224.85	-18560.4	-18.56
4250	-2.81	-26.31	-355.94	37.17	0.000	-26.31	-6233.99	-20117.8	-20.12
4500	-1.25	-11.70	-158.34	37.17	0.000	-11.70	-6238.74	-21676.9	-21.68
4750	-0.31	-2.90	-39.27	37.17	0.000	-2.90	-6240.57	-23236.8	-23.24
5000	0.00	0.00	0.00	37.17	0.000	0.00	-6240.93	-24797.0	-24.80

דוגמה מס' 3

נתונה קורה בת שני שדות באורך 6 מ' כ"א. הקורה עמוסה מפורס אחיד 70 kN/m . הקורה עשויה מחומרים כמפורט בדוגמת Beeby . לפי כמויות הזיון הדרושות הקורה חולקה ל 40 קטעים באורך 300 מ"מ כ"א. בקטעים באורך 900 מ"מ בסמוך לסמך הקיצוני הזיון הינו 300 מ"מ"ר עליון ו760 מ"מ"ר תחתון. באורך 2700 מ"מ במרכז השדה הזיון כולל 300 מ"מ"ר עליון ו 1250 מ"מ"ר זיון תחתון. בקטע נוסף באורך 900 מ"מ הזיון העליון הינו 1470 מ"מ"ר והתחתון 1250 מ"מ"ר. בקטע מעל וסביב הסמך המרכזי באורך 1500 מכל צד של הסמך המרכזי הזיון כולל 2450 מ"מ"ר זיון עליון ו 760 מ"מ"ר זיון תחתון. בדוגמה זו יש גיוון גדול בכמויות הזיון וזה בא לבטוי בריבוי קטעים המייצגים את תכונות החתך בקורה.



ציור מס' 20.4

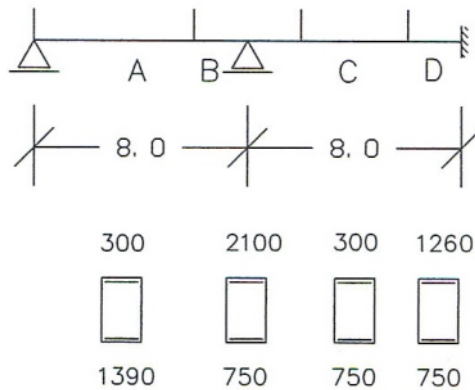
הפתרון נתון בטבלה 20.4 א' ו ב' (הטבלאות נמצאות בהמשך אחרי דוגמה מס' 4).

הבהרה:

הטבלה גדולה מאוד ועל כן חולקה לשני חלקים – אנכית. אין זה נוח במיוחד אולם האלטרנטיבה היתה לשוב כיוון ולחלק אופקית והיא לא יותר נוחה. הקורה עמוסה בעומס כבד ונידרשו כמויות זיון גדולות. אי לכך הפרוט הרצוי היה באמצעות ארבעה סוגי איזורים שונים כמתואר בציור. בחישוב קורה זו אין צורך לבצע תיקונים באינטגרל הראשון מאחר ואין דרישות לגבי השיפוע של הקו באלסטי. לעומת זאת הקורה בלתי מסוימת סטטית פעם אחת והיא נשענת חופשית על שני הסמכים הקיצוניים. אי לכך בוצע האינטגרל הראשון וללא צורך בתיקונים בוצע האינטגרל השני. תיקון ראשון לגביו בוצע בעמודה 10 (איפוס השקיעה בסמך הימני) והסיכום בעמודה 11. בעמודה 12 הורם הקו האלסטי על מנת לאפס את השקיעה בסמך המרכזי. השנויים אל שני הסמכים הקיצוניים לפי קו ליניארי. בעמודה 13 בוצע הסיכום ושם האינטגרל השני הסופי. חלוקה ב 1000 נותנת את השקיעה בממ' בעמודה 14.

דוגמה מס' 4

נתונה קורה בת שני שדות בני מפתח 8 מ' כל אחד. הקורה רתומה בסמך הקיצוני הימני – ראה ציור מס' 20.5. חתך הקורה 300/500 ממ'. הקורה עשויה מחומרים כמפורט בדוגמת Beeby. העומס הפועל עליה $F_{sd} = 40 \text{ kN/m}$. הקורה חולקה ל קטעים באורך 400 ממ'. ב 15 הקטעים ליד הסמך השמאלי הזיון כולל 300 ממ"ר עליון ו 1390 ממ"ר זיון תחתון. ב 10 קטעים משני צידי הסמך המרכזי הזיון כולל 2100 ממ"ר עליון ו 750 ממ"ר תחתון. בקטעים בשדה הימני הזיון כולל 300 ממ"ר עליון ו 750 ממ"ר תחתון, ולבסוף בקטעים בקרבת הריתום הזיון העליון הינו 1260 ממ"ר והתחתון 750 ממ"ר.



ציור מס' 20.5

הפתרון נתון בטבלה 20.5 א' ו ב' (בהמשך אחרי הטבלאות של דוגמה מס' 3).

הבהרה:

גם כאן, כמו בדוגמה 3 חולקה הטבלה לשני חלקים אנכיים מאותם הנימוקים. בחלק א' של הטבלה – השמאלי, מתבצעים החישובים באופן שגרתי, עד העקמומיות בעליל והאינטגרל הראשון. מאחר וקיים ריתום בסמך הימני יש לבצע תיקון לאיפוס השיפוע של המשיק בסמך זה. התיקון מבוצע בעמודה 9 וסיכום עמודות 8 ו 9 בעמודה 10 נותן את האינטגרל הראשון המתוקן הסופי. בעמודה 11 בוצע האינטגרל השני. לגביו יש צורך, כמו בדוגמה 3. בשני תיקונים: תיקון ראשון בעמודה 12 מאפס את האינטגרל השני בסמך המרכזי עם ירידה ליניארית כלפי שני הסמכים הקיצוניים. כעת ידוע כי השקיעה בסמך המרכזי אופסה, אי לכך מספיק להרים את הסמך הקיצוני (עמודה 13) עם התנוונות ליניארית כלפי המרכזי ובשדה השמאלי אין השפעה לתיקון זה. הסיכום בעמודה 14 ובעמודה 15 נתונה השקיעה.

טבלה 20.4 א - דוגמה מס' 3 (חלק א' שמאל)

מרחק	המומנט	עקמומ'	עקמומ'	מומנט	Ksi	עקמומ'	אינטגרל
מהסמך	בחתך	1/r1	1/r2	הסדיקה		בעליל	ראשון
mm	kNm	1/m	1/m	kNm		1/m	
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	40.06	0.000	0.00	0.00
300	44.1	386.37	1893.97	40.06	0.175	650.19	97.53
600	81.9	717.54	3517.38	40.06	0.761	2847.65	622.20
900	113.4	993.51	4870.21	40.06	0.875	4386.52	1707.33
1200	138.6	1172.25	3956.92	42.01	0.908	3701.15	2920.48
1500	157.5	1332.11	4496.50	42.01	0.929	4271.42	4116.36
1800	170.1	1438.68	4856.22	42.01	0.939	4647.82	5454.25
2100	176.4	1491.96	5036.08	42.01	0.943	4835.12	6876.69
2400	176.4	1491.96	5036.08	42.01	0.943	4835.12	8327.23
2700	170.1	1438.68	4856.22	42.01	0.939	4647.82	9749.67
3000	157.5	1332.11	4496.50	42.01	0.929	4271.42	11087.55
3300	138.6	1172.25	3956.92	42.01	0.908	3701.15	12283.44
3600	113.4	877.90	2741.22	44.97	0.843	2448.26	13205.85
3900	81.9	634.04	1979.77	44.97	0.699	1574.13	13809.21
4200	44.1	341.41	1066.03	44.97	0.000	341.41	14096.54
4500	0	0.00	0.00	48.08	0.000	0.00	14147.75
4800	-50.4	-381.07	-839.68	48.08	0.090	-422.41	14084.39
5100	-107.1	-809.78	-1784.32	48.08	0.799	-1587.96	13782.83
5400	-170.1	-1286.12	-2833.93	48.08	0.920	-2710.29	13138.10
5700	-239.4	-1810.10	-3988.49	48.08	0.960	-3900.64	12146.46
6000	-315	-2381.71	-5248.01	48.08	0.977	-5181.25	10784.17
6300	-239.4	-1810.10	-3988.49	48.08	0.960	-3900.64	9421.89
6600	-170.1	-1286.12	-2833.93	48.08	0.920	-2710.29	8430.25
6900	-107.1	-809.78	-1784.32	48.08	0.799	-1587.96	7785.51
7200	-50.4	-381.07	-839.68	48.08	0.090	-422.41	7483.96
7500	0	0.00	0.00	48.08	0.000	0.00	7420.60
7800	44.1	341.41	1066.03	44.97	0.000	341.41	7471.81
8100	81.9	634.04	1979.77	44.97	0.699	1574.13	7759.14
8400	113.4	877.90	2741.22	44.97	0.843	2448.26	8362.50
8700	138.6	1172.25	3956.92	42.01	0.908	3701.15	9284.91
9000	157.5	1332.11	4496.50	42.01	0.929	4271.42	10480.80
9300	170.1	1438.68	4856.22	42.01	0.939	4647.82	11818.68
9600	176.4	1491.96	5036.08	42.01	0.943	4835.12	13241.12
9900	176.4	1491.96	5036.08	42.01	0.943	4835.12	14691.66
10200	170.1	1438.68	4856.22	42.01	0.939	4647.82	16114.10
10500	157.5	1332.11	4496.50	42.01	0.929	4271.42	17451.98
10800	138.6	1172.25	3956.92	42.01	0.908	3701.15	18647.87
11100	113.4	993.51	4870.21	40.06	0.875	4386.52	19861.02
11400	81.9	717.54	3517.38	40.06	0.761	2847.65	20946.14
11700	44.1	386.37	1893.97	40.06	0.175	650.19	21470.82
12000	0	0.00	0.00	40.06	0.000	0.00	21568.35

טבלה 20.4 ב - דוגמה מס' 3 (חלק ב' ימין)

שקיעה	אינטגרל שני	תיקון שני	אינטגרל שני	תיקון ראשון	אינטגרל ראשון	עקמומ'
סופית	מתוקן סופית	לאינטגרל	לאחר תיקון	לאינטגרל שני	ראשון	בעליל
mm		שני	ראשון		1/m	
14	13	12	11	10	8	7
0.00	0	0	0	0	0.00	0.00
-2.64	-2641.06	579.57	-3220.62	-3235.25	97.53	650.19
-5.19	-5188.79	1159.13	-6347.92	-6470.51	622.20	2847.65
-7.50	-7495.04	1738.70	-9233.74	-9705.76	1707.33	4386.52
-9.46	-9456.56	2318.26	-11774.82	-12941.01	2920.48	3701.15
-11.06	-11056.72	2897.83	-13954.55	-16176.26	4116.36	4271.42
-12.28	-12276.82	3477.39	-15754.21	-19411.52	5454.25	4647.82
-13.08	-13082.86	4056.96	-17139.82	-22646.77	6876.69	4835.12
-13.46	-13457.96	4636.52	-18094.48	-25882.02	8327.23	4835.12
-13.40	-13402.12	5216.09	-18618.20	-29117.27	9749.67	4647.82
-12.93	-12932.22	5795.65	-18727.87	-32352.53	11087.55	4271.42
-12.08	-12082.26	6375.22	-18457.48	-35587.78	12283.44	3701.15
-10.91	-10914.56	6954.78	-17869.34	-38823.03	13205.85	2448.26
-9.52	-9517.99	7534.35	-17052.33	-42058.28	13809.21	1574.13
-7.99	-7987.81	8113.91	-16101.72	-45293.54	14096.54	341.41
-6.41	-6406.86	8693.48	-15100.33	-48528.79	14147.75	0.00
-4.83	-4827.72	9273.04	-14100.76	-51764.04	14084.39	-422.41
-3.30	-3303.33	9852.61	-13155.93	-54999.29	13782.83	-1587.96
-1.92	-1920.87	10432.17	-12353.04	-58234.55	13138.10	-2710.29
-0.78	-783.88	11011.74	-11795.61	-61469.80	12146.46	-3900.64
0.00	0.03	11591.30	-11591.27	-64705.05	10784.17	-5181.25
-0.78	-783.88	11011.74	-11795.62	-67940.30	9421.89	-3900.64
-1.92	-1920.88	10432.17	-12353.05	-71175.56	8430.25	-2710.29
-3.30	-3303.33	9852.61	-13155.93	-74410.81	7785.51	-1587.96
-4.83	-4827.73	9273.04	-14100.77	-77646.06	7483.96	-422.41
-6.41	-6406.86	8693.48	-15100.34	-80881.31	7420.60	0.00
-7.99	-7987.82	8113.91	-16101.73	-84116.57	7471.81	341.41
-9.52	-9517.99	7534.35	-17052.34	-87351.82	7759.14	1574.13
-10.91	-10914.57	6954.78	-17869.35	-90587.07	8362.50	2448.26
-12.08	-12082.27	6375.22	-18457.49	-93822.32	9284.91	3701.15
-12.93	-12932.24	5795.65	-18727.89	-97057.58	10480.80	4271.42
-13.40	-13402.13	5216.09	-18618.22	-100292.83	11818.68	4647.82
-13.46	-13457.98	4636.52	-18094.50	-103528.08	13241.12	4835.12
-13.08	-13082.88	4056.96	-17139.83	-106763.33	14691.66	4835.12
-12.28	-12276.83	3477.39	-15754.22	-109998.59	16114.10	4647.82
-11.06	-11056.74	2897.83	-13954.56	-113233.84	17451.98	4271.42
-9.46	-9456.58	2318.26	-11774.84	-116469.09	18647.87	3701.15
-7.50	-7495.06	1738.70	-9233.76	-119704.34	19861.02	4386.52
-5.19	-5188.81	1159.13	-6347.94	-122939.60	20946.14	2847.65
-2.64	-2641.08	579.57	-3220.65	-126174.85	21470.82	650.19
0.00	-0.02	0.00	-0.02	-129410.10	21568.35	0.00

טבלה 20.5 א- דוגמה מס' 4 (חלק א' שמאל)

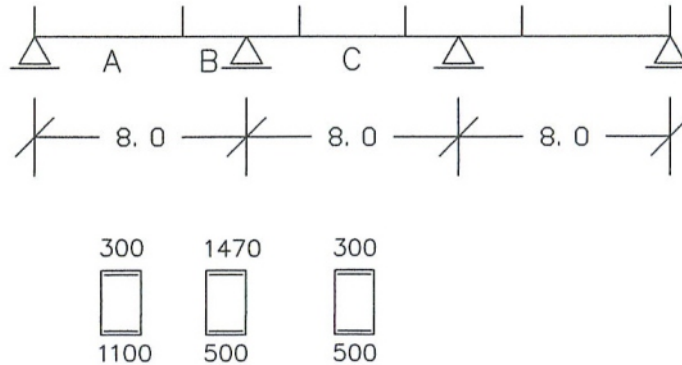
מרחק	המומנט	מומנט	עקמומ'	עקמומ'	ksi	עקמומ'	אינטגרל
הסמך	בחתך	הסדיקה	1/r1	1/r2		בעליל	ראשון
mm	kNm	kNm	1/m	1/m		1/r	
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.00	42.76	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
400	47.09	42.76	394.47	1026.73	0.175	505.35	101.07
800	87.77	42.76	735.25	1913.70	0.763	1633.97	528.94
1200	122.06	42.76	1022.50	2661.35	0.877	2460.20	1347.77
1600	149.94	42.76	1256.05	3269.23	0.919	3105.49	2460.91
2000	171.43	42.76	1436.07	3737.79	0.938	3594.57	3800.92
2400	186.51	42.76	1562.40	4066.59	0.947	3934.95	5306.83
2800	195.20	42.76	1635.20	4256.06	0.952	4130.28	6919.87
3200	197.49	42.76	1654.38	4305.99	0.953	4181.67	8582.27
3600	193.37	42.76	1619.87	4216.16	0.951	4089.19	10236.44
4000	182.86	42.76	1531.82	3987.01	0.945	3852.74	11824.83
4400	165.94	42.76	1390.08	3618.09	0.934	3470.13	13289.40
4800	142.63	42.76	1194.82	3109.85	0.910	2937.71	14570.97
5200	112.91	42.76	945.85	2461.84	0.857	2244.40	15607.39
5600	76.80	42.76	643.36	1674.52	0.690	1354.83	16327.24
6000	34.29	46.55	264.98	640.77	0.000	264.98	16651.20
6400	-14.63	46.55	-113.06	-273.39	0.000	-113.06	16681.59
6800	-69.94	46.55	-540.47	-1306.95	0.557	-967.43	16465.49
7200	-131.66	46.55	-1017.42	-2460.29	0.875	-2279.93	15816.02
7600	-199.77	46.55	-1543.75	-3733.04	0.946	-3614.18	14637.20
8000	-274.29	46.55	-2119.61	-5125.57	0.971	-5039.00	12906.56
8400	-208.91	46.55	-1614.38	-3903.84	0.950	-3790.17	11140.73
8800	-149.94	46.55	-1158.68	-2801.88	0.904	-2643.51	9853.99
9200	-97.37	46.55	-752.44	-1819.52	0.771	-1575.65	9010.15
9600	-51.20	46.55	-395.65	-956.76	0.173	-492.97	8596.43
10000	-11.43	46.55	-88.33	-213.59	0.000	-88.33	8480.17
10400	21.94	39.96	192.39	953.25	0.000	192.39	8500.98
10800	48.91	39.96	428.88	2125.04	0.333	993.09	8738.08
11200	69.49	39.96	609.35	3019.20	0.669	2222.49	9381.19
11600	83.66	39.96	733.60	3634.86	0.772	2973.09	10420.31
12000	91.43	39.96	801.74	3972.45	0.809	3366.92	11688.31
12400	92.80	39.96	813.75	4031.98	0.815	3435.38	13048.77
12800	87.77	39.96	769.64	3813.43	0.793	3182.65	14372.38
13200	76.34	39.96	669.41	3316.82	0.726	2591.59	15527.23
13600	58.51	39.96	513.07	2542.14	0.534	1595.91	16364.73
14000	34.29	42.99	279.93	955.15	0.000	279.93	16739.90
14400	3.66	42.99	29.88	101.95	0.000	29.88	16801.86
14800	-33.37	42.99	-272.42	-929.53	0.000	-272.42	16753.35
15200	-76.80	42.99	-626.96	-2139.28	0.687	-1665.46	16365.77
15600	-126.63	42.99	-1033.76	-3527.30	0.885	-3239.93	15384.69
16000	-182.86	42.99	-1492.80	-5093.59	0.945	-4894.59	13757.79

טבלה 20.5 ב דוגמה מס' 4 (חלק ב' – ימין)

אינטגרל	תיקון	אינטגרל	אינטגרל	תיקון א'	תיקון ב'	אינטגרל	שקיעה
ראשון	לאינטגרל	ראשון	שני	לאינטגרל	לאינטגרל	שני	סופית
	ראשון	סופי		שני	שני	סופי	mm
8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
101.07	-343.95	-242.87	-48.6	-2576.4	0.0	-2625.0	-2.62
528.94	-687.89	-158.95	-128.9	-5152.8	0.0	-5281.8	-5.28
1347.77	-1031.84	315.94	-97.5	-7729.2	0.0	-7826.8	-7.83
2460.91	-1375.78	1085.13	182.7	-10305.7	0.0	-10123.0	-10.12
3800.92	-1719.73	2081.20	815.9	-12882.1	0.0	-12066.1	-12.07
5306.83	-2063.67	3243.16	1880.8	-15458.5	0.0	-13577.7	-13.58
6919.87	-2407.62	4512.26	3431.9	-18034.9	0.0	-14603.0	-14.60
8582.27	-2751.56	5830.71	5500.5	-20611.3	0.0	-15110.8	-15.11
10236.44	-3095.51	7140.93	8094.8	-23187.7	0.0	-15092.9	-15.09
11824.83	-3439.45	8385.38	11200.1	-25764.1	0.0	-14564.1	-14.56
13289.40	-3783.40	9506.01	14778.4	-28340.5	0.0	-13562.2	-13.56
14570.97	-4127.34	10443.63	18768.3	-30917.0	0.0	-12148.7	-12.15
15607.39	-4471.29	11136.11	23084.2	-33493.4	0.0	-10409.1	-10.41
16327.24	-4815.23	11512.01	27613.8	-36069.8	0.0	-8455.9	-8.46
16651.20	-5159.18	11492.03	32214.7	-38646.2	0.0	-6431.5	-6.43
16681.59	-5503.12	11178.47	36748.8	-41222.6	0.0	-4473.8	-4.47
16465.49	-5847.07	10618.43	41108.1	-43799.0	0.0	-2690.9	-2.69
15816.02	-6191.01	9625.01	45156.8	-46375.4	0.0	-1218.6	-1.22
14637.20	-6534.96	8102.24	48702.3	-48951.8	0.0	-249.6	-0.25
12906.56	-6878.90	6027.66	51528.3	-51528.3	0.0	0.0	0.00
11140.73	-7222.85	3917.88	53517.4	-48951.8	-3459.1	1106.4	1.11
9853.99	-7566.79	2287.20	54758.4	-46375.4	-6918.2	1464.8	1.46
9010.15	-7910.74	1099.42	55435.7	-43799.0	-10377.3	1259.4	1.26
8596.43	-8254.68	341.75	55723.9	-41222.6	-13836.4	664.9	0.66
8480.17	-8598.63	-118.45	55768.6	-38646.2	-17295.5	-173.1	-0.17
8500.98	-8942.57	-441.59	55656.6	-36069.8	-20754.6	-1167.8	-1.17
8738.08	-9286.52	-548.44	55458.6	-33493.4	-24213.7	-2248.5	-2.25
9381.19	-9630.46	-249.27	55299.0	-30917.0	-27672.8	-3290.7	-3.29
10420.31	-9974.41	445.90	55338.4	-28340.5	-31131.9	-4134.0	-4.13
11688.31	-10318.35	1369.96	55701.5	-25764.1	-34591.0	-4653.5	-4.65
13048.77	-10662.30	2386.47	56452.8	-23187.7	-38050.1	-4784.9	-4.78
14372.38	-11006.24	3366.14	57603.3	-20611.3	-41509.2	-4517.1	-4.52
15527.23	-11350.19	4177.04	59112.0	-18034.9	-44968.2	-3891.2	-3.89
16364.73	-11694.13	4670.60	60881.5	-15458.5	-48427.3	-3004.3	-3.00
16739.90	-12038.08	4701.82	62756.0	-12882.1	-51886.4	-2012.5	-2.01
16801.86	-12382.02	4419.84	64580.3	-10305.7	-55345.5	-1070.9	-1.07
16753.35	-12725.97	4027.38	66269.8	-7729.2	-58804.6	-264.1	-0.26
16365.77	-13069.91	3295.86	67734.4	-5152.8	-62263.7	317.9	0.32
15384.69	-13413.86	1970.84	68787.8	-2576.4	-65722.8	488.5	0.49
13757.79	-13757.80	-0.01	69181.9	0.0	-69181.9	0.0	0.00

דוגמה מס' 5

קורה נמשכת בת שלושה שדות, כל שדה באורך 8 מ' – ראה ציור מס' 20.6, עמוסה בעומס מפורס אחיד $F_{sd} = 30 \text{ kN/m}$. הקורה עשויה מחומרים כמפורט בדוגמת Beeby. חתך הקורה 300/500 מ.מ. הקורה חולקה ל 60 קטעים באורך 400 מ.מ. כל אחד. ב 5600 מ.מ. בשדות הקיצוניים הזיון כולל 300 מ.מ. זיון עליון ו 1100 מ.מ. זיון תחתון. ב 4000 מ.מ. בשדה המרכזי הזיון כולל 300 מ.מ. זיון עליון ו 500 מ.מ. זיון תחתון. ב 4400 מ.מ. סביב הסמכים המרכזיים הזיון כולל 1470 מ.מ. זיון עליון ו 500 מ.מ. זיון תחתון.



ציור מס' 20.6

הפתרון נתון בטבלה 20.6 א' ו ב' להלן.

הבהרה:

גם בדוגמה זו קורה בלתי מסוימת סטטית פעמיים, לעומת זאת אין דרישות ריתום. אי לכך אפשר לבצע את האינטגרל הראשון (עד עמודה 8 בחלק הראשון של הטבלה) ולבצע את האינטגרל השני (עמודה 9 בחלק השני של הטבלה).

ראשית יש לאפס את האינטגרל השני בסמך הימני קיצוני וזה נתון בעמודה 10. כעת יש לבצע את הסיכום והוא נתון בעמודה 11.

כעת הקורה לכאורה על שני סמכים, דבר שכמובן אינו נכון מאחר וכל סדרת השיפועים חושבה עבור מהלך מומנטים של הקורה הנמשכת.

עוד עבור האינטגרל השני יש לבצע איפוס השקיעה בשני הסמכים הפנימיים. עקב הסימטריה ניתן לבצע זאת במהלך אחד וזה נתון בעמודה 12. הסיכום המתוקן נתון בעמודה 13 ובעמודה 14 נתונה השקיעה.

טבלה מס' 20.6 א - דוגמה מס' 5

מרחק מהסמך	המומנט בחתך	מומנט הסדיקה	עקמומיות לא סדוקה	עקמומיות סדוקה	ksi	עקמומיות בעליל	אינטגרל ראשון
mm	kNm	kNm	1/r1	1/r2		1/r	
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.00	41.39	0.00	0.00	0.000	0.00	0.0
400	36.00	41.39	307.71	1138.88	0.000	307.71	61.5
800	67.20	41.39	574.40	2125.91	0.621	1537.33	430.6
1200	93.60	41.39	800.05	2961.09	0.804	2538.52	1245.7
1600	115.20	41.39	984.68	3644.42	0.871	3301.08	2413.6
2000	132.00	41.39	1128.28	4175.89	0.902	3876.25	3849.1
2400	144.00	41.39	1230.85	4555.52	0.917	4280.85	5480.5
2800	151.20	41.39	1292.40	4783.30	0.925	4521.70	7241.0
3200	153.60	41.39	1312.91	4859.22	0.927	4601.72	9065.7
3600	151.20	41.39	1292.40	4783.30	0.925	4521.70	10890.4
4000	144.00	41.39	1230.85	4555.52	0.917	4280.85	12650.9
4400	132.00	41.39	1128.28	4175.89	0.902	3876.25	14282.3
4800	115.20	41.39	984.68	3644.42	0.871	3301.08	15717.8
5200	93.60	41.39	800.05	2961.09	0.804	2538.52	16885.7
5600	67.20	41.39	574.40	2125.91	0.621	1537.33	17700.9
6000	36.00	42.78	282.14	895.75	0.000	282.14	18064.8
6400	0.00	42.78	0.00	0.00	0.000	0.00	18121.2
6800	-40.80	42.78	-319.76	-1015.18	0.000	-319.76	18057.3
7200	-86.40	42.78	-677.15	-2149.79	0.755	-1788.75	17635.6
7600	-136.80	42.78	-1072.15	-3403.83	0.902	-3175.81	16642.6
8000	-192.00	42.78	-1504.77	-4777.31	0.950	-4614.84	15084.5
8400	-146.40	42.78	-1147.39	-3642.70	0.915	-3429.63	13475.6
8800	-105.60	42.78	-827.63	-2627.52	0.836	-2332.13	12323.3
9200	-69.60	42.78	-545.48	-1731.77	0.622	-1283.59	11600.1
9600	-38.40	42.78	-300.95	-955.46	-0.241	-143.13	11314.8
10000	20.00	38.95	178.74	1231.53	-2.793	-2761.43	10733.9
10400	41.60	38.95	371.78	2561.58	0.123	641.89	10310.0
10800	58.40	38.95	521.93	3596.06	0.555	2228.61	10884.1
11200	70.40	38.95	629.17	4334.98	0.694	3200.61	11969.9
11600	77.60	38.95	693.52	4778.33	0.748	3749.21	13359.9
12000	80.00	38.95	714.97	4926.11	0.763	3927.87	14895.3
12400	77.60	38.95	693.52	4778.33	0.748	3749.21	16430.7
12800	70.40	38.95	629.17	4334.98	0.694	3200.61	17820.7
13200	58.40	38.95	521.93	3596.06	0.555	2228.61	18906.5
13600	41.60	38.95	371.78	2561.58	0.123	641.89	19480.6
14000	20.00	38.95	178.74	1231.53	-2.793	-2761.43	19056.7
14400	-38.40	42.78	-300.95	-955.46	-0.241	-143.13	18475.8
14800	-69.60	42.78	-545.48	-1731.77	0.622	-1283.59	18190.4
15200	-105.60	42.78	-827.63	-2627.52	0.836	-2332.13	17467.3
15600	-146.40	42.78	-1147.39	-3642.70	0.915	-3429.63	16314.9
16000	-192.00	42.78	-1504.77	-4777.31	0.950	-4614.84	14706.1
16400	-136.80	42.78	-1072.15	-3403.83	0.902	-3175.81	13147.9
16800	-86.40	42.78	-677.15	-2149.79	0.755	-1788.75	12155.0
17200	-40.80	42.78	-319.76	-1015.18	0.000	-319.76	11733.3
17600	0.00	42.78	0.00	0.00	0.000	0.00	11669.4
18000	36.00	42.78	282.14	895.75	0.000	282.14	11725.8
18400	67.20	41.39	574.40	2125.91	0.621	1537.33	12089.7
18800	93.60	41.39	800.05	2961.09	0.804	2538.52	12904.8
19200	115.20	41.39	984.68	3644.42	0.871	3301.08	14072.8
19600	132.00	41.39	1128.28	4175.89	0.902	3876.25	15508.2
20000	144.00	41.39	1230.85	4555.52	0.917	4280.85	17139.7
20400	151.20	41.39	1292.40	4783.30	0.925	4521.70	18900.2
20800	153.50	41.39	1312.06	4856.06	0.927	4598.39	20724.2
21200	151.20	41.39	1292.40	4783.30	0.925	4521.70	22548.2
21600	144.00	41.39	1230.85	4555.52	0.917	4280.85	24308.7
22000	132.00	41.39	1128.28	4175.89	0.902	3876.25	25940.1
22400	115.20	41.39	984.68	3644.42	0.871	3301.08	27375.6
22800	93.60	41.39	800.05	2961.09	0.804	2538.52	28543.5
23200	67.20	41.39	574.40	2125.91	0.621	1537.33	29358.7
23600	36.00	41.39	307.71	1138.88	0.000	307.71	29727.7
24000	0.00	41.39	0.00	0.00	0.000	0.00	29789.2

טבלה מס' 20.6 ב' – דוגמה מס' 5

אינטגרל ראשון	ינטגרל שני	איפוס סמך ימני	סיכום ביניים	איפוס שני סמכים פנימיים	אינטגרל 2 סיכום תיקון	שקיעה סופית Mm
1/m						
8	9	10	11	12	13	14
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
61.5	12.3	-5958.0	-5945.7	1678.4	-4267.3	-4.27
430.6	110.7	-11916.1	-11805.4	3356.8	-8448.6	-8.45
1245.7	446.0	-17874.1	-17428.1	5035.2	-12392.9	-12.39
2413.6	1177.9	-23832.2	-22654.3	6713.6	-15940.7	-15.94
3849.1	2430.4	-29790.2	-27359.8	8392.0	-18967.8	-18.97
5480.5	4296.3	-35748.3	-31451.9	10070.4	-21381.5	-21.38
7241.0	6840.6	-41706.3	-34865.7	11748.8	-23116.9	-23.12
9065.7	10102.0	-47664.3	-37562.3	13427.2	-24135.1	-24.14
10890.4	14093.2	-53622.4	-39529.2	15105.6	-24423.6	-24.42
12650.9	18801.5	-59580.4	-40778.9	16784.0	-23994.9	-23.99
14282.3	24188.1	-65538.5	-41350.3	18462.4	-22887.9	-22.89
15717.8	30188.2	-71496.5	-41308.3	20140.8	-21167.5	-21.17
16885.7	36708.9	-77454.5	-40745.7	21819.2	-18926.5	-18.93
17700.9	43626.2	-83412.6	-39786.4	23497.6	-16288.8	-16.29
18064.8	50779.3	-89370.6	-38591.3	25176.0	-13415.3	-13.42
18121.2	58016.5	-95328.7	-37312.2	26854.4	-10457.8	-10.46
18057.3	65252.2	-101286.7	-36034.5	28532.8	-7501.7	-7.50
17635.6	72390.8	-107244.8	-34854.0	30211.2	-4642.8	-4.64
16642.6	79246.4	-113202.8	-33956.4	31889.6	-2066.8	-2.07
15084.5	85591.8	-119160.8	-33569.0	33568.0	-1.0	0.00
13475.6	91303.9	-125118.9	-33815.0	33568.0	-247.0	-0.25
12323.3	96463.6	-131076.9	-34613.3	33568.0	-1045.3	-1.05
11600.1	101248.3	-137035.0	-35786.6	33568.0	-2218.6	-2.22
11314.8	105831.3	-142993.0	-37161.7	33568.0	-3593.7	-3.59
10733.9	110241.0	-148951.0	-38710.0	33568.0	-5142.0	-5.14
10310.0	114449.8	-154909.1	-40459.3	33568.0	-6891.3	-6.89
10884.1	118688.6	-160867.1	-42178.5	33568.0	-8610.5	-8.61
11969.9	123259.4	-166825.2	-43565.8	33568.0	-9997.8	-10.00
13359.9	128325.3	-172783.2	-44457.9	33568.0	-10889.9	-10.89
14895.3	133976.4	-178741.3	-44764.9	33568.0	-11196.9	-11.20
16430.7	140241.6	-184699.3	-44457.7	33568.0	-10889.7	-10.89
17820.7	147091.8	-190657.3	-43565.5	33568.0	-9997.5	-10.00
18906.5	154437.3	-196615.4	-42178.1	33568.0	-8610.1	-8.61
19480.6	162114.7	-202573.4	-40458.7	33568.0	-6890.7	-6.89
19056.7	169822.2	-208531.5	-38709.3	33568.0	-5141.3	-5.14
18475.8	177328.7	-214489.5	-37160.8	33568.0	-3592.8	-3.59
18190.4	184661.9	-220447.5	-35785.6	33568.0	-2217.6	-2.22
17467.3	191793.5	-226405.6	-34612.1	33568.0	-1044.1	-1.04
16314.9	198549.9	-232363.6	-33813.7	33568.0	-245.7	-0.25
14706.1	204754.1	-238321.7	-33567.6	33568.0	0.4	0.00
13147.9	210324.9	-244279.7	-33954.8	31889.6	-2065.2	-2.07
12155.0	215385.5	-250237.8	-34852.3	30211.2	-4641.1	-4.64
11733.3	220163.2	-256195.8	-36032.6	28532.8	-7499.8	-7.50
11669.4	224843.7	-262153.8	-37310.1	26854.4	-10455.7	-10.46
11725.8	229522.7	-268111.9	-38589.2	25176.0	-13413.2	-13.41
12089.7	234285.8	-274069.9	-39784.1	23497.6	-16286.5	-16.29
12904.8	239284.7	-280028.0	-40743.2	21819.2	-18924.0	-18.92
14072.8	244680.2	-285986.0	-41305.8	20140.8	-21165.0	-21.16
15508.2	250596.4	-291944.0	-41347.6	18462.4	-22885.2	-22.89
17139.7	257126.0	-297902.1	-40776.1	16784.0	-23992.1	-23.99
18900.2	264334.0	-303860.1	-39526.1	15105.6	-24420.5	-24.42
20724.2	272258.8	-309818.2	-37559.3	13427.2	-24132.1	-24.13
22548.2	280913.3	-315776.2	-34862.9	11748.8	-23114.1	-23.11
24308.7	290284.7	-321734.3	-31449.5	10070.4	-21379.1	-21.38
25940.1	300334.5	-327692.3	-27357.8	8392.0	-18965.8	-18.97
27375.6	310997.6	-333650.3	-22652.7	6713.6	-15939.1	-15.94
28543.5	322181.4	-339608.4	-17426.9	5035.2	-12391.7	-12.39
29358.7	333761.9	-345566.4	-11804.5	3356.8	-8447.7	-8.45
29727.7	345579.2	-351524.5	-5945.3	1678.4	-4266.9	-4.27
29789.2	357482.5	-357482.5	0.0	0.0	0.0	0.00

