Podobnie jest w przykładzie z Ziemią i gimnazjalistą. Siła 600 N, działając na ciało o masie 60 kg, nadaje mu przyspieszenie... (sprawdź zresztą sam, skorzystaj ze wzoru podanego wraz z drugą zasadą dynamiki). Pomyśl teraz, jak ma się wielkość tej siły do wartości masy Ziemi, czyli 6 000 000 000 000 000 000 000 000 kg (w prostszym zapisie $6 \cdot 10^{24}$ kg)! Przyspieszenie, z którym „Ziemia podskakuje do ciebie”, kiedy skaczesz z drzewa to zaledwie $1 \cdot 10^{-22}$ m/s^2! Efekt jest więc taki, jaki obserwujemy na co dzień: pomimo wzajemnego działania na siebie tą samą siłą, będziemy widzieli, jak ciała spadają na ziemię, a nie Ziemię spadającą na ciała.

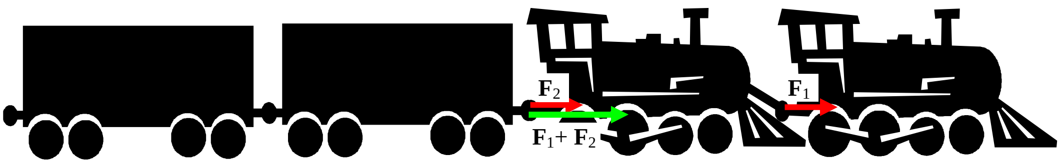
4.6. Jeszcze raz o wektorach

Jak już wspominaliśmy, skutek działania siły zależy nie tylko od jej wartości, ale i od kierunku, w którym ta siła działa. Na rysunku 4.3. pokazane są dwa holowniki, z których każdy ciągnie tankowiec w nieco innym kierunku. Skutek działania obu tych sił jest jednak taki, że tankowiec płynie do przodu. Dwie siły działające w różnych *kierunkach* dają skutek w kierunku *wypadkowym*.

Z kolei fotografia 4.5. przedstawia próbę rozerwania półkul magdeburskich – dwie grupy zawodników ciągną z dwóch stron. Dopóki dwie siły będą równe, kula wisząca w środku się nie przesunie. Mówimy, że dwie działające siły są równe *co do wartości*, ale mają przeciwny *zwrot*.

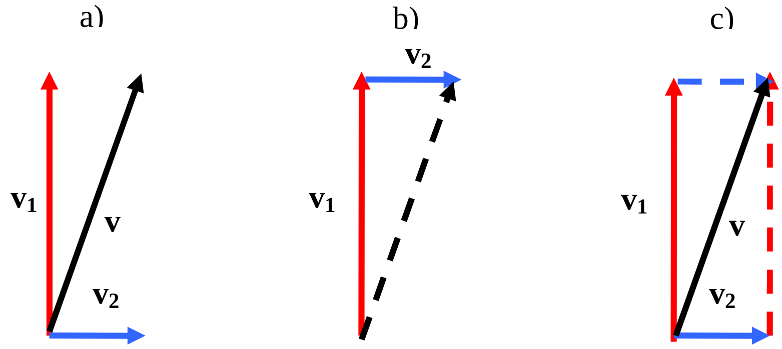
W ten sposób odkryliśmy trzy atrybuty siły:
1) wartość,
2) kierunek,
3) zwrot.

Siły w przeciąganiu liny działają *wzdłuż* tego samego *kierunku*, ale mają przeciwne *zwroty*. Dwa holowniki ciągną siłami o tych samych *wartościach*, ale w różnych kierunkach (rys 4.3.). Z kolei kilka lokomotyw podłączonych do tego samego składu wagonów ciągnie siłami w tym samym *kierunku* i mającymi ten sam *zwrot.*



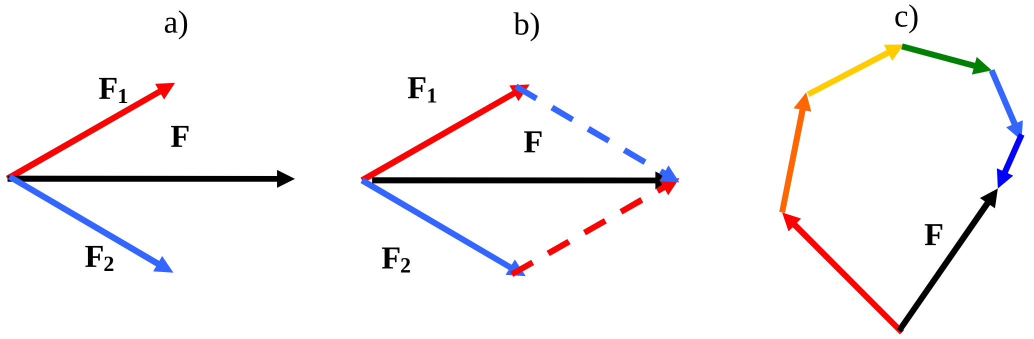
Rys. 4.8. Składanie sił działających w tym samym kierunku: lokomotywa pierwsza wytwarza siłę ciągu $\mathbf{F_1}$, jest ona przyłożona do przedniego zaczepu lokomotywy drugiej, a przez nią do wagonów; lokomotywa druga wytwarza siłę ciągu $\mathbf{F_2}$, przyłożoną do wagonów. W ten sposób na wagony działa sumaryczna siła $\mathbf{F_1}$+$\mathbf{F_2}$ (zielony wektor)

Wektorem jest również *prędkość*. Rozważmy przykład łódki płynącej w poprzek rzeki. Wioślarz wiosłuje ile sił, ale łódka i tak jest znoszona z prądem. *Wypadkowy* kierunek ruchu będzie złożeniem prędkości własnej łódki (to znaczy prędkości, jaką miałaby łódka na stojącej wodzie) i prędkości prądu rzeki, zobacz rys. 4.9. Mówimy, że *wypadkowy wektor* prędkości jest *sumą* prędkości składowych. Sposób na sumowanie wektorów jest pokazany na rysunkach 4.6.–4.10.



Rys. 4.9. Prędkość jest wektorem:
a) wioślarz wiosłuje w poprzek rzeki, ale łódka znoszona jest prądem wzdłuż rzeki; wypadkowa prędkość łódki **v** (wektor czarny) jest złożeniem prędkości $\mathbf{v_1}$, jaką miałaby ona na wodzie stojącej wektor czerwony) i prędkości prądu $\mathbf{v_2}$ (wektor niebieski). Aby wyznaczyć kierunek wektora wypadkowego (sumarycznego) mamy dwa sposoby: b) możemy wektory *zsumować*, przesuwając wektor „2" na koniec wektora „1" – wektor wypadkowy zaczyna się na początku wektora „1", a kończy na końcu wektora „2"; c) na wektorach „1" i „2" budujemy *równoległobok* – wektor wypadkowy jest przekątną tego równoległoboku

Podobnie, aby obliczyć, ile wynosi i pod jakim kierunkiem działa siła *wypadkowa*, musimy działające siły *dodać*. Na rysunku 4.3. i 4.10., a czynimy to dla dwóch holowników.



Rys. 4.10. Siła jest wektorem:
a) aby określić, jaka wypadkowa siła **F** działa na ciągnięty tankowiec, sumujemy siły $\mathbf{F_1}$ i $\mathbf{F_2}$ pochodzące od dwóch holowników; b) w sumowaniu dwóch wektorów możemy skorzystać z reguły równoległoboku; c) reguła równoległoboku staje się niewygodna przy sumowaniu większej liczby wektorów, jak na przykład w zagadnieniu związanym z teorią tęczy. Wygodniej jest w tym przypadku sumować wektory metodą „początku z końcem"

Aby podkreślić, że jakaś wielkość jest wektorem, zapisujemy ją ze strzałką na górze $\vec{F}$ lub czcionką pogrubioną. I tak „v" będzie oznaczało jedynie *wartość* prędkości a zapis „**v**" oznacza *wektor* prędkości – pisząc tak, mamy na myśli nie tylko wartość, ale także *kierunek* i *zwrot* prędkości. Zauważ, że przemieszczenie ciała też ma kierunek, czyli jest wektorem. W przykładzie na rysunku 3.4. (policji goniącej gangsterów) wektor przemieszczenia policji jest równy sumie wektorów przemieszczenia gangsterów.

Fakt, że siła jest wektorem ma zasadnicze znaczenie w interpretacji II prawa Newtona. Zapis

$$F = m\,a,$$

jak w równaniu 4.1. nie oddaje całego sensu tego prawa.
Poprawniejszy jest zapis

$$\mathbf{F} = m\,\mathbf{a}.$$

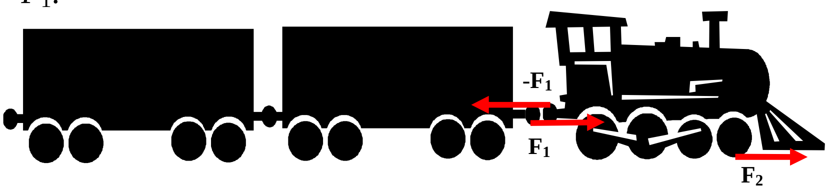
Oznacza on, że wektor przyspieszenia ma ten sam kierunek, co wektor (sumarycznej) siły. Jest to stwierdzenie bardzo ważne dla opisu rzuconej poziomo piłki: jej tor to taki zakrzywiony „łuk”. Na lecącą kulkę działa jedynie siła grawitacji pionowo w dół. Mimo że tor jest skomplikowany, przyspieszenie kulki ma zawsze kierunek pionowo w dół, jak w spadku swobodnym.

Siła, jako wektor, jest zaczepiona do ciała w określonym punkcie – dla dynamometrów na fotografii 4.9. są to haczyki, dla holowników na zdjęciach poniżej jest to wielki zaczep na rufie.

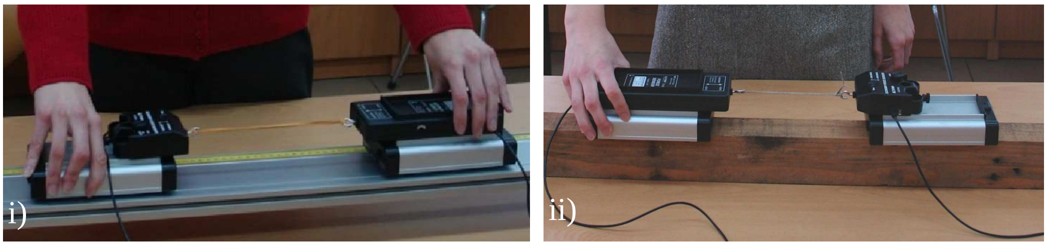
Fot. 4.10. Holowniki – na rufie każdego z nich widoczny zaczep do liny ciągnącej statek

Wektor siły ma więc cztery atrybuty: wartość, kierunek, zwrot i punkt zaczepienia.

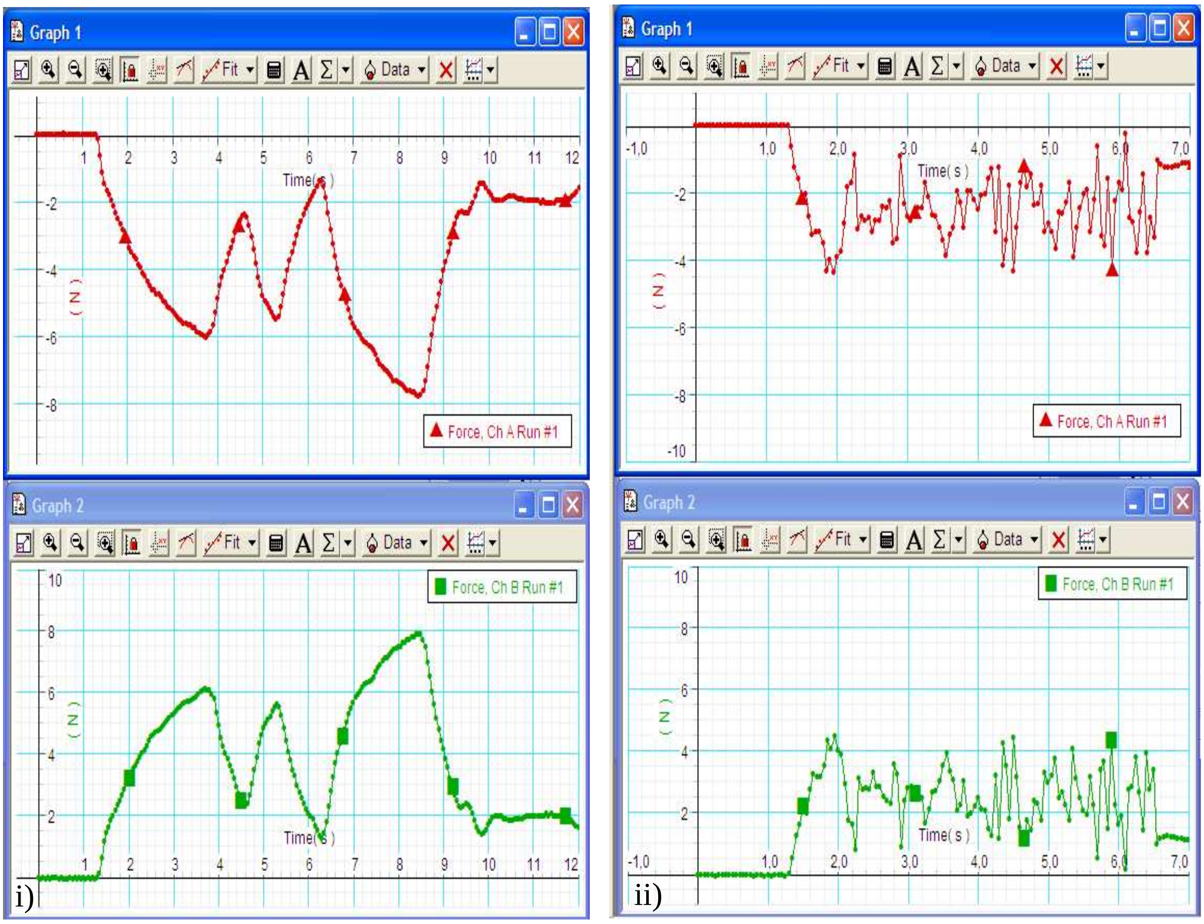
Ta ostatnia cecha jest bardzo ważna dla zrozumienia III prawa Newtona. Na rysunku 4.8 dwie siły $\mathbf{F}_1$ i $\mathbf{F}_2$ są identyczne co do wartości i mają przeciwne zwroty. Nie byłoby jednak prawidłowe powiedzenie, że na te dwa dynamometry *nie* działają siły albo że „działające siły się równoważą”. Źródłem siły działającej na dynamometr „1” jest dynamometr „2”, siła ta jest przyłożona do dynamometru „1”. I dalej, źródłem siły działającej na dynamometr „2” jest dynamometr „1”. O równoważeniu się sił mówimy jedynie, kiedy działają one na *to samo* ciało. Układ dwóch dynamometrów może się poruszać ruchem przyspieszonym a siły $\mathbf{F}_1$ i $\mathbf{F}_2$ nadal pozostaną równe co do wartości. Na rysunku 4.11. siła ($-\mathbf{F}_1$), z jaką wagony ciągną lokomotywę (do tyłu), jest taka sama, jak siła ($\mathbf{F}_1$), z jaką lokomotywa ciągnie wagony. Co jest powodem ruchu przyspieszonego całego składu? Otóż lokomotywa jest ciągnięta do tyłu przez wagony, ale sama „odpycha się” od szyn. Siła tarcia $\mathbf{F}_2$, pochodząca od szyn, a działająca na lokomotywę, jest powodem ruchu przyspieszonego całego składu, o ile oczywiście $F_2 > F_1$.



Rys. 4.11. Trzecia zasada dynamiki Newtona:
Siła ($-\mathbf{F}_1$), z jaką wagony ciągną lokomotywę (do tyłu) jest taka sama, jak siła ($\mathbf{F}_1$), z jaką lokomotywa ciągnie wagony. Źródłem przyspieszenia całego składu jest siła tarcia $\mathbf{F}_2$ pochodząca od szyn, a działająca na lokomotywę. Szyny działają siłą $\mathbf{F}_2$ na lokomotywę, bo koła lokomotywy „odpychają” szyny do tyłu



Fot. 4.12. A) Sprawdzanie III zasady dynamiki Newtona za pomocą pomiaru komputerowego. Czujniki siły zostały zamocowane na dwóch wózkach; i) w pierwszym doświadczeniu czujniki są połączone za pomocą elastycznej gumki a, Autorka ciągnie jeden lub drugi wózek; ii) w drugim doświadczeniu wózki są ciągnięte po chropowatej belce – raz ruszają, raz się zatrzymują



Fot. 4.12. B) Zależność od czasu sił działających na oba wózki. Mimo skomplikowanego charakteru doświadczenia (gumka jest napięta silniej lub słabiej, wózki ruszają lub stają) siły rejestrowane przez czujniki są zawsze takie same (i przeciwnie skierowane)

Nie wszystkie wektory mają punkt zaczepienia. Jednym z przykładów jest wektor określający wirowanie bąka – nie podajemy punktu, w którym jest zaczepiony wektor określający prędkość (i kierunek) wirowania.