



ניהול התפעול והיצור

פרק 6 – ניהול פרויקטים

ד"ר אורן נחום

פרוייקט

□ פרוייקט הוא משימה חד-פעמית של אוסף פעולות, עם התחלה וסיום מוגדרים. את הפעולות יש לבצע בסדר מסויים, הנקבע לפי שיקולים טכנולוגיים ולוגיסטיים.

□ קיימת אפשרות, שביצוע חלק מהפרוייקט או כולו יחזור על עצמו לאחר תקופת זמן מסויימת.

□ נגדיר:

□ פרוייקט יחידתי – פרוייקט שהתוצר שלו הוא יחידה אחת.

□ פרוייקט סידרתי – פרוייקט שהתוצר שלו הוא מספר יחידות של אותו מוצר.

מדדי ביצוע

□ קיימים מס' מדדי ביצוע מקובלים לצורך בחינת מידת ההצלחה של פרוייקט:

□ עמידה בלוחות זמנים – בד"כ מתייחס למועד הסיום של הפרוייקט, עם זאת מקובל לעמוד על קיומו של לוח זמנים גם לגבי פעולות ביניים בביצוע הפרוייקט, כדי לוודא שהפרוייקט מתקדם כצפוי.

□ טיב העבודה – בד"כ מוגדר במפרט המתייחס, הן לתכונות החומרים שבהם יש להשתמש והן לתכונות המוצר הסופי. לעיתים ניתן למדוד את טיב העבודה באופן כמותי ולכמת את הסטייה שבין הטיב הנדרש לבין הטיב בפועל, ולעיתים ניתן לעשות זאת רק באופן איכותי, האם הטיב עומד בדרישות או לא.

□ מחיר סופי – מציין את סך-כל ההון שהיה דרוש לביצוע הפרוייקט. קיימים מקרים בהם יש פער בין המחיר המתוכנן למחיר בפועל (גלישה).

מדדי ביצוע

□ חישובי מדדי גלישה בזמן ובתקציב מתבטא בשתי נוסחאות מקובלות:

$$TD = \frac{BP - BS}{BS}$$

$$BD = \frac{BP - AP}{BP}$$

□ כאשר:

□ TD – הגלישה בזמן

□ BD – הגלישה בתקציב

□ BP – התקציב לעבודות שבוצעו

□ BS – התקציב לכל העבודות שהיו צריכות להתבצע עד כה

□ AP – עלות למעשה של העבודות שבוצעו

מדדי ביצוע - דוגמא

□ העלות למעשה של העבודות, שבוצעו בפרוייקט מסויים עד לרגע זה היא $AP = 100000$.

□ התקציב המתוכנן לביצוע אותן עבודות היה $BP = 120000$.

□ תוכנן תקציב של $BS = 160000$ לעבודות שהיו חייבות להסתיים עד רגע זה.

□ חישוב מדדי הגלישה יתן:

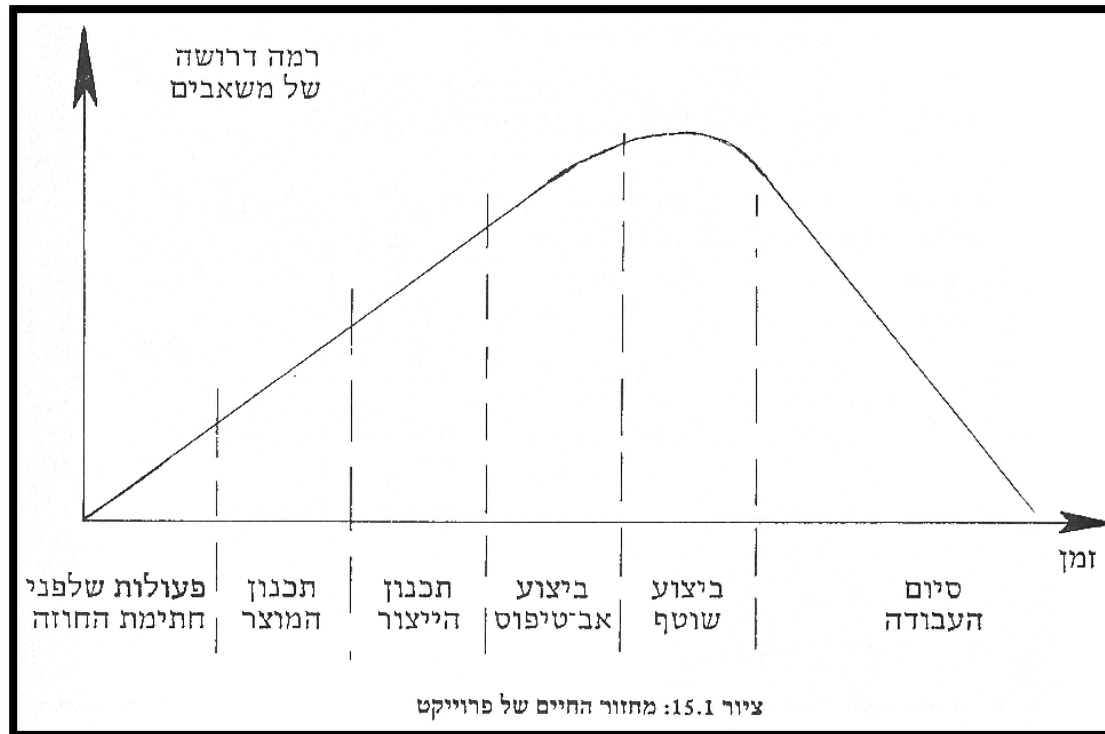
$$TD = \frac{BP - BS}{BS} = \frac{120000 - 160000}{160000} = -0.25 \quad \square$$

$$BD = \frac{BP - AP}{BP} = \frac{120000 - 100000}{120000} = +0.17 \quad \square$$

□ כלומר, הפרוייקט נמצא בפיגור של כ-25% מבחינת זמני ביצוע. עם זאת, העבודות שהסתיימו בוצעו בחיסכון תקציבי של 17% מהסכום להוקצב לביצוען.

מחזור החיים של פרוייקט

- בכל פרויקט ניתן להבחין במספר שלבים מקובלים. כאשר הבעיות והטכניקות הנדרשות לפתירת בעיות אלו שונות משלב לשלב.
- ניתן לתאר את השלבים השונים של מחזור החיים של הפרוייקט בעזרת האיור הבא:



נושאים עיקריים הדורשים התייחסות

- חלוקת הפרוייקט (או השלב) לנושאי עבודה עיקריים, השונים זה מזה במיומניות הדרושות, כאשר ניתן להציב אדם אחראי לכל נושא.
- חלוקת נושאי העבודה לפעולות, העומדות בפני עצמן במידה מרובה. הגדרת הפעולות הכלולות בנושא מאפשרת להגדיר בצורה ברורה יותר את תכולת הנושא, להקצות את המשאבים הדרושים בצורה מדוייקת יותר, ולקבוע תחומי אחריות באופן ברור יותר.
- הערכת דרישות משאבים, כולל סוגי המשאבים הדרושים והזמן הדרוש מכל משאב עבור ביצוע כל פעולה.
- תכנון הזימון של פעולות ושל משאבים, דהיינו, קביעת המועדים שבהם יבוצעו משאבים שונים ופעולות שונות.
- בחירת הצוות שיבצע את העבודה האמורה. בחירה זו מותנית בשיטת העבודה שעליה הוחלט: קבלנות משנה או ייצור עצמי.

נושאים עיקריים הדורשים התייחסות

- תיעוד התקדמות העבודה. תכנון מערכת מידע הכוללת: החלטה על סוגי האינפורצייה הדרושים, הנתונים שיש לאסוף, צורת איסוף הנתונים, סוג הניתוחים הדרושים, ואופן הצגת המידע.
- חיזוי תקלות אפשריות והכנת תגובות מתאימות, לשם התגברות על תקלות אלו (Contingency Plan).

פעולות שלפני חתימת החוזה

□ שלב זה כולל חיפוש והשוואה של פרוייקטים פוטנציאליים הניתנים לביצוע באמצעות האירגון.

□ ניתן לחלק שלב זה לשני תתי-שלבים:

□ סינון ראשוני על רמת המקרו של פרוייקטים אפשריים, דהיינו, הבחנה כללית בין פרוייקטים שכדאי להמשיך ולדון בהם, ובין פרוייקטים, שמסיבות שונות הארגון אינו מעוניין בהם.

□ ניתוח מעמיק יותר של יכולת ושל כדאיות עבור הפרוייקטים שעברו את הסינון הראשוני.

פעולות שלפני חתימת החוזה – סינון ראשוני

בדרך כלל סינון זה מתבצע בעזרת רשימת שאלות, כאשר תשובה חיובית לאחת מהן פוסלת את הפרוייקט.

להלן דוגמאות:

האם קיימות מגבלות רציניות בהשגת משאבים דרושים במחירים סבירים (כמו ידע ספיציפי, אנרגייה, חומרים/ציוד מסויימים)?

האם קיימות דרישות להשקעות גבוהות מיוחד, שספק אם ניתן להשיג אותן?

האם הפרוייקט נוגד את מדיניות הארגון או חוקי הממשלה?

האם הפרוייקט עשוי לגרום לפיתוח משאבים, כגון ידע וציוד, שאין להם שימוש חוזר?

האם קיים מונופול יעיל בשטח האמור, שימנע כניסת מתחרים נוספים?

פעולות שלפני חתימת החוזה – ניתוח מעמיק

□ הניתוח צריך להתייחס לשלושה נושאים עיקריים: השוק, הטכנולוגיה וההון.

□ ניתוח השוק:

□ תאור השוק: סוגי לקוחות, מיקומם, שיטות עבודה, רשתות שיווק ואחזקה אפשרויות, חוקי מסחר.

□ ניתוח ביקושי עבר ונטיית הצרכנים העתידית, כפונקציה של גורמים כגון מחיר ואיכות.

□ הערכת חלקו של הפרוייקט הספציפי בסך-כל השוק.

□ פוטנציאל לקבלת פרוייקטים נוספים מאותו מקור.

פעולות שלפני חתימת החוזה – ניתוח מעמיק

ניתוח טכנולוגי:

תאור מאפייני המוצר.

תאור תהליך הייצור.

קביעת גודל המפעל ותכנון הייצור.

בחירת הציוד הדרוש.

בחינת היכולת להשגת המשאבים הטכנולוגיים הדרושים, דהיינו, חומרים, ציוד וכח אדם.

הערכת תוצאי הלואי, הערכת כמויותיהם ותכנון ניקוזם.

חישוב עלות הייצור.

פעולות שלפני חתימת החוזה – ניתוח מעמיק

□ ניתוח מימון:

- הערכת סך כל עלות הפרוייקט, גודל ההשקעות ומועדיהן, וזרימות הון המיוחסות ללוח הזמנים של הפרוייקט.
- בדיקת רווחיות לפי מאפיינים מקובלים.
- בחינת הרגישות של הרווחיות לגורמים שונים, כגון עלויות הון ועלויות ייצור.
- במרבית המקרים הארגון יצטרך לבחור בין מס' פרוייקטים. הבחירה תתבצע בעזרת מס' מדדי ביצוע, כגון: רווחיות, גודל השקעות, גודל שוק עתידי ועוד. כמו כן יש לקבוע סדר עדיפויות למדדים או להשתמש בכלים של MCDM בכדי לבחור את הפרוייקט העדיף בהסתמך על המדדים.

תכנון המוצר

- תהליך העבודה בפרוייקט קשור בביצוע טרנספורמצייה של תשומות שונות לתפוקות רצויות (המוצר).
- לאחר שהצעתו של המבצע זכתה במכרז, עליו לתכנן את המוצר לפרטי פרטים.
- אמנם, תכנון כללי של המוצר כבר התבצע בשלב ההגשה למכרז, וכך גם בדיקת כדאיותו של הפרוייקט, אולם אין הוא מפורט דיו, כדי להכין את החומרים, את הציוד ואת כח האדם הדרוש.

תכנון התהליך

- לאחר שהמאפיינים של המוצר הסופי הוגדרו, יש לתכנן את תהליך הייצור.
- אילו עבודות יבוצעו ע"י קבלני משנה.
- קביעת שיטות העבודה.
- בחירת ציוד וחומרי-גלם והזמנתם.
- תכנון המערך והכנת תשתיתו.
- הכנת צוותי עובדים.
- תכנון זמני ביצוע.
- לעיתי יש צורך לשנות את מאפייני המוצר, כתוצאה מקשיים בביצוע, או מהורדה משמעותית במחיר המוצר.

ביצוע אב טיפוס

- בחלק מהפרוייקטים ניתן לבחון את מידת ההצלחה של התכנון בעזרת ביצוע של אב-טיפוס, כלומר דגם של המוצר הסופי.
- ביצוע של אב-איפוס מקובל בעיקר במקרים של פרוייקט סידרתי, דהיינו, יש לייצר יותר מיחידת מוצר אחת.
- בעייה מקובלת, שיש להתמודד עימה, היא הזמנת חומרים וציוד לביצוע כל הסדרה. במקרים רבים חייבים להוציא הזמנות לחומרים ולחלקים רבים עבור כל סדרה לפני בדיקת הסדרה הנסיונית, בגלל זמן האספקה הארוך.
- עם זאת, יתכן שכתוצאה מבדיקת סדרה נסיונית, נצטרך לבצע שינויים הדורשים שינויים ברכש חומרי הגלם השונים (שלמעשה כבר נרכשו), דבר הגורר הוצאות נוספות.

ביצוע שוטף

□ לאחר סיום אב-הטיפוס או הסדרה הנסיונית, יש לבצע את השלבים הבאים:

□ שינויים בתכנון המוצר.

□ שינויים בתיכנון תהליך הייצור.

□ הכנת התשתית לתהליך הייצור, בהתאם לשינויים בצידוד, כח אדם, ובחומרים.

□ ביצוע.

□ בדרך כלל מתגלות חריגות שונות בין התיכנון לביצוע, וזאת כבר תוך כדי לתהליך הביצוע, ולא רק בסיום הפרוייקט. חריגות אלו נובעות מגורמים, כגון חוסר מידע ראשוני מספק, ותקלות בלתי צפויות.

□ אחת מהנקודות החשובות הפרוייקט סדרתי הוא קיום תופעת למידה.

סיום הפרוייקט

□ במונח סיום הפרוייקט, הכוונה לפרק הזמן, שבו המשאבים הדרושים לצורך ביצוע הפרוייקט פוחתים. בתום פרק זמן זה מסתיים תפקיד הארגון, בקשר לביצוע הפרוייקט. בכאן שעל הארגון להתייחס לנקודות הבאות:

□ כיצד יש לסיים את הפרוייקט – האם יש לבצעו מחדש במועד מאוחר יותר?

□ שחרור והפניית משאבים – משאבים הם כוח אדם, ציוד וחומרים שנותרו. האם למכור אותם? מה ישאר בידי הארגון?

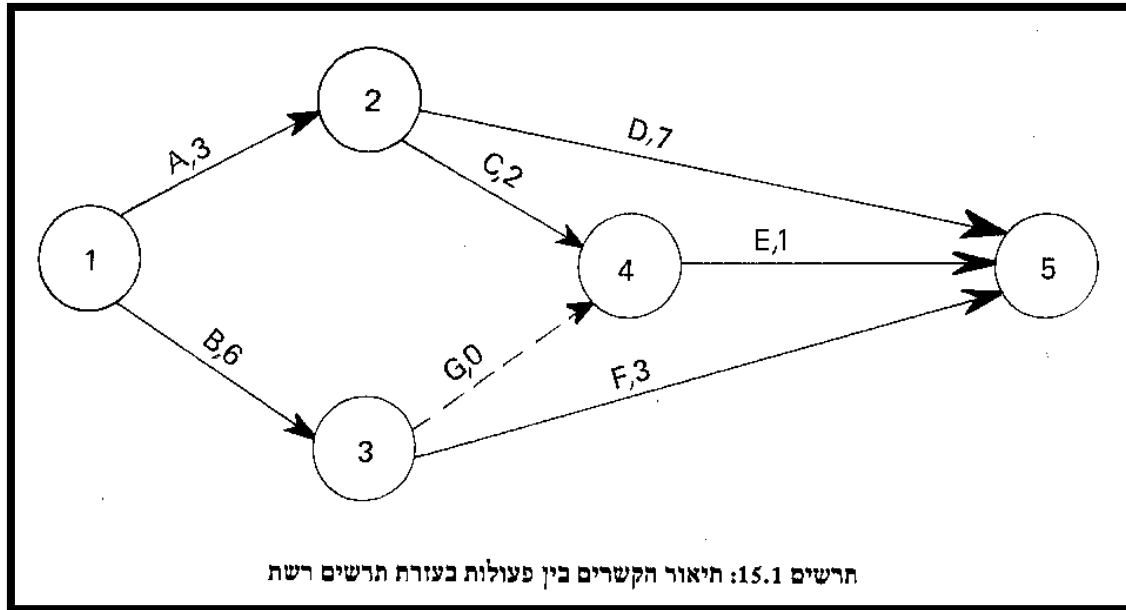
□ העברת האחריות לפרוייקט לידי הלקוח שהזמין אותו – ניתן להתייחס לשלב זה כאל חלק איטגרלי של הפרוייקט המטפל, בין השאר, בהדרכת הלקוח כיצד יש לתפעל ולתחזק את הפרוייקט שהוא הזמין.

בעיות זימון של פעולות ומשאבים

- אחת מהבעיות העיקריות, שיש להתמודד עמן בעת תכנון עבודות שונות וביצוען, כולל פרוייקטים, היא זימון – קביעת המועדים שבהם יבוצעו הפעולות השונות, כולל המשאבים (כח-אדם, ציוד וכו') שבעזרתם הם יבוצעו.
- מדדי ביצוע אופייניים של טיב הזימון הם רמת נצילות המשאבים ויכולת עמידה בלוחות זמנים.
- לצורך תכנון יעיל של פרוייקט, יש לחלקו לנושאי עבודה עיקריים, כאשר כל נושא עבודה מחולק לפעולות המרכיבות אותו. הקריטריון להפרדה בין הפעולות הוא היכולת הטכנית להפריד בניהם, עם זאת, חשוב לציין את הסדר שבו יש לבצע את הפעולות.

בעיות זימון של פעולות ומשאבים

□ התרשים מציינים מערכת קשרים בין הפעולות: A, B, C, D, E, F ו-G. הספרות מציינות את הזמן הדרוש לביצוע הפעולה, והספרות בתוך העיגולים מציינים מאורעות. למשל, מאורע מס' 2 מציינת את סיומה של פעולה A, ואת האפשרות להתחיל בפעולות C ו-D. פעולה G, שזמן הביצוע שלה הוא 0, היא פעולת דמה, המיועדת להכנסת אילוף של סדר ביצוע.

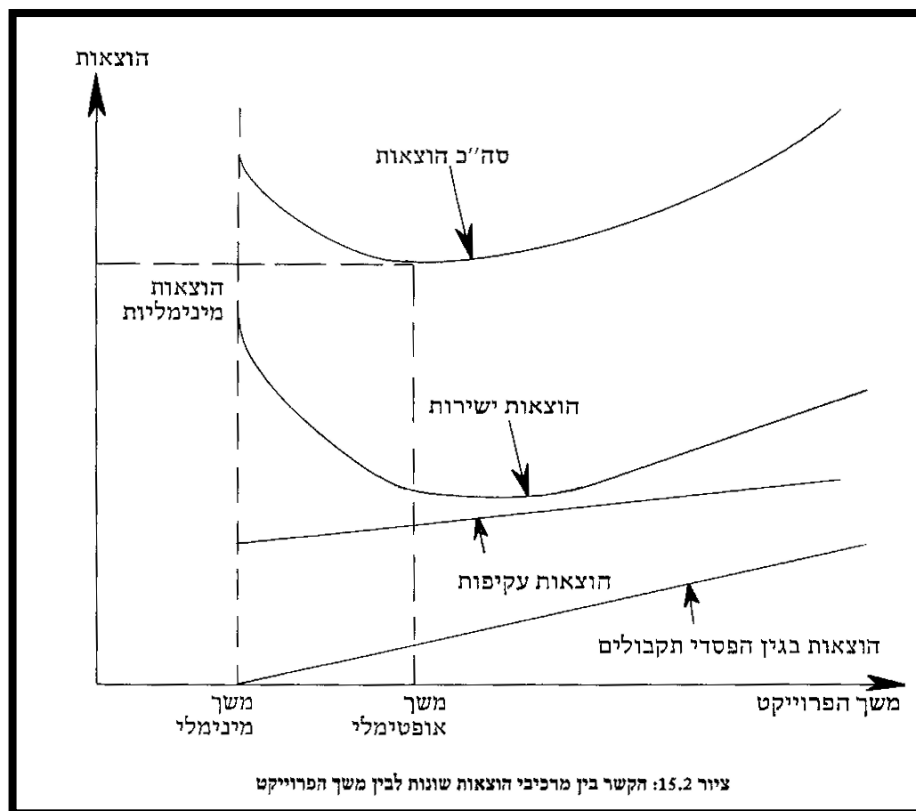


זיהוי משאבים

- השלה הקודם עסק בזיהוי פעולות ובסדר ביצוען, הוא לא עסק במשאבים הדרושים לביצוען.
- לצורך ביצוע הפעולות, דרושים משאבים של ציוד ושל כח-אדם.
- יש צורך לפרט את המשאבים לכל פעולה, הן כדי לאפשר הערכה של סך-כל המשאבים הדרושים, והן לצורך הקצאה נכונה של המשאבים לביצוע הפעולות השונות במועדים שניקבעו.
- לעיתים ניתן לבצע פעולות שונות ע"י סוגים שונים של משאבים.
- סוג המשאבים וכמותם, משפיעים על הזמן הדרוש לביצוע פעולה.

עקומת עלות-משך

□ קיים קשר בין משך הזמן הדרוש לביצוע פרוייקט לבין ההוצאות הדרושות לביצועו. הקשר מתואר באיור.

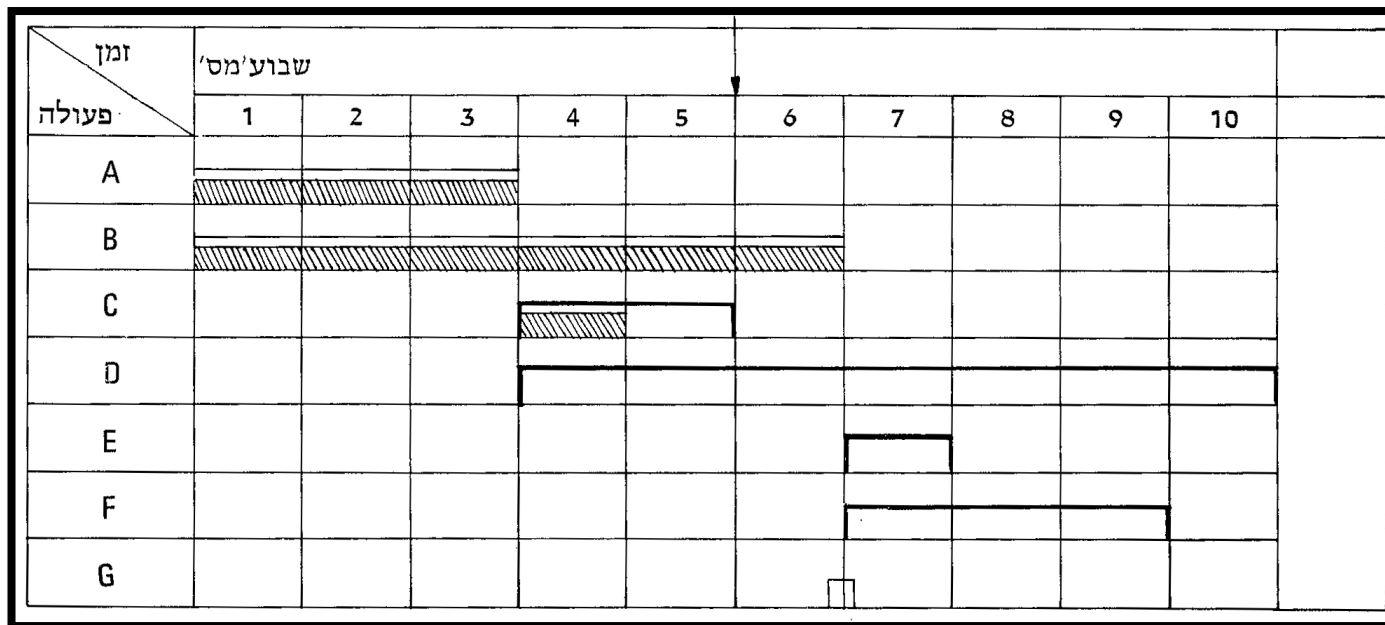


עקומת עלות-משך

- ההוצאות בין הפסדי התקבולים נובעות מעובדת דחייתו של סיום הפרוייקט, וכתוצאה ממנה הפרוייקט עדיין אינו מניב את הרווחים שהוא היה אמור להניב.
- הוצאות עקיפות הן הוצאות הניהול והאדמיניסטרציה הקיימות, כל עוד נמשך הפרוייקט, והקבועות בדרך כלל ביחידת זמן.
- לעומתן, הוצאות ישירות נובעות מעלות ישירה של ביצוע הפעולות הקשורות בפרוייקט.
- מהציר אפשר לראות כי קיים משך אופטימאלי, שבו ההוצאות הן מינימאליות. אך אין זה אומר שאכן כדאי לבצע משך זה. עשוי להיות מצב, שבו עדיף לבצע בזמן קצר יותר, למרות שההוצאות גבוהות יותר – נניח אם מקבלים בonus על סיום מהיר יותר.

תרשים גנט

□ תרשים זה מאפשר להציג תוכנית עבודה ומעקב אחר ביצועה, עם עקרונות המשתנים בהתאם לצרכים הספציפיים.



□ התרשים מתאר את משך הפעולות ואת סדר ביצוען.

תרשים גנט

- לדוגמה, לא ניתן לבצע פעולה E לפני סיום פעולה A.
- העדכון, במקרה המתואר בתרשים, מתבצע בתום השבוע החמישי.
- החלק המקווקו מציין את חלק העבודה שהסתיים לגבי כל פעולה.

פרט עלות (Pert-Cost)

- לעיתים קיימת אפשרות לבצע פעולות שונות בזמן קצר יותר מהרגיל. אם מעוניינים לסיים את הפרוייקט במועד מוקדם יותר, יש מקום לבחון, באיזה מידה ניתן להאיץ את ביצוע הפעולות שנמצאות בנתיב הקריטי (הארוך ביותר).
- יתכן, ופעולות שלא היו בנתיב הקריטי של הפרוייקט, מגיעות אליו כתוצאה מקיצור זמני הביצוע של פעולות קריטיות.
- לכן, לאחר כל קיצור בזמן ביצוע של פעולה, הנמצאת בנתיב קריטי, יש לבדוק מחדש אילו פעולות נמצאות בנתיב הקריטי.

פרט עלות (Pert-Cost)

משך מינימלי בשבועות	תוספת מחיר לחיסכון בשבוע	מחיר רגיל לפעולה בשקלים	משך רגיל בשבועות	הפעולה
2	50	300	3	A
4	100	700	6	B
1	200	200	2	C
3	200	800	7	D
1	—	400	1	E
2	150	100	3	F
		2,500	סה"כ	

□ נסתכל על פעולה B. משך הזמן הרגיל שלה הוא 6 שבועות, והמחיר הוא 700 ₪. ניתן לקצר את משך הזמן לעד 4 שבועות, בעלות נוספת של 100 ₪ לשבוע.

□ בתנאים רגילים, מחיר הפרוייקט הוא 2500 ש"ח, ומשכו 10 שבועות.

□ היות ופעולות A ו-D הן על הנתיב הקריטי, קיצור של אחת מהן יקצר את משך הפרוייקט.

פרט עלות (Pert-Cost)

□ בחינת טבלת המחירים מראה שקיצור פעולה A זול יותר מקיצור פעולה D.

צעד 4		צעד 3		צעד 2		צעד 1		מצב התחלתי		פעולה
תוספת עלות	זמן ביצוע	תוספת עלות	זמן ביצוע	תוספת עלות	זמן ביצוע	תוספת עלות	זמן ביצוע	עלות	זמן ביצוע	
—	*2	—	*2	—	*2	50	*2	300	*3	A
—	**4	100	**4	←100	**5	—	←**6	700	6	B
—	2	—	2	—	2	—	2	200	2	C
200	*4	←200	*5	←200	*6	—	←*7	800	*7	D
—	1	—	1	—	1	—	1	400	1	E
150	**2	←—	**3	—	**3	—	**3	100	3	F
3,500	6	3,150	7	2,850	8	2,550	9	2,500	10	זמן ועלות לביצוע

טבלה 15.2: יצירת הקשר בין זמן ביצוע הפרוייקט לבין מחיר הביצוע

□ לאחר הצעד הראשון, קיימים שני נתיבים קריטיים D, A ו-F, B. כלומר יש לקצר את שני הנתיבים בכדי לקצר את הפרוייקט.

פרט עלות (Pert-Cost)

- ניתן להמשיך בתהליך זה עד למצב שבו אין אפשרות לקצר יותר את הנתיב הקריטי המתקבל (צעד 4 בטבלה).
- מקובל לתאר את תוצאת החישוב באופן גרפי.

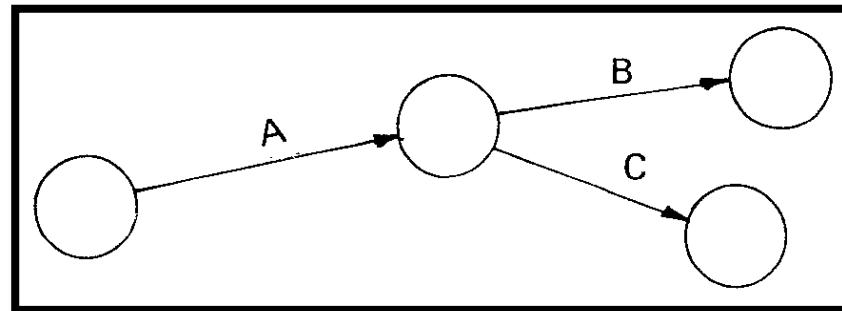


שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרוייקטים

- השיטה פותחה ע"י הצוות האמריקאי שעסק בתכנון ופיתוח טילי הפולאריס והצוות של חברת רמינגטון רנד.
- השיטה באה לאפשר תכנון פרוייקטים מסובכים ומעקב אחר התקדמותם, ולאפשר שימוש במחשבים, כדי לערוך את החישובים של האלטרנטיבות השונות ואת עדכון הנתונים, בצורה מהירה וזולה.

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

- פעולה היא עבודה שיש לבצע כיחידה אחת, והיא מסומנת בעזרת חץ. שם הפעולה יסומן באותיות A, B, C ...
- אם ניתן לפרק עבודה מסויימת לשני חלקים, וביניהם ניתן להתחיל בפעולה אחרת, C, תחולק העבודה לשתי פעולות, A ו-B.



שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרוייקטים

□ זמן פעולה – נמדד בימים, שבועות וכו', אך באותה יחידת זמן עבור כל הפעולות בפרוייקט. זמן זה מתקבל על סמך נתונים שהופקו מניסיון העבר או באמצעות הערכות.

□ להלן אחת מהשיטות להערכת זמן הפעולה המתבססת על שלוש הערכות:

□ a – משך הזמן הקצר ביותר, שבו הפעולה עשויה להתבצע – הערכה אופטימית (ב-5% מהמקרים הזמן יהיה קצר יותר).

□ m – משך הזמן השכיח – הזמן הצפוי ביותר.

□ b – משך הזמן הארוך ביותר – הערכה פסימית (ב-5% מהמקרים הזמן יהיה ארוך יותר).

□ בהנחה שההתפלגות של ההסתברויות לזמן הפעולה היא התפלגות בתה (הנחה משביעת רצון מעשית), נקבל:

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

□ התוחלת לזמן הפעולה:

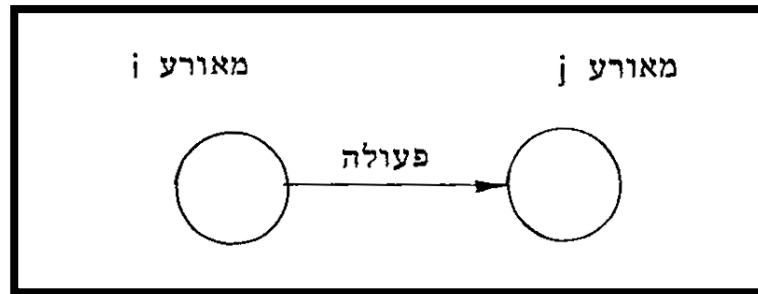
$$L = \frac{a + 4m + b}{6}$$

□ סטיית התקן היא:

$$\sigma = \frac{b - a}{6}$$

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

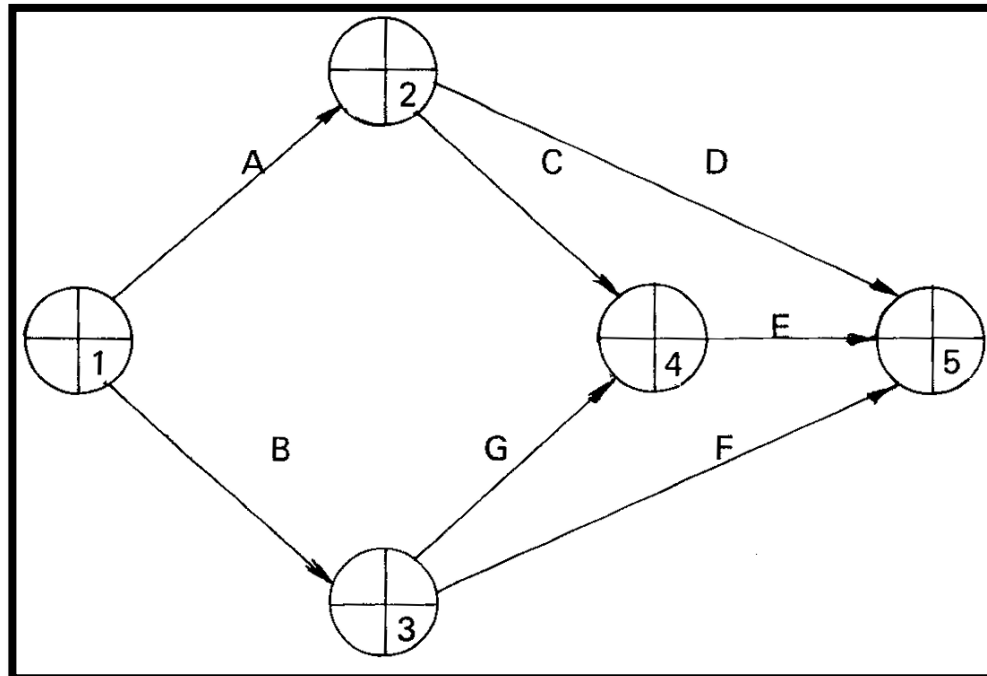
מאורע – נקודה על ציר הזמן, מועד מסויים שעד אליו הסתיימו פעולות מסויימות, שאיפשרו התחלת פעולות אחרות. המאורעות יסומנו במספרים, כאשר כל פעולה מתחילה במאורע (i) ומסתיימת במאורע (j).



מספרי המאורעות יהיו בסדר עולה, כך שבראש החץ יהיה מס' גבוה יותר מהמספר בגב החץ.

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

□ רשת – הסכימה של הקשרים בין הפעולות (והמאורעות) השונים.



□ פעולות A ו-B מבוצעות בתחילת הפרוייקט. פעולות C ו-D מבוצעות אחרי השלמת פעולה A. פעולה E אחרי C ו-G. פעולה F אחרי B.

□ שלוש הפעולות, D, E ו-F, מסיימות (במקביל) את הפרוייקט.

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

□ נתיב קריטי – המסלול בין המאורע הראשון למאורע האחרון, שמשך הזמן המצטבר של הפעולות לאורכו הוא הארוך ביותר ברשת.

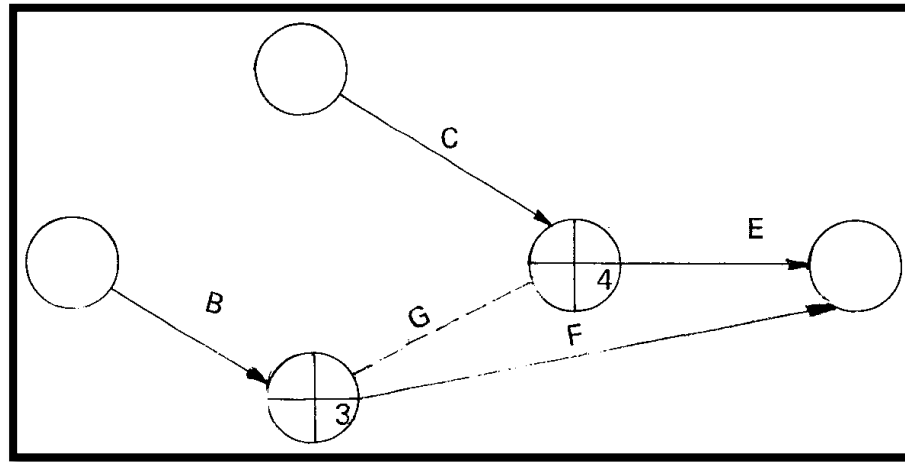
□ בדוגמה, אם זמני הפעולות הם: $L_A = 3$, $L_B = 6$, $L_C = 2$, $L_E = 1$, L_F , אז $L_G = 0 - 1 = 3$

□ זמני המסלולים הם: $L_{AD} = 10$, $L_{ACE} = 6$, $L_{BGE} = 7$, $L_{BF} = 9 - 1$

□ הנתיב הקריטי הוא AD, וזמנו הוא 10.

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

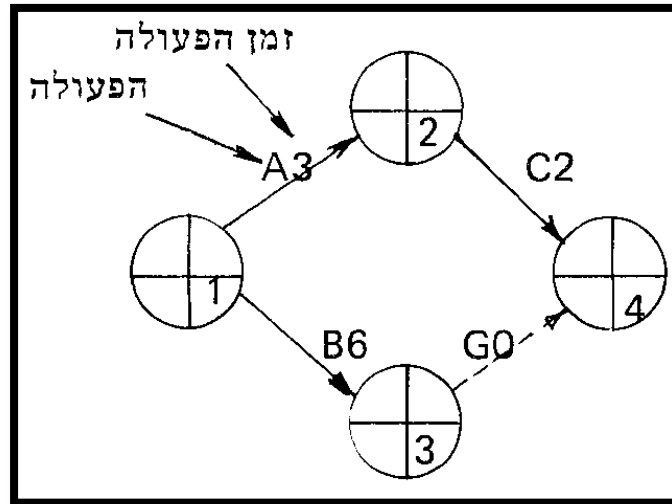
□ פעולת דמה – היא פעולה פקטיבית (עם זמן 0), שמוסיפים לצורך תאור קשר בין פעולה אחת לשניה, ולצורך אי קיום קשר בין פעולה אחת לאחרת.



- בפעולה E ניתן להתחיל רק אחרי שהושלמו פעולות B ו-C.
- בפעולה F ניתן להתחיל רק אחרי השלמת פעולה B.
- תאור קשר כזה מחייב יצירת פעולת דמה, כגון פעולה G.

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

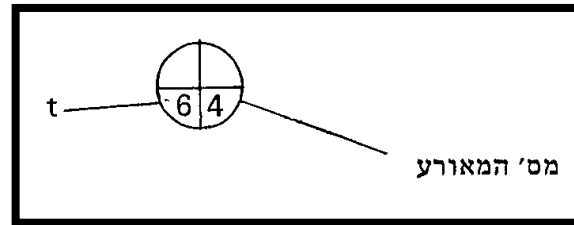
□ המועד המוקדם ביותר של מאורע הוא הזמן הארוך ביותר של המסלולים השונים האפשריים המובילים אליו.



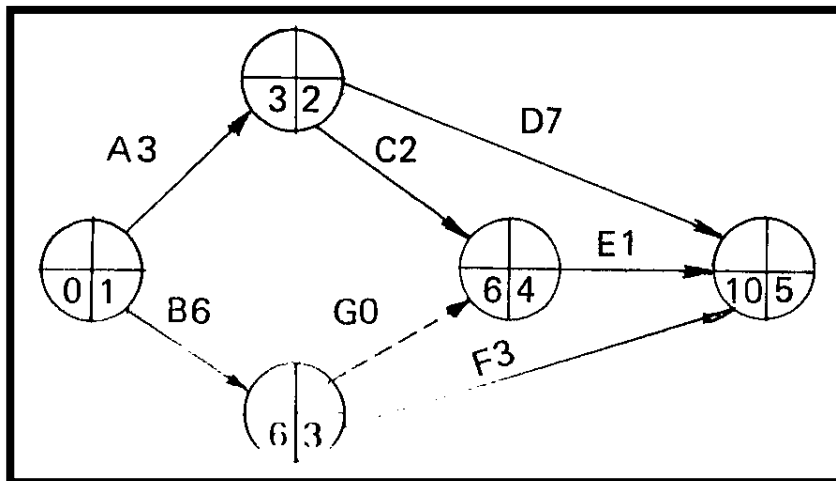
□ לגבי מאורע 4, המועד המוקדם ביותר שלו הוא 6, היות ויש שני מסלולים, AC עם זמן 5, ו-BG עם זמן 6.

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

□ את ערכו של המועד המוקדם נסמן באופן הבא:



□ בכדי למצוא את המועד המוקדם של כל המאורעות ברשת, אין צורך לחזור על החישובים מההתחלה. מספיק לבדוק את המאורעות הקודמים למאורע שמועדו מחושב עתה, ולהוסיף את זמני הפעולות המתאימות, ולמצוא את המקסימום.



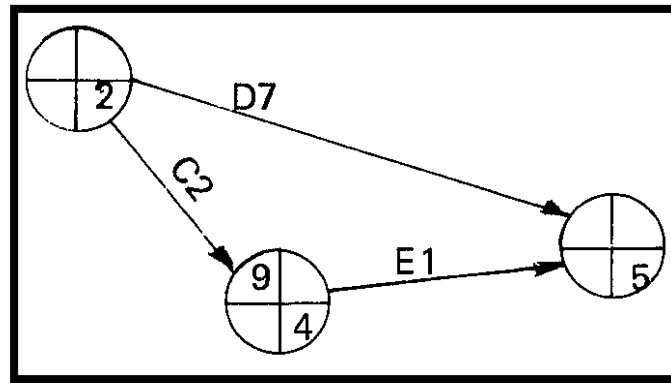
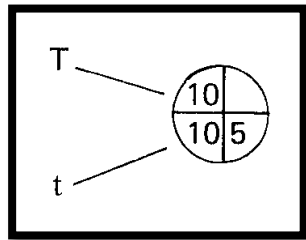
$$t_j = \max(t_i + L_{ij})$$

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

- הזמן הקריטי של הפרוייקט הוא המועד המוקדם של מאורע הסיום. בהתאם לכך, הנתיב הקריטי בדוגמה הוא הפעולות A ו-D.

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

- המועד המאוחר ביותר, שבו מותר למאורע מסויים להתרחש, יסומן ב-T.
- עבור מאורע הסיום, ברור שהמועד המאוחר ביותר שלו זהה למועד המוקדם שלו.



- נסתכל בדוגמה, עבור מאורע 4. המועד המאוחר של מאורע 5 הוא 10. היות שפעולה E, שהתחילה במאורע 4, נמשכת יחידת זמן אחת, מתקבל שהמועד המאוחר של מאורע 4 הוא $10 - 1 = 9$.

□ באופן כללי: $T_i = \min[T_j - L_{ij}]$

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

- את המועדים המוקדמים והמאוחרים, להתחלה וסיום הפעולות, ניתן לחישוב באמצעות מועדי המאורעות.
- ES – המועד המוקדם לתחילת פעולה. שווה למועד המוקדם של המאורע המאפשר את תחילת הפעולה: $ES = t$.
- EF – המועד המוקדם לסיום פעולה. שווה לסכום המועד המוקדם לתחילת הפעולה בתוספת זמן הפעולה: $EF = ES + L_{ij}$.
- LF – המועד המאוחר לסיום הפעולה. שווה למועד המאוחר של המאורע שהפעולה מסתיימת בו: $LF = T_j$.
- LS – המועד המאוחר לתחילת פעולה. שווה להפרש בין המועד המאוחר לסיום הפעולה ולזמן הפעולה: $LS = LF - L_{ij}$.

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרוייקטים

□ TF – מרווח כללי. מרווח הזמן שבו ניתן לדחות התחלת פעולה מסויימת, מבלי לדחות את השלמת הפרוייקט בזמן. שווה להפרש בין המועד המאוחר להתחלת הפעולה, LS, לבין המועד המוקדם לכך, ES:

$$TF = LS - ES = LF - EF$$

□ פעולות שאין להן מרווח כללי, הן פעולות המהוות את הנתיב הקריטי.

□ FF – מרווח חופשי. מרווח הזמן שבו ניתן לדחות התחלת פעולה מסויימת, מבלי לדחות את התחלת הפעולות הבאות אחריה:

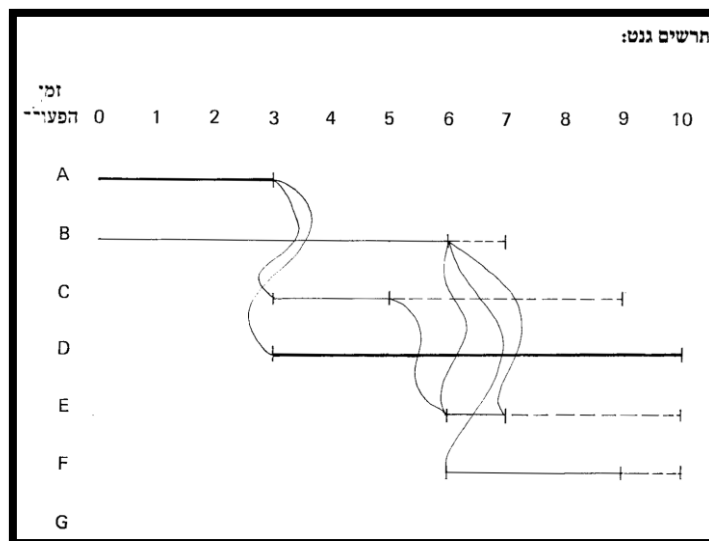
$$FF = t_j - t_i - L_{ij}$$

שיטת PERT לתכנון ומעקב אחר ביצוע פרויקטים

טבלת חישובי הזמנים:

הפעולה	החץ i - j	L_{ij}	$ES = t_i$	$EF = ES + L_{ij}$	$LF = T_j$	$LS = LF - L_{ij}$	$TF = LS - ES$	$FF = t_j - t_i - L_{ij}$
A	1 — 2	3	0	3	3	0	0*	0
B	1 — 3	6	0	6	7	1	1	0
C	2 — 4	2	3	5	9	7	4	1
D	2 — 5	7	3	10	10	3	0*	0
E	4 — 5	1	6	7	10	9	3	3
F	3 — 5	3	6	9	10	7	1	1
דמה G	3 — 4	0	6					

* פעולות הנתיב הקריטי, היות שהמרווח הכללי שלהן שווה 0.



הסיכוי לסיים את הפרוייקט בזמן נתון

□ הזמן הקריטי של הפרוייקט מתקבל מסכום הזמנים של הפעולות המרכיבות את הנתביב הקריטי.

□ לכל פעולה קיימת התפלגות של ההסתברות לזמן ביצועה. אם מניחים שזמני הפעולות הם בילתי תלויים, ניתן לחשב את השונות של זמן הפרוייקט לפי השונות של הפעולות המרכיבות:

$$\sigma^2 = \sum \sigma_i^2$$

□ כאשר מספר הפעולות במסלול הקריטי הוא גדול דיו ומאפשר את הנחת ההתפלגות הנורמאלית לזמן הפרוייקט, אפשר לחשב את הסיכוי שהפרוייקט יסתיים בזמן נתון בהתאם להתפלגות הנורמאלית.

הסיכוי לסיים את הפרוייקט בזמן נתון

□ ההסתברות לסיים את הפרוייקט בזמן t היא:

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

