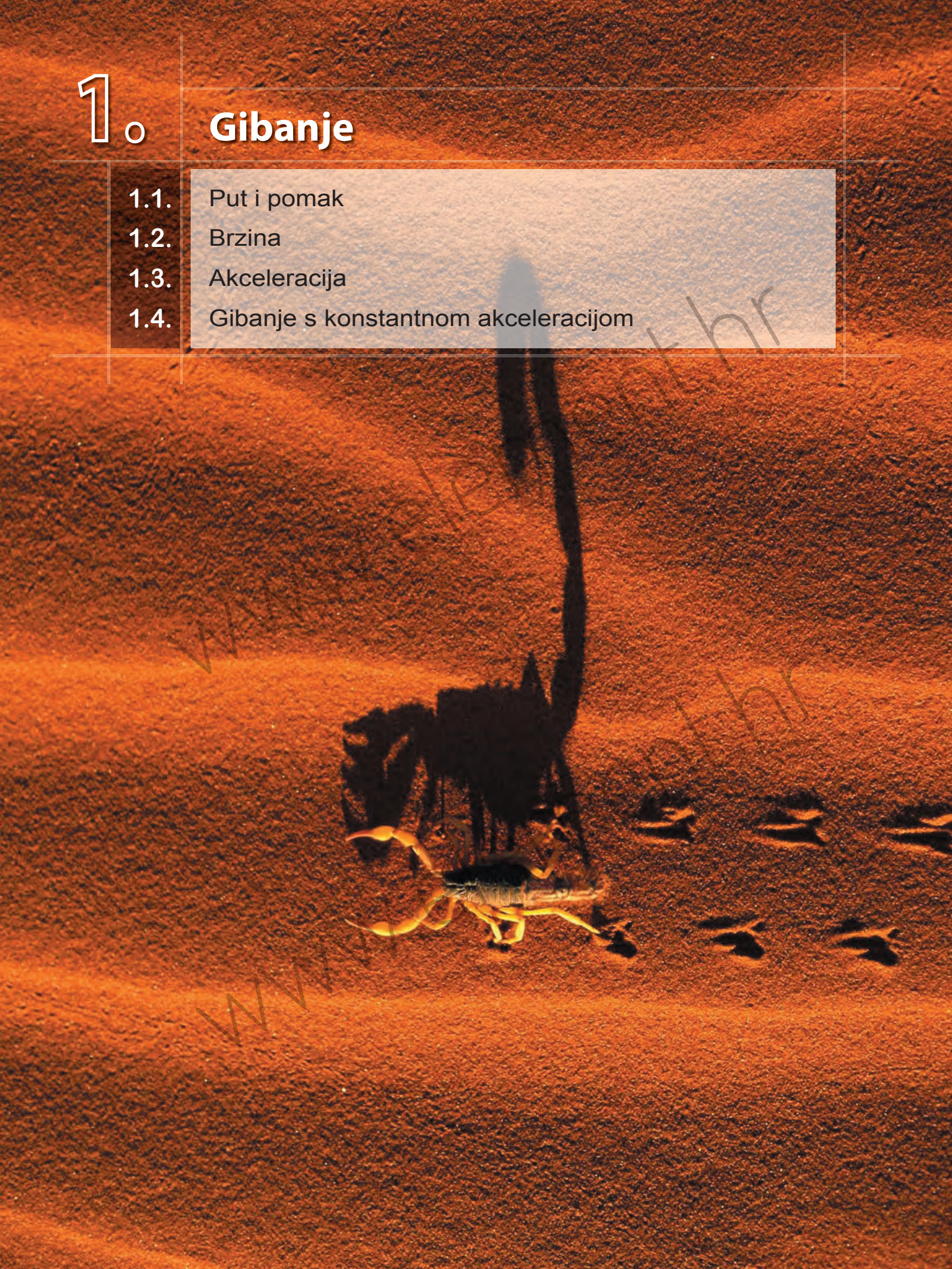
1. Gibanje

1.1. Put i pomak
1.2. Brzina
1.3. Akceleracija
1.4. Gibanje s konstantnom akceleracijom



www.element.hr

1. Gibanje

Učenje fizike obično počinje pojmom *gibanja*. Udžbenici najčešće navedu brojne primjere gibanja, utvrde da je gibanje sveprisutno i relativno te eventualno sve to sažmu u definiciju "gibanje je promjena položaja u *vremenu*".

