שקופית 1:

הפרויקט שלי "חישוב הספק עבור רוכבי אופניים" עסק בבדיקת ייתכנות למציאת הספק של רוכב אופניים בלי שימוש במד הספק, ובדרך זו לחסוך כסף רב לכל אותם רוכבים שמתעניינים בהספקם אך לא מוכנים לשלם על זה כל כך הרבה כסף.

שקופית 2:

הרוכב מבצע עבודה כנגד כוח הכובד, התנגדות האוויר והפסדי אנרגיה במערכת. לפי משפט עבודה אנרגיה סך כל העבודה שנעשית שווה לשינוי באנרגיה הקינטית . את

קצב השינוי באנרגיה הקינטית אפשר לתאר כמכפלת המהירות בתאוצה ובמסה (קל לראות זאת מגזירת הביטוי לאנרגיה קינטית ). כלומר מגיעים למשוואה הבאה:

ומכאן ל: . מדי ההספק הרווחים כיום בשוק מסוגלים למדוד את הספק הרוכב הישיר, , כלומר את הכוח שמפעיל הרוכב על חלק מסוים באופניים כפול מהירות החלק, לדוגמה הכוח שמפעיל הרוכב על הפדל כפול מהירות הפדל. עבור מדידה זו על הרוכב לשלם סכום סמלי באזור ה-2000$. כשניגשתי לעבודה על הפרויקט שאלתי את עצמי, האם אוכל למצוא את ערכו של האגף השמאלי של המשוואה הזו בעזרת אמצעים שיש לכל רוכב כביש ממוצע, מד מהירות, ומד גובה.

שקופית 3:

כמו שאתם רואים מד הספק הוא לא דבר זול בכלל ודורש החלפת חלקים באופניים.

שקופית 4:

את האגף השמאלי במשוואת ההספק שלי חילקתי לארבעה חלקים:

**כוח הכובד** הוא כוח שבעליות מתנגד לרוכב ובירידות דוחף את הרוכב. אייצג אותו באמצעות הנוסחה:  כאשר m הוא מסת הרוכב, g הוא תאוצת הגרביטציה וsin a הוא שיפוע הדרך.

**התנגדות האוויר** היא הכוח המתנגד לרוכב בעת תנועתו. מאחר והרוכב רוכב בתוך האוויר, חלקיקי האוויר מתנגשים בו ומפעילים עליו כוחות כנגד כיוון תנועתו. אייצג אותה באמצעות הנוסחה:  כאשר ρ הוא צפיפות האוויר, v זה מהירות הרוכב ביחס לאוויר ו- k1 מייצג למעשה את איכות האירודינמיות של הרוכב, ככל שקבוע זה יותר קטן, כך הרוכב מתקדם ביתר קלות בתוך האוויר. על מציאת הקבוע הזה אפרט בהמשך.

**ההתנגדות הקבועה** היא כוח מתנגד קבוע שלא תלוי במהירות, אלא תלוי באופניים וביעילותם. חיכוך השרשרת בגלגלי השיניים, זרימות אוויר בתוך הגלגל והפסדי אנרגיה נוספים במערכת האופניים מהווים למעשה כוח מתנגד להתקדמות הרוכב. אייצג אותה באמצעות קבוע שעל מציאתו אפרט בהמשך.

**תאוצת הרוכב** גם כן מושפעת מכוח שהוא מפעיל. אם הרוכב מצליח להתגבר על שלושת הכוחות שציינתי כעת, והוא רוכב במהירות קבועה, הרי שהכוח שהוא מפעיל על האופניים יהיה סכום שלושת הכוחות שציינתי. אך אם הרוכב משקיע אנרגיה על מנת לעבור את אותם שלושה כוחות מתנגדים, הרי שהוא מפעיל כוח נוסף שמתבטא בתאוצתו. אם הרוכב לא מצליח להתגבר על אותם שלושה כוחות שציינתי, הרי שהוא מאט והספקו יהיה נמוך יותר מאשר אם הוא במהירות קבועה. אייצג אותה באמצעות הנוסחה  כאשר m הוא מסת הרוכב וa הוא תאוצת הרוכב.

שקופית 5:

הצורך בשני הקבועים k1 ו-k2 נובע מהבדלים בין רוכבים ובין זוגות אופניים. על מנת להמחיש את ההבדלים האלה אני מציג לכם פה שני רוכבים, אחד צר במיוחד ואחד יותר רחב. קל לראות שהרוכב הרחב ייצר יותר התנגדות אוויר, כלומר יהיה לו קשה יותר להתקדם דרך האוויר, לקבוע שמייצג את איכות האירודינמיות של הרוכב קראתי k1. הצורך בקבוע נוסף תלוי באופניים, אופניים יעילים יותר, אשר קיימים בהם פחות הפסדי אנרגיה, יקלו יותר על הרוכב. כל רוכב שהתנסה ברכיבה על אופני כביש ועל אופני שטח יכול להגיד בוודאות שהרבה יותר קל לרכוב על אופני כביש. ההבדל נובע מהפסדי אנרגיה רבים באופני ההרים, שנובעים מבולמי הזעזועים שמותקנים עליו, צורת הצמיג שמאפשרת אחיזת כביש טובה יותר ולצד זה התנגדות גדולה יותר ועוד. גם בין זוגות אופני הכביש קיימים הבדלים כאלה, ומכאן הצורך ב-k2. על מנת שאוכל למצוא אותם הייתי זקוק לנתוני הספק ממד הספק אמיתי, שאותם קיבלתי מרוכב מאוד נחמד בעל מד הספק. לאחר שהיו לי נתוני ההספק שלו יכולתי למצוא את k1 ו-k2 המתאימים לו בעזרת שיטת הריבועים הפחותים. שיטת הריבועים הפחותים היא שיטת אומדן סטטיסטית, שבעזרתה אני מוצא את k1 ו-k2 עבורם סכום ריבועי השגיאות בין ערכי ההספק הנמדד לערכי ההספק המחושב מינימלי.

שקופית 6:

בנתוני רכיבה זו השתמשתי על מנת למצוא את k1 ו-k2, הגרף הכחול הוא גרף ההספק שנמדד באמצעות מד הספק והגרף האדום הוא גרף ההספק שחישבתי.

שקופית 7:

כעת אנו מתבוננים בנתוני רכיבה **חדשה** בה לא עשיתי שימוש על מנת למצוא את שני הקבועים, כלומר לא נעשה כלל שימוש בנתוני ההספק הנמדד על מנת לחשב את ההספק בשיטה שלי, והתוצאות מרשימות.

שקופית 8:

מסקנות:

* קיים קשר ממשי הניתן לחישוב בין כוחות ההתנגדות הפועלים על האופניים והרוכב לבין הספק הרוכב.
* ניתן להגיע להספק מחושב קרוב מאוד להספק נמדד בעזרת אמצעים זולים מאוד.

שקופית 8:

* אני מאמין שבאמצעות אמצעים שאין כיום לכל רוכב כמו מד רוח ומד שיפוע אוכל להגיע לתוצאות אף מדויקות יותר, ברמה של מד הספק אמיתי.
* לאור הצלחת הפרויקט שלי אני מאמין שכבר בעתיד הקרוב אפנה לרוכבים רבים בעלי מד הספק, ובנתוניהם אשתמש על מנת שאוכל למצוא קשר בין מידות הרוכב (מסה, גובה וכו') לבין k1, ובין סוג האופניים ל-k2, כך שאוכל למצוא אותם עבור כל רוכב בלי שימוש במד הספק.
* הפרויקט מהווה פריצת דרך בתחום חישוב הספק עבור רוכבי אופניים ואני מאמין שכבר בשנים הקרובות תוכלו לראות מדי הספק (בייצור שלי כמובן) זולים ומדויקים הפועלים בדיוק בשיטה שהצגתי לכם היום.