



Fizyka da się lubić

Elektrownia wiatrowa

SKF Świetliki w osobach:

Adrian Orzechowski, Zuzanna Kamińska, Wojciech Zielonka,
Paweł Pawlak, Tomasz Wawrzyniak, Mikołaj Hałasiewicz,
Dominik Dębowski, Mariusz Opas, Patrycja Chmielecka,
Szymon Galoch, Krystian Naparty



Na początku był pomysł ...

dokładniej było ich wiele, o wiele więcej niż członków naszego koła. Dotyczyły tego jak będzie wyglądał model (kształt, rozmiar), z czego będzie wykonany, jak skonstruować skrzydła (łopatki turbiny), itd. ... Po wielu dyskusjach przeszliśmy do dzieła, no i zaczęło się tworzenie ...



Budowa

Jak to bywa w zgodnych, ale licznych grupach, przygotowane zostały trzy statywy z łożyskami w celu przebadania wszystkich teorii i pomysłów członków koła.

Przy tej okazji warto wspomnieć o tym jak wiele łożysk „oddano” życie (ach te spawarki...) dla dobra nauki.

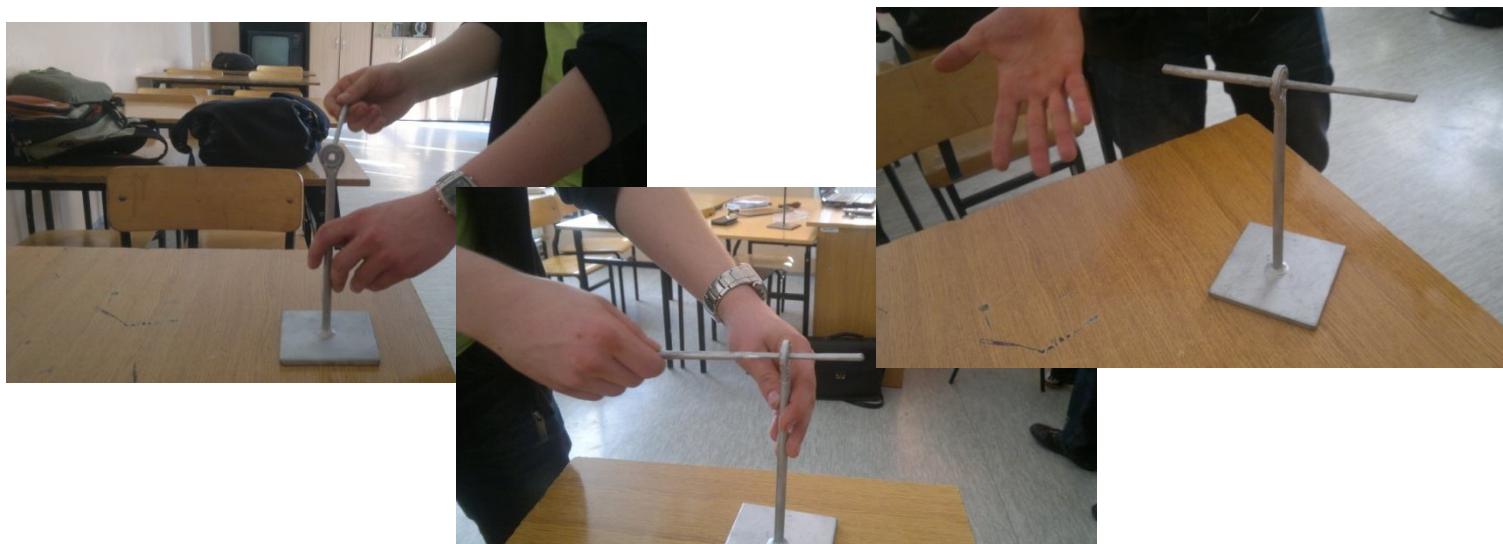
Budowa statywów

Każdy ze statywów miał dospawaną tuleję, w której osadzone było łożysko. Każde z łożysk różniło się średnicą (praca konkursowa była oparta o łożysku o średnicy 7mm).



Kolejne etapy budowy

Przyszłał czas na zamontowanie osi, okazało się to skomplikowanym działaniem. Problemem było dobranie odpowiedniej średnicy i wyważenie osi.



W ruch poszły pilniki i piłki



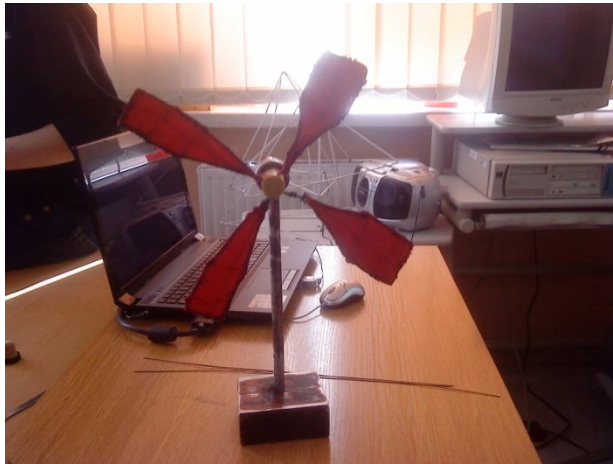
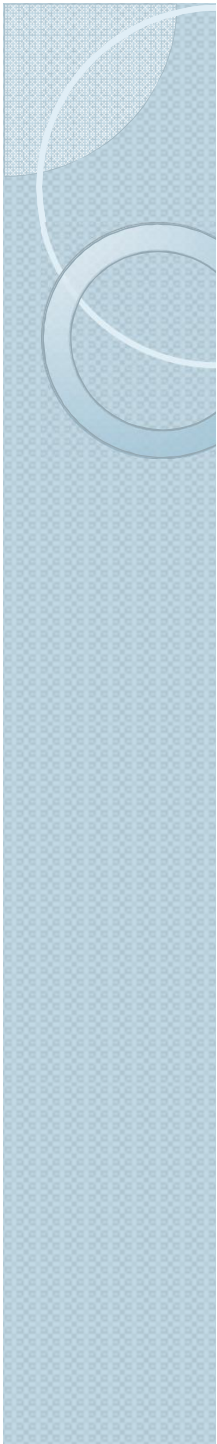
Dopasowanie osi





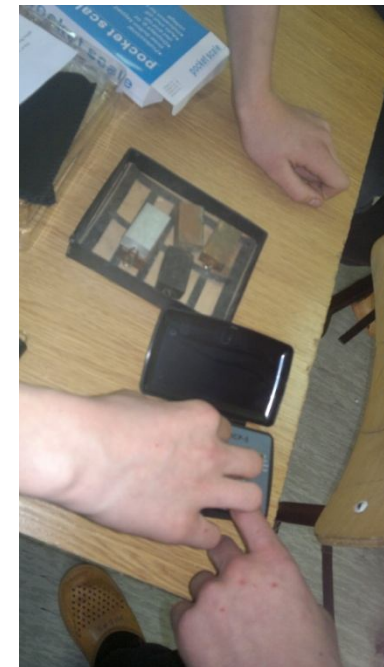
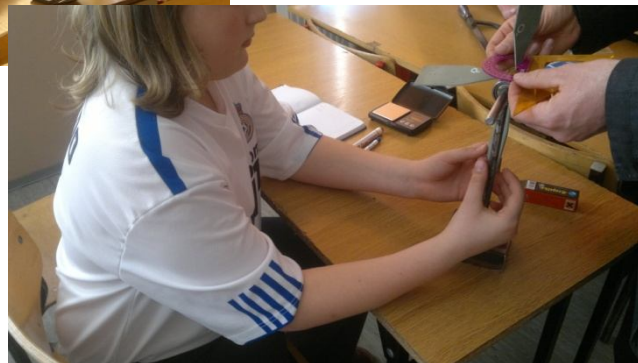
Turbina

Jednocześnie z budową statywu i mocowaniem osi powstawały skrzydła naszego wiatraka. Realizowane były prawie wszystkie pomysły. Przetwarzano płyty CD i DVD, również winyle (pomysł porzucono z powodu kruchości materiału), dziewczyny obszywały konstrukcje druciane, misternie splecione przez kolegę, kolejny wymodelował z drewna prototypy, wycinano płyty z tworzywa sztucznego i blachy itd. ...



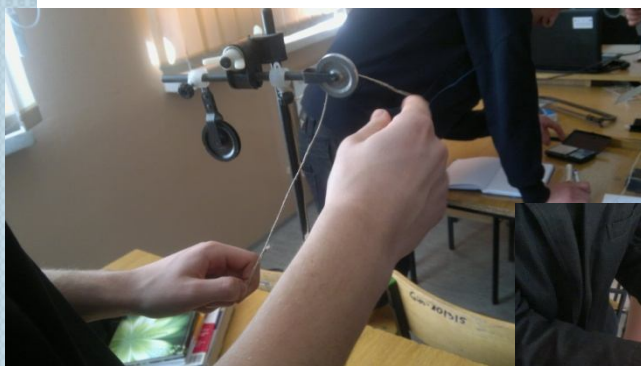
Budowa turbin

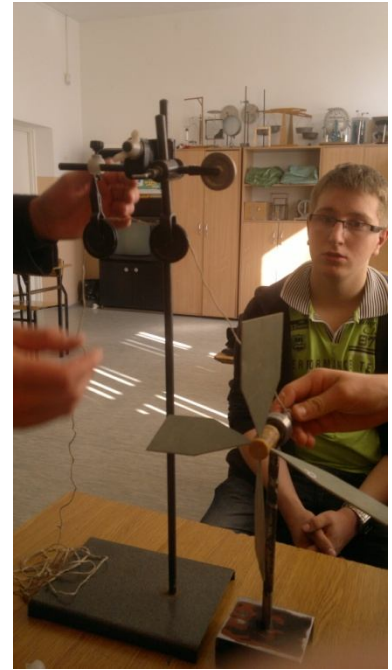
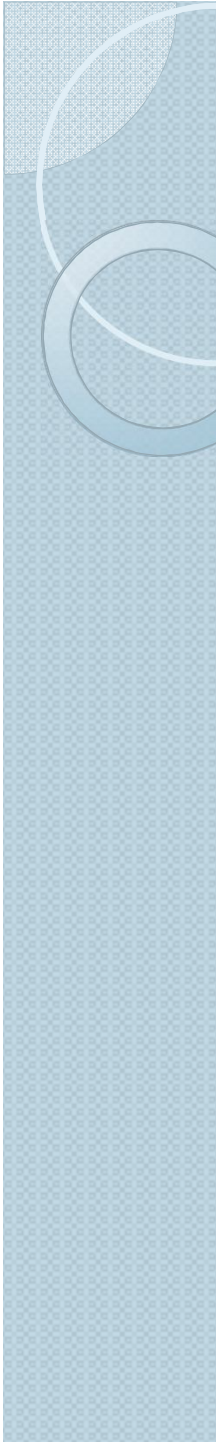
Skrupulatnie wyważaliśmy płyty skrzydeł, odmierzaliśmy kąty nachylenia płatów do osi, wyliczaliśmy rozstaw skrzydeł...



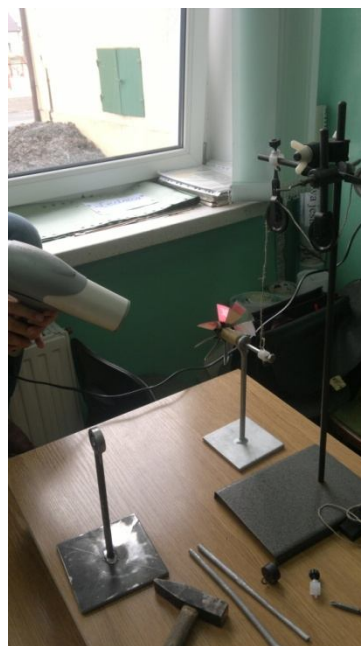
Pierwsze (niedoskonałe) pomiary

Dumni, że złożyliśmy nasze wiatraki, przeszliśmy do pomiarów, może nieco na bardzo uproszczonym modelu (jak się później okazało za bardzo), ale zawsze to doświadczenie.





Kolejne pomiary



W drogę!

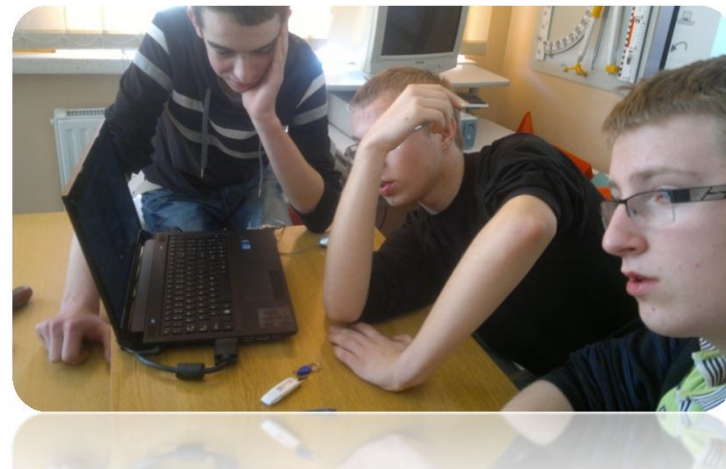
Optymistycznie założyliśmy, że po pierwszym uruchomieniu wszystko jest jak na najlepszej drodze (niestety tak nie było). Zapakowane wiatraki pojechały do Łodzi.



Konsultacje on-line

Pierwsze zdalne pomiary, a raczej ich próba, wskazała na błędy jakie popełniliśmy w konstrukcji wiatraków. Jeden z nich wcale nie ruszył – źle dobraliśmy kąt natarcia na płaty, w drugim modelu powierzchnia „skrzydeł” okazała się zbyt mała. Wprawdzie się kręcił, ale nie przy wskazanej szybkości.

Porażka... nie, raczej nowe doświadczenia...



Przeróbki

Czas nagiął, zabraliśmy się zatem gorączkowo za modyfikacje. Skróciliśmy statyw – zbyt długi. Doklejaliśmy płaty do skrzydeł, modyfikowaliśmy ustawienia płatów.



Po modyfikacjach





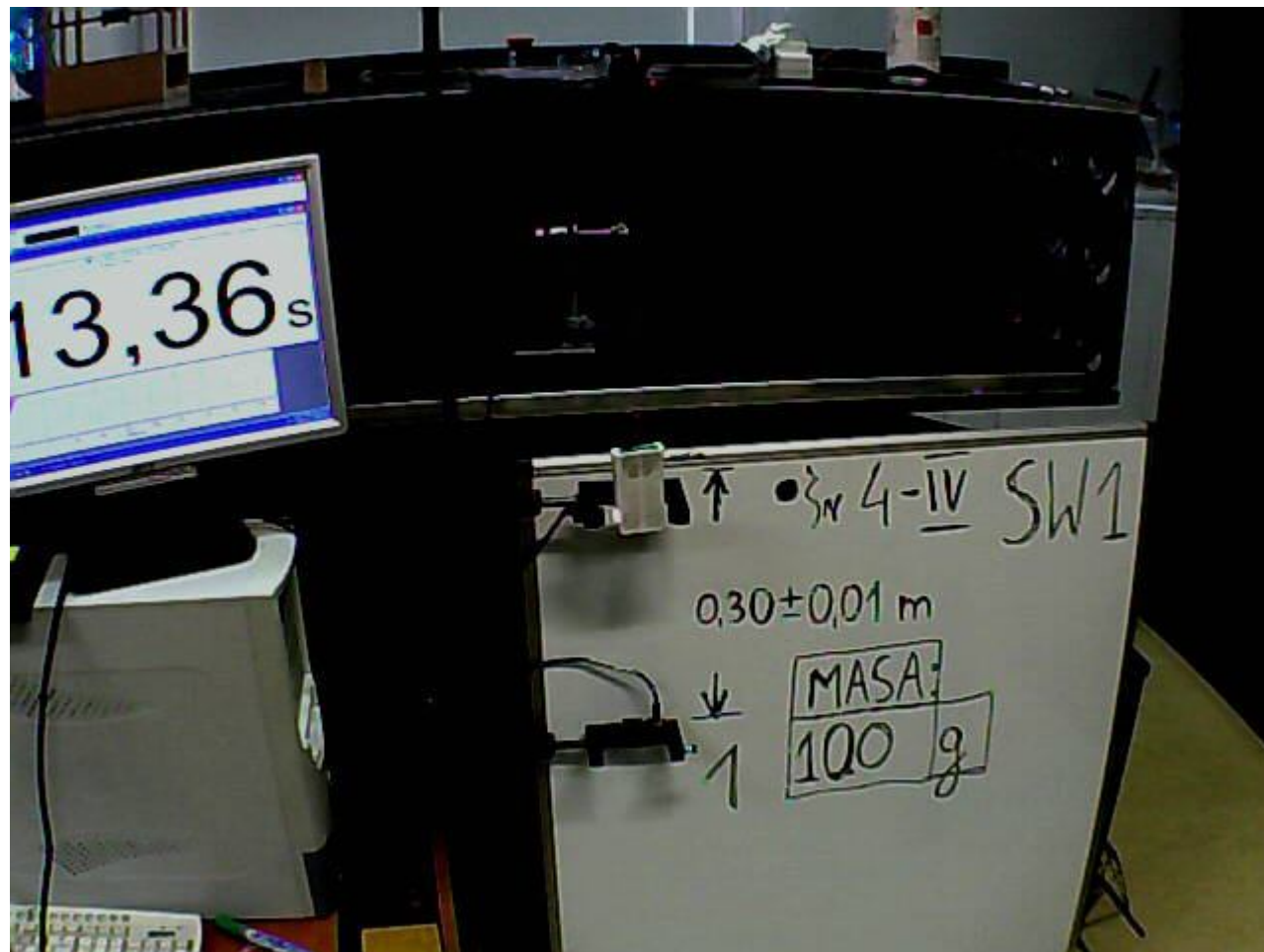
Zdalne pomiary

Jeszcze trochę chromu i z bijącymi sercami koledzy wieźli ponownie wiatraki do Łodzi. Zadziałają, czy też znów jakieś usterki ...

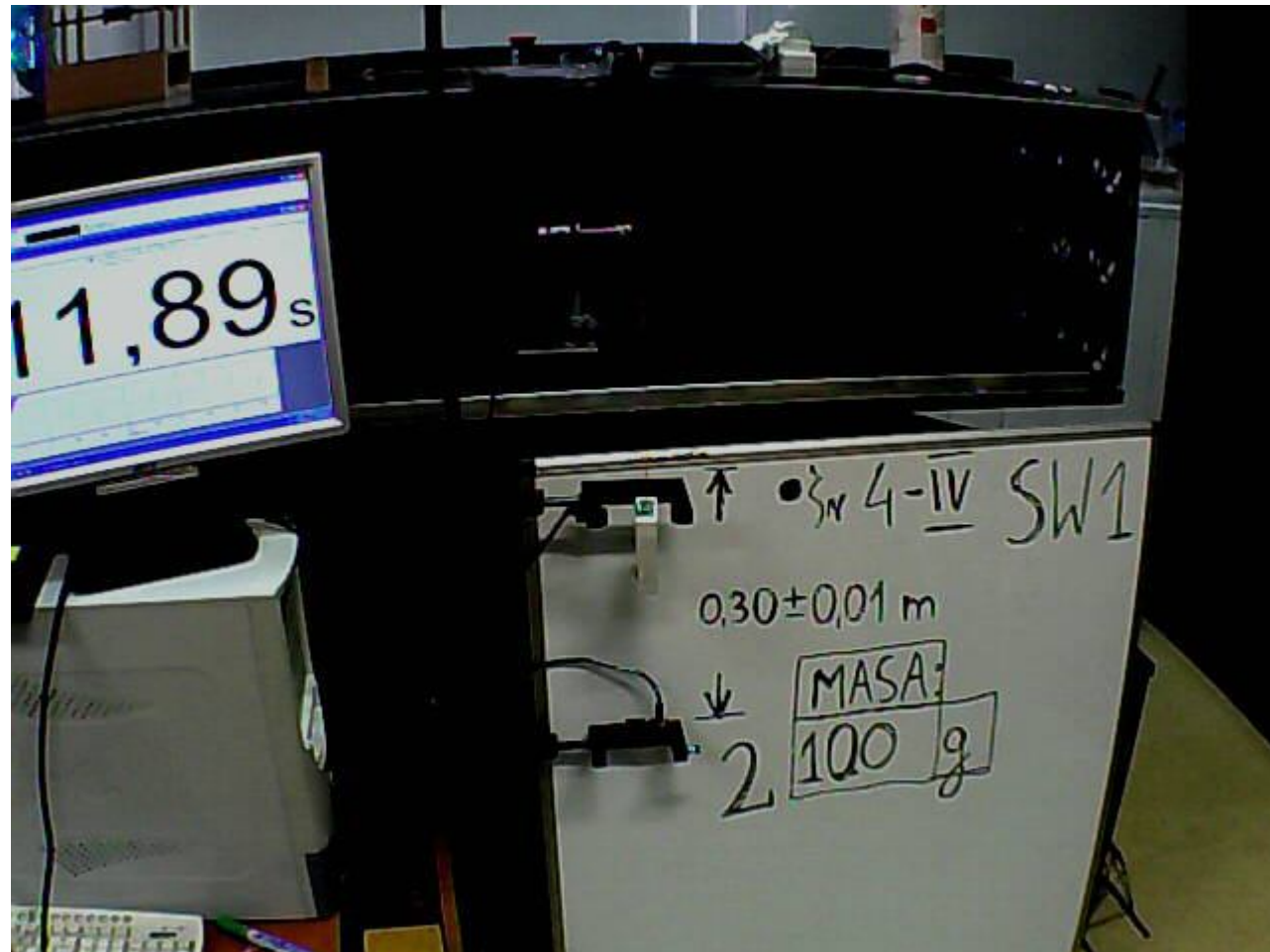
Druga część Świetlików trzymała kciuki w szkole.

Tym razem się udało!

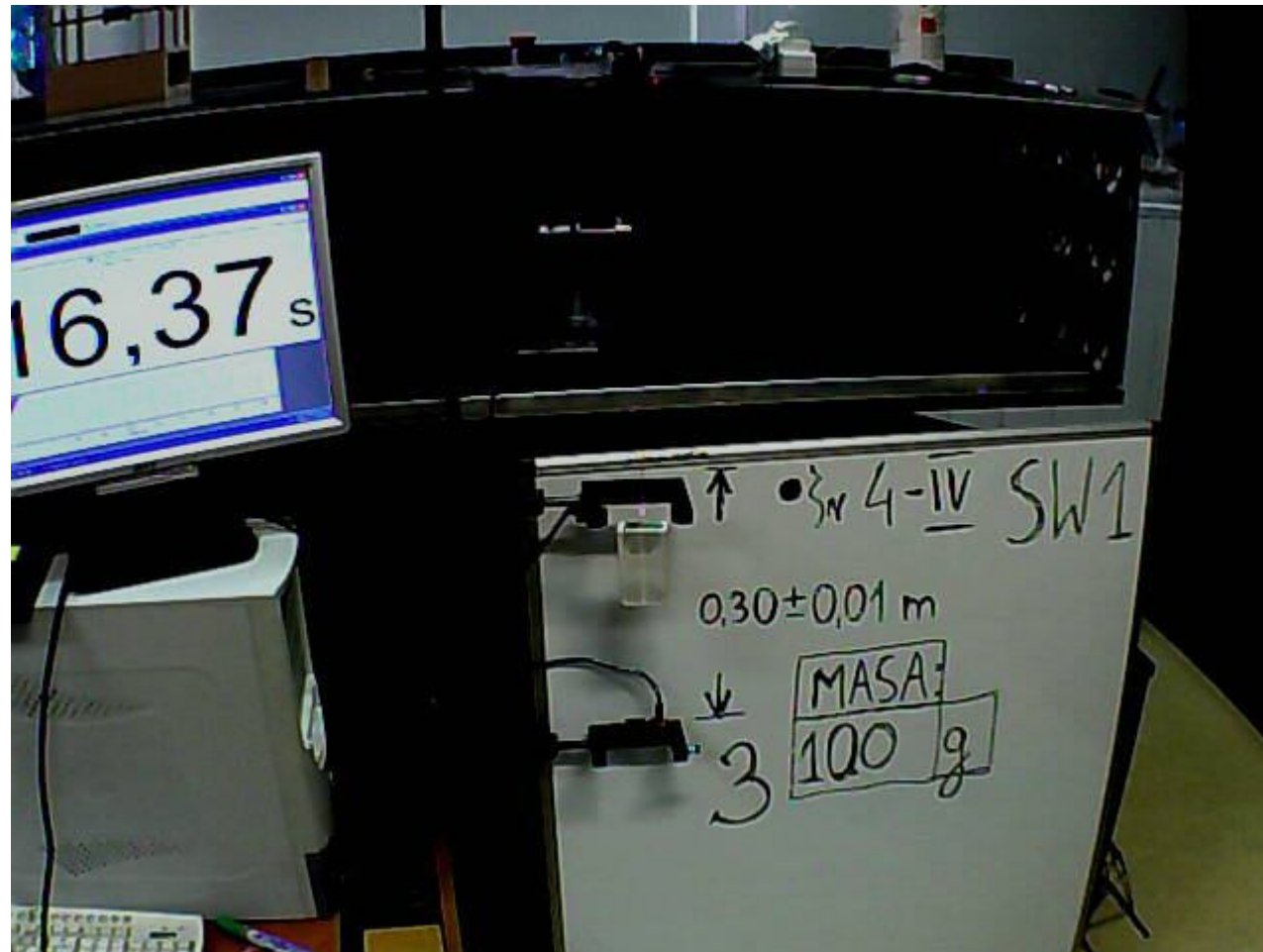
Pomiary – I próba



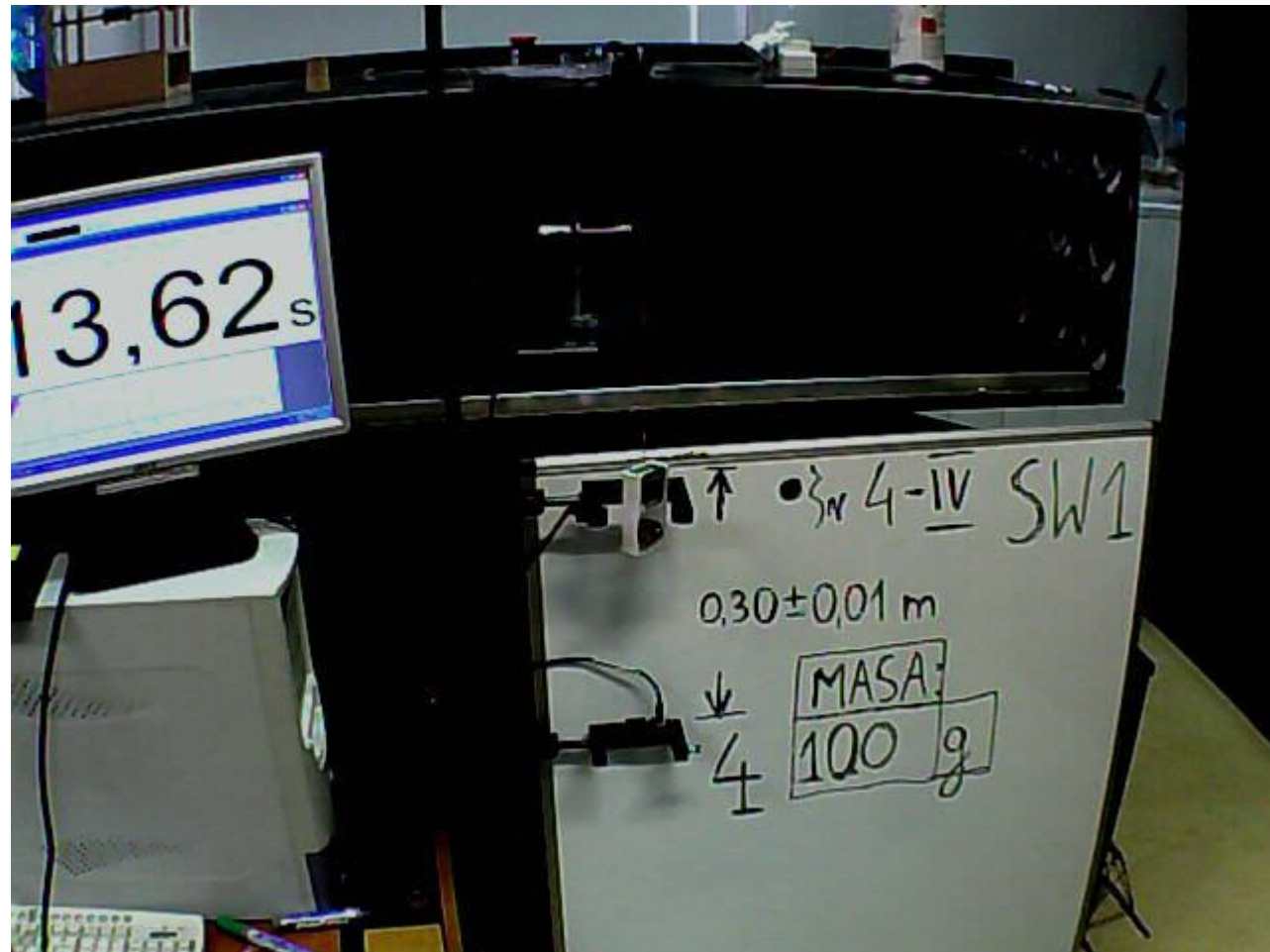
Pomiary – 2 próba



Pomiary – 3 próba - podejrzana



Pomiary – 4 próba



Wyznaczanie mocy

Po zebraniu danych, przeszliśmy do wyznaczania mocy naszego wiatraka.

Wyszliśmy od zależności, że moc z jaką pracował wiatrak wciągając obciążnik w górę równa jest pracy W jaką wykonał w czasie t . Praca wykonana przez wiatrak równa jest przyrostowi energii potencjalnej odważnika. Stąd

$$P = \frac{\Delta E}{t} = \frac{m g \Delta h}{t}$$

m – masa odważnika, g – przyspieszenie ziemskie, Δh – przyrost wysokości

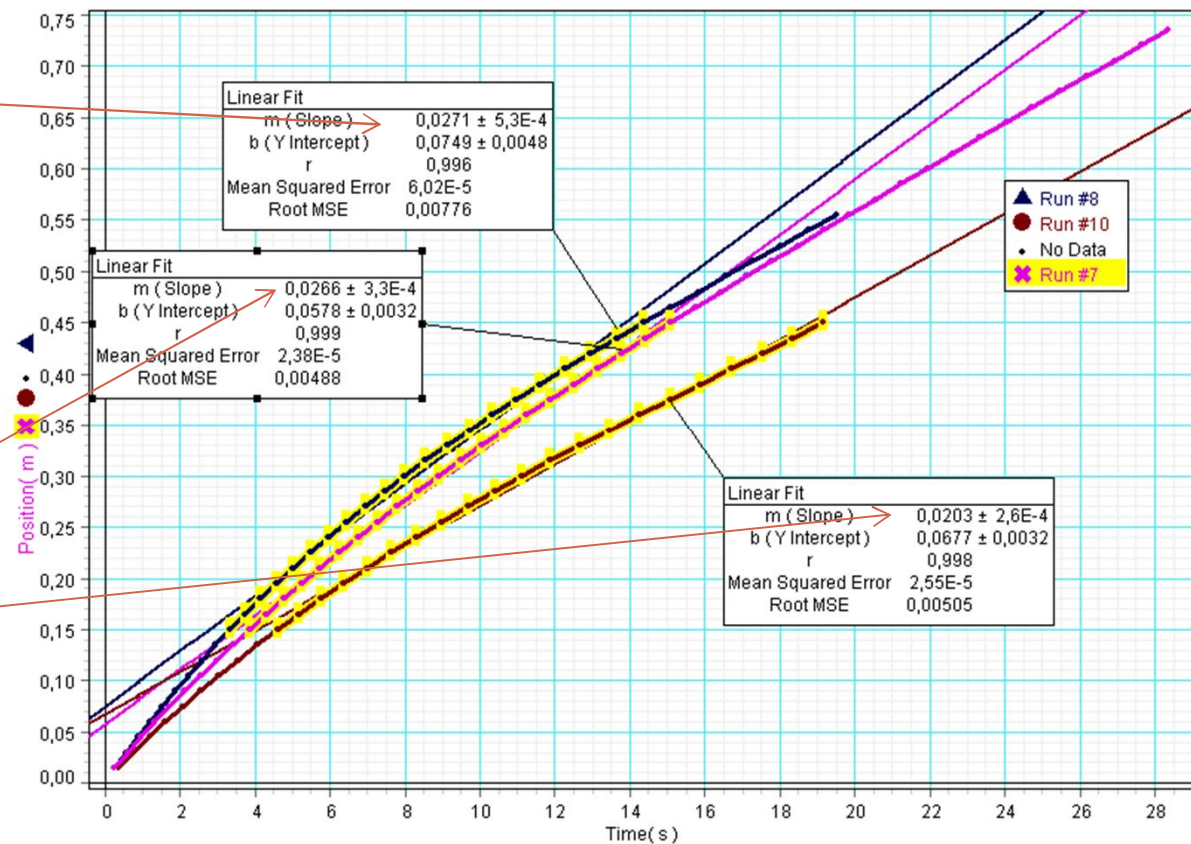
Analiza danych

Korzystając z danych dodatkowych przeanalizowaliśmy zależność drogi od czasu w trakcie ruchu ciężarka.

Współczynnik proporcjonalności

Współczynnik proporcjonalności

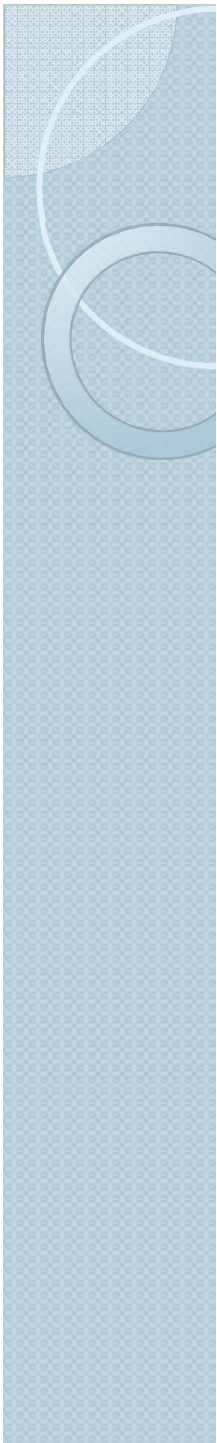
Współczynnik proporcjonalności



Analiza ruchu

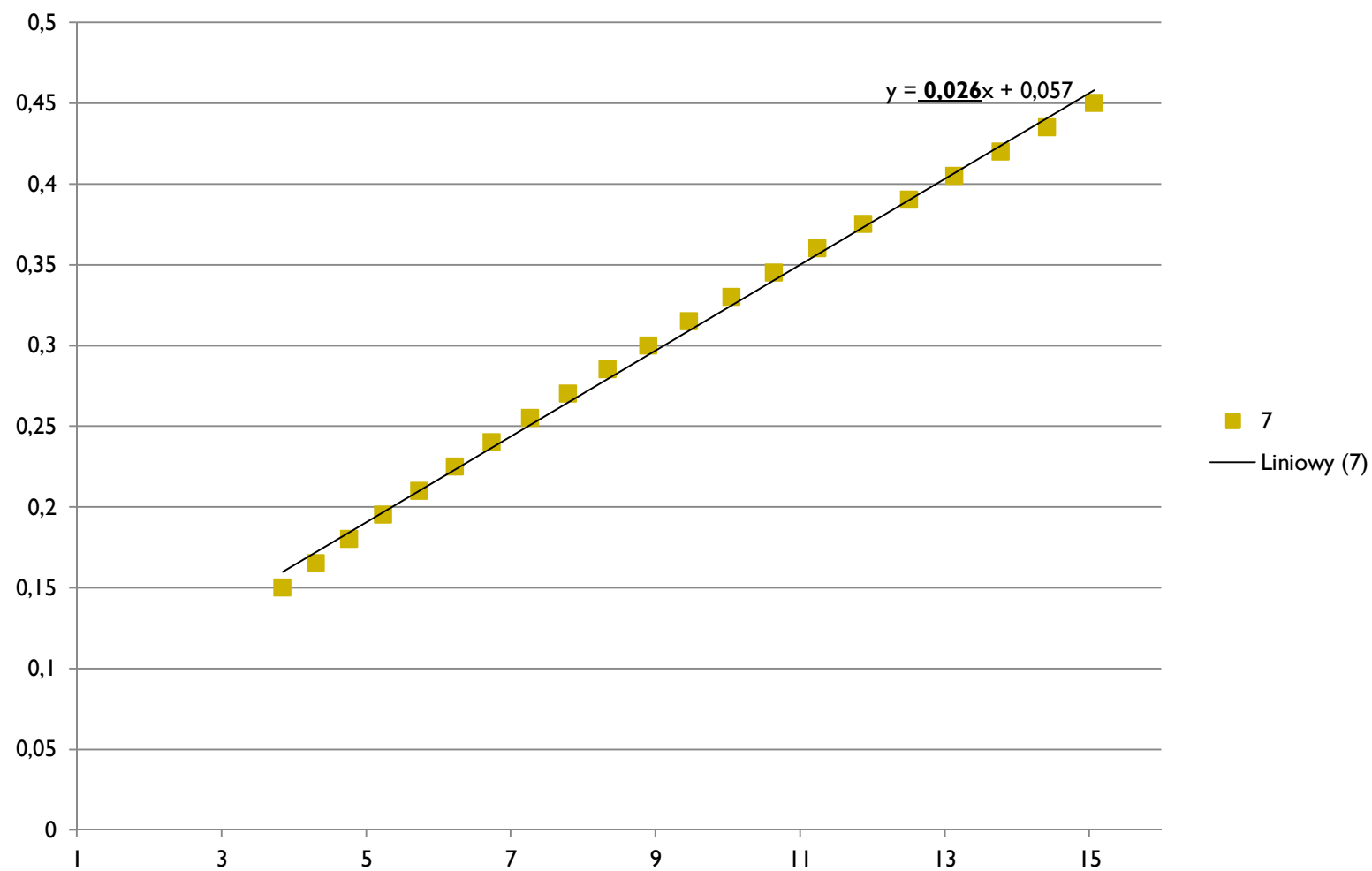
Interesowała nas zależność drogi od czasu w trakcie ruchu ciężarka, od położenia 0,15 m do 0,45 m (bramki pomiarowe). Z powodu większej wprawy i pewności obsługi, dane z pomiaru w DataStudio, opracowaliśmy w Excelu.

Uwaga: w analizie odrzuciliśmy pomiar nr 3, jako odbiegający znacząco od pozostałych (stąd pomiar 4).



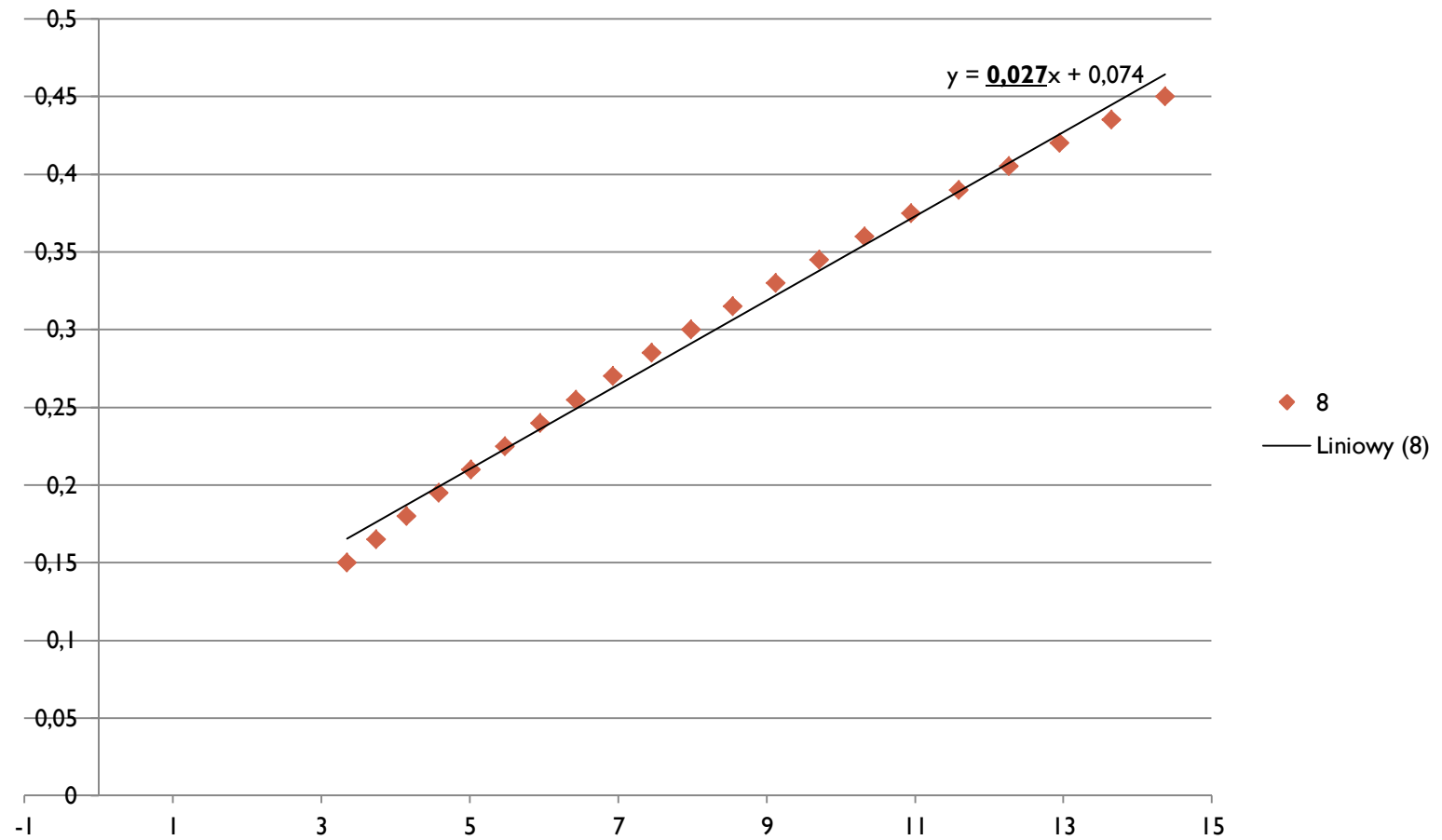
Run #7		run8		run10	
t (s)	h(m)	t (s)	h(m)	t (s)	h(m)
3,8426	0,15	3,3448	0,15	4,593	0,15
4,3047	0,165	3,7407	0,165	5,1624	0,165
4,7695	0,18	4,1492	0,18	5,7431	0,18
5,2396	0,195	4,5788	0,195	6,3527	0,195
5,7336	0,21	5,0157	0,21	6,9828	0,21
6,2299	0,225	5,4722	0,225	7,6237	0,225
6,7394	0,24	5,9483	0,24	8,2953	0,24
7,2688	0,255	6,4292	0,255	8,9817	0,255
7,7974	0,27	6,9303	0,27	9,6775	0,27
8,3456	0,285	7,4516	0,285	10,4034	0,285
8,9087	0,3	7,9832	0,3	11,13	0,3
9,4695	0,315	8,5421	0,315	11,8719	0,315
10,052	0,33	9,1194	0,33	12,6525	0,33
10,6418	0,345	9,7063	0,345	13,4332	0,345
11,2416	0,36	10,3192	0,36	14,2402	0,36
11,8756	0,375	10,946	0,375	15,0681	0,375
12,508	0,39	11,5916	0,39	15,8716	0,39
13,1373	0,405	12,2675	0,405	16,6903	0,405
13,7795	0,42	12,951	0,42	17,5166	0,42
14,4161	0,435	13,6509	0,435	18,3302	0,435
15,0664	0,45	14,3751	0,45	19,1701	0,45

Próba I

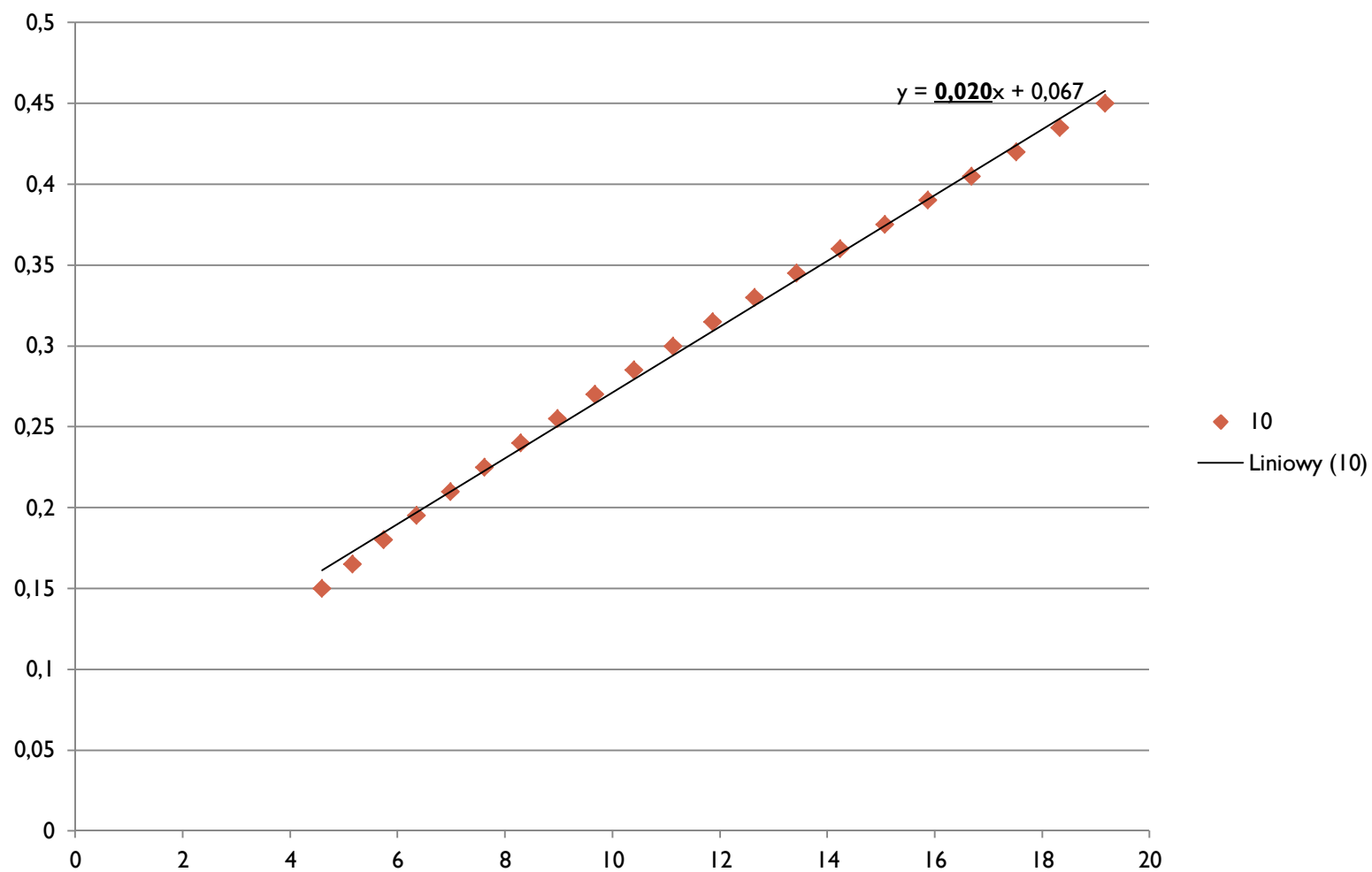


Próba 2

8



Próba 3



Analiza ruchu – wnioski

Przy pomocy obu programów, wyznaczyliśmy, że ruch ciężarka na całej jego drodze, podczas pomiaru, odbywał się ruchem jednostajnym. Co więcej współczynnik proporcjonalności (liczba przy x) oznacza nachylenie prostej, czyli szybkość przejazdu.

Moc

Mamy zatem, że droga S (w naszym przypadku Δh) przebyta w czasie t przez ten czas to szybkość:

$$V = \frac{S}{t}$$

Wówczas wzór na moc przybiera postać:

$$P = m g V$$

Wartość mocy wiatraka

Po podstawieniu do wzoru wartości:

$$m = 100\text{g} = 0,1\text{kg},$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

brakuje nam wartości prędkości naszego wiatraka. Wykorzystamy do jej wyznaczenia wyniki pomiarów czasu t .

nr pomiaru	czas t [s]	błąd [s]
run 7	13,36	0,01
run 8	11,89	0,01
run 10	13,62	0,01
średni	12,96	0,01

Wartość prędkości

Po podstawieniu, otrzymujemy:

$$V = \frac{S}{t_{sr}} = \frac{0,3 \text{ m}}{12,96 \text{ s}} = 0,02314815 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \approx 0,023 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Możemy odnieść się w tym miejscu do wyników otrzymanych z analizy pomiarów. Zarówno w programie DataStudio jak i Excelu szybkości średnie są nieco wyższe niż uzyskana powyżej.

Wartość prędkości

Do wyznaczenia wartości mocy posługiwać się będziemy wyliczoną przez nas wartością prędkości, ułatwi to nam nieco rachunek niepewności.

nr pomiaru	szybkosc DataStudio	szybkosc Excell
run 7	0,0266	0,026
run 8	0,0271	0,027
run 10	0,0203	0,02
srednia	0,0247	0,0243

Wartość mocy wiatraka cd.

Podstawiając wszystkie wartości do wzoru

$$P = m g V$$

otrzymujemy moc naszego wiatraka

$$P = 0,02270833 \text{ W} \approx 0,023 \text{ W}$$

Oczywiście, gdybyśmy opierali się o wyniki z ostatniej tabeli wartość wynosiłaby w przybliżeniu 0,024 – 0,025W.

Rachunek niepewności

Wyznaczając wartość mocy naszego wiatraka mamy do czynienia z pomiarami pośrednimi wielkości złożonych.

Niepewności, które nam towarzyszą związane są z narzędziami pomiaru i procedurami pomiarowymi.

Jako miarę niepewności użyjemy **niepewności maksymalnej**.

Rachunek niepewności

Niepewności związane z narzędziami pomiaru podane były w opisie pomiarów i zawarte są wraz z wartościami w tabelce poniżej:

przemieszczenie S	$(0,30 \pm 0,01) \text{ m}$
masa m	$(0,100 \pm 0,001) \text{ kg}$
czas t	$(12,96 \pm 0,01) \text{ s}$

Odnosnie czasu, za niepewność przyjęliśmy podaną w opisie.

Rachunek niepewności

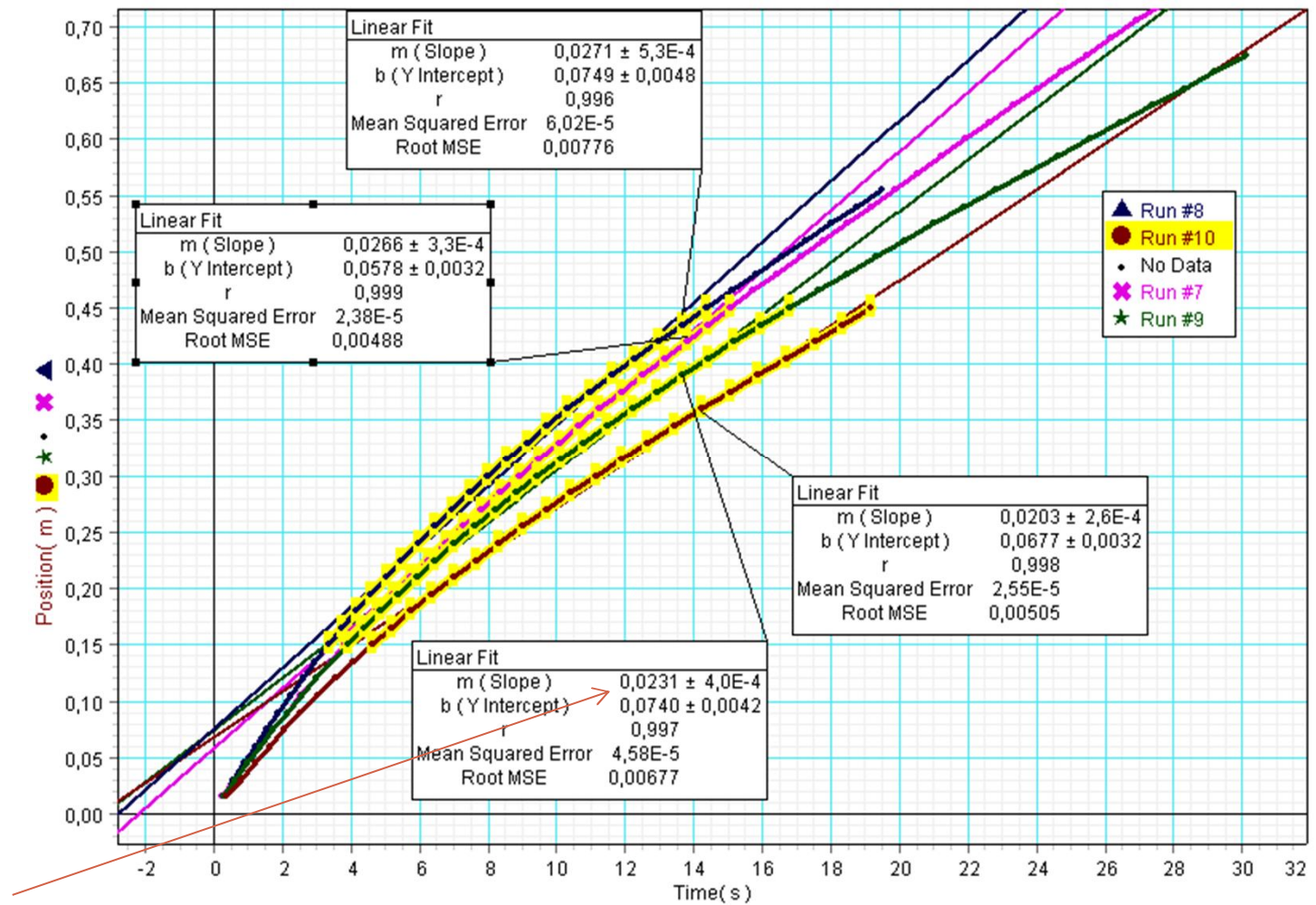
Ponieważ wykonywaliśmy trzykrotnie pomiary zsumowaliśmy niepewności i podzieliliśmy przez trzy i znów wyszło 0,01 s. Ponieważ odrzuciliśmy czwartą, podejrzaną serię, więc nie uwzględniamy dodatkowego czasu związanego z procedurą pomiarową.

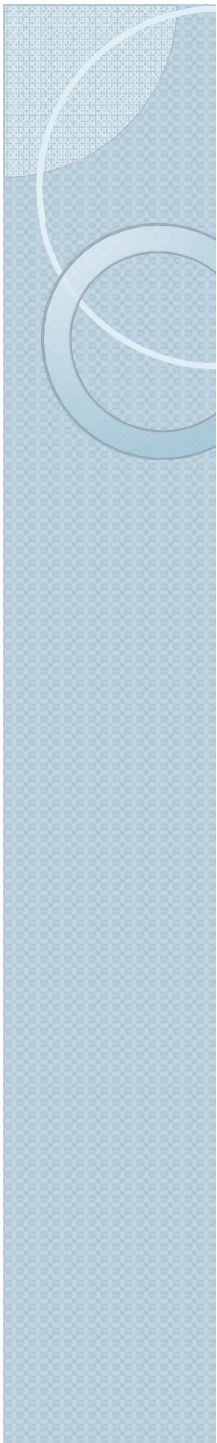
W tym miejscu warto odnieść się do różnic poszczególnych wyników pomiarów. Z obserwacji naszych kolegów, wynikało, że duży wpływ miało na czas zachowanie wiatraka, szczególnie kiedy nitka nawijała się na oś i dochodziła do kolejnego nawinięcia, wiatrak .

Czwarta seria - dygresja

Wprawdzie odrzuciliśmy czwartą serię, trzecią w kolei z pomiarów, ponieważ komputer wskazał czas 16,37s, to z analizy w DataStudio nie widać jakiś drastycznych odstępstw, prędkość jest mniejsza, ale czas powinien być zbliżony do pozostałych pomiarów... zastanowiło nas to i spojrzeliśmy na wyniki pomiarów czasu zapisanych w DataStudio. Chwila głębszej zadumy i tak się nam nasunęło na myśl, że tak do końca nie wiemy jak ten komputer zliczał ten czas i wyświetlał... Obliczenia procesora i wyświetlenie obrazu nie powinny zabierać aż +/- 2 s !?. **ODRZUCILIŚMY TĘ HIPOTEZĘ**, chociaż wtedy pomiar by pasował... co więcej szybkość wyznaczona z analizy Data studio i Excella byłaby „lepsza” , dokładniejsza od tej z naszego rozumowania. Komputer kręci ...

Czwarta seria - dygresja





Position, Ch 4, Run #9	
Time (s)	Position (m)
3,8966	0,15
4,3701	0,165
4,8706	0,18
5,3744	0,195
5,9005	0,21
6,4504	0,225
7,0042	0,24
7,586	0,255
8,1838	0,27
8,7908	0,285
9,4357	0,3
10,0975	0,315
10,774	0,33
11,4861	0,345
12,2036	0,36
12,9295	0,375
13,6755	0,39
14,4121	0,405
15,1728	0,42
15,9707	0,435
16,774	0,45

Rachunek niepewności cd.

Dla prędkości mamy:

$$\begin{aligned} V_{max} &= \frac{S + \Delta S}{t_{\acute{s}r} - \Delta t} = \frac{(0,3 + 0,01) \text{ m}}{(12,96 - 0,01) \text{ s}} = \frac{0,31 \text{ m}}{12,95 \text{ s}} \\ &= 0,02393822 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,024 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{min} &= \frac{S - \Delta S}{t_{\acute{s}r} + \Delta t} = \frac{(0,3 - 0,01) \text{ m}}{(12,96 + 0,01) \text{ s}} = \frac{0,29 \text{ m}}{12,97 \text{ s}} \\ &= 0,02235929 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,022 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Rachunek niepewności cd.

Niepewność pomiaru prędkości:

$$\begin{aligned}\Delta V &= (V_{max} - V_{min}) : 2 \\ &= \left(0,02393822 \frac{m}{s} \right. \\ &\quad \left. - 0,02235929 \frac{m}{s} \right) : 2 \\ &= 0,00157891 \frac{m}{s} : 2 = 0,00078945 \frac{m}{s} \\ &\approx 0,001 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

Rachunek niepewności cd.

Dla mocy mamy:

$$\begin{aligned}P_{max} &= (m + \Delta m)(V + \Delta V)g \\&= (0,100 \text{ kg} + 0,001 \text{ kg}) \left(0,023 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right. \\&\quad \left. + 0,001 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\&= 0,101 * 0,024 * 9,81 \text{ W} \\&= 0,02377944 \text{ W} \approx 0,024 \text{ W}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{min} &= (m - \Delta m)(V - \Delta V)g \\&= (0,100 \text{ kg} - 0,001 \text{ kg}) \left(0,023 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right. \\&\quad \left. - 0,001 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\&= 0,99 * 0,022 * 9,81 \text{ W} \\&= 0,021366 \text{ W} \approx 0,021 \text{ W}\end{aligned}$$

Rachunek niepewności cd.

Niepewność pomiaru mocy:

$$\begin{aligned}\Delta P &= (P_{max} - P_{min}):2 \\ &= (0,02377944 \text{ W} - 0,0213661 \text{ W}):2 \\ &= 0,0024133:2 \text{ W} = 0,00120665 \text{ W} \\ &\approx 0,001 \text{ W}\end{aligned}$$

Rachunek niepewności cd.

Reasumując mamy:

przeszyczenie S	(0,30+/-0,01) m
masa m	(0,100+/-0,001) kg
czas t	(12,96+/-0,01) s
prędkość V	(0,023+/-0,001) m/s
moc P	(0,023+/-0,001) W

Moc

Korzystając, z wzoru na moc całego układu turbiny wiatrowej, dla małych siłowni:

$$P = (0,11) d^2 V^3 [W] ,$$

gdzie:

d - średnica łopatek turbiny wiatrowej [m]

V - prędkość wiatru [m/s]

dla $d = 0,25$ m i $V = 2$ m/s, mamy

$$P = 0,055 \text{ W}$$

Sprawność wiatraka

Otrzymaliśmy:

$$\eta = \frac{0,023}{0,055} * 100\% \approx 42,09\%$$

korzystając ponownie z niepewności maksymalnej:

$$\begin{aligned}\Delta\eta &= (\eta_{max} - \eta_{min}):2 = (0,436363 - 0,4):2 \\ &= 0,036363:2 = 0,01818 \approx 0,02\end{aligned}$$

Czyli: $(0,4209 \pm 0,02) * 100\%$, więc zgodnie z literaturą te 40% przekroczył i można go eksploatować.

Dziękujemy za uwagę