Pod položajem se misli na mjesto koje tijelo može zauzeti u *prostoru*.

I ovaj će udžbenik dijelom slijediti tu tradiciju. No prije nego što krenemo s primjerima gibanja i nastavimo priču opisima puta, brzine i ubrzanja, zadržimo se nakratko na pojmovima prostora i vremena. Njihove definicije nećete naći u početnicama fizike. Ne zato što ti pojmovi nisu važni. Naprotiv, iznimno su važni, možda najvažniji u čitavoj fizici.

Nećete ih naći zato što te definicije uopće ne postoje. U redu, postoji obilje filozofskih misli o prostoru i vremenu, ali nijedna od njih u potpunosti ne opisuje fizikalni prostor i vrijeme. Postoje mnoge definicije matematičkih prostora, no samo su neke od njih u posebnim situacijama približni opisi stvarnog fizikalnog prostora. Nije li to apsurdno? Najvažniji pojmovi, a ne znamo ih objasniti. Reklo bi se da ih u potpunosti ne razumijemo. I to nije daleko od istine.

Fizičari zapravo uopće ne definiraju prostor i vrijeme. Umjesto toga, oni ih *mjere*. Albert Einstein, jedan od najvećih fizičara u povijesti čovječanstva, mnogo je razmišljao o temeljnim pojmovima prostora i vremena. Njegova specijalna teorija relativnosti doslovno je promijenila svijet. Što se vremena tiče, Einsteinova radna definicija bila je "vrijeme je ono što čitamo na satu".

Ipak, danas se o prostoru i vremenu mnogo toga zna. Primjerice, zna se da prostor i vrijeme nisu apsolutni – neovisni o opažaču – kako je mislio Newton, nego su relativni. Također, prostor i vrijeme nisu međusobno neovisni, nego su povezani.

To jedinstvo opisujemo pojmom prostor-vrijeme. Moguće je da postoji više od triju prostornih dimenzija. Prostor nije statičan, nego se širi. Ne postoji potpuno prazan prostor. I ono najčudnije, na vrlo maloj skali sam prostor-vrijeme, čini se, ima strukturu, slično kao što tvar ima atomsku strukturu. No sva ova egzotična svojstva prostora i vremena daleko su izvan opsega udžbenika. Navedena su samo kao primjer složenosti prostora i vremena. Ove temeljne pojmove fizike, dakle, ne definiramo zato što su prejednostavni, kao što se obično misli, nego zato što su presloženi.

Na početku učenja nemamo drugog izbora do krenuti od osobnih iskustvenih predodžbi prostora i vremena. Valja, međutim, imati na umu da su prostor i vrijeme iznimno važni i vrlo složeni pojmovi te da ih u fizici ne definiramo, nego ih mjerimo.

www.element.hr

Ključni pojmovi

- gibanje
- skalar
- vektor
- pomak
- put
- metar
- sekunda

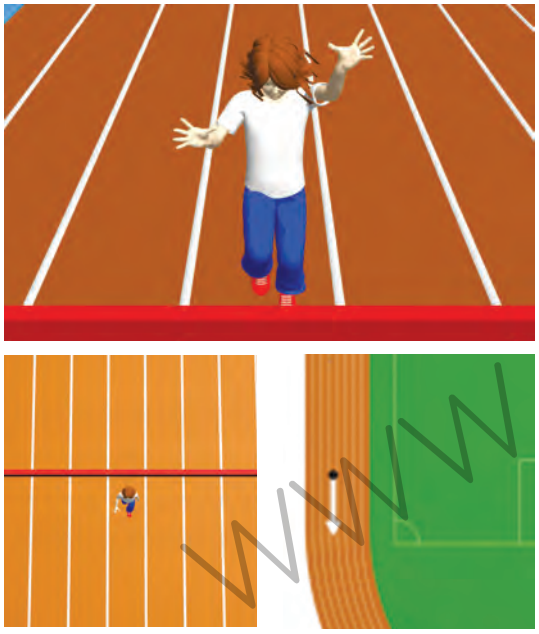
1.1. Put i pomak

1.1.1. Pojam gibanja

Fizika je temeljna prirodna znanost koja se razvila iz težnje ljudi da razumiju svijet oko sebe. Sve prirodne znanosti (fizika, kemija i biologija) izvanredno su uspješne u tumačenju svijeta. A taj je uspjeh rezultat posebne metode prikupljanja znanja – znanstvene metode – koja osim na razumu i logici (matematici) inzistira na sumnji i provjeri (eksperimentu).

Jedna je od očitih činjenica o svijetu ta da on nije stalan. Sve se neprekidno mijenja. I upravo zahvaljujući promjenama možemo govoriti o vremenu. U nekom zamišljenom svijetu u kojem bi baš sve mirovalo ne bi bilo ni vremena. U našem, stvarnom svijetu tijela mijenjaju međusobne položaje. Opažamo ih bliže ili dalje jedna od drugih i takve promjene nazivamo gibanjem. Općenito, fizika istražuje **gibanje** tvari u prostoru.

Gibanje je mijenjanje položaja tijela u odnosu na drugo tijelo.



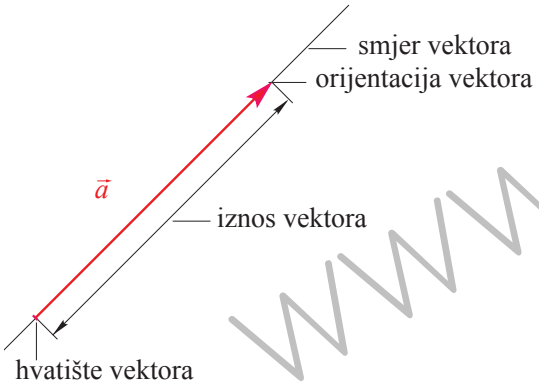
1.1-1
Gledan s velike visine, dječak koji trči na atletskoj stazi odgovara materijalnoj točki

Slika 1.1-1 prikazuje dječaka koji trči po atletskoj stazi. Mijenjanje njegova položaja u odnosu na neku odabranu točku staze je gibanje. Dječak se, dakle, giba. Međutim, opis tog gibanja zamršen je ako se usredotočimo na jedan detalj. Recimo, vrh malog prsta njegove desne ruke izvodi gibanje koje nije jednostavno opisati. No promatramo li dječaka odozgo, što smo na većoj visini vidimo sve manje detalja. Naposljetku, dječak djeluje kao točka koja se giba. Gibanje te točke je jednostavno. U nastavku ovog poglavlja sva ćemo tijela tretirati kao materijalne točke.

Približan opis problema, u kojem zanemarujemo nepotrebne detalje, nazivamo aproksimacijom. Takav pristup nije iznimka, nego uobičajen postupak. Zato fiziku često nazivamo umijećem *aproksimacija*.

1.1.2. Skalari i vektori

Nadalje, pristup problemima u fizici nikad nije samo kvalitativan (ili opisan) nego uvijek i kvantitativan (ili količinski). Izražavanje količine povezano je s brojenjem. No u fizici ne brojimo samo pojedinačne objekte. Najčešće "brojimo" koliko je puta neka fizikalna veličina veća od unaprijed dogovorenog standarda. Takav postupak nazivamo mjerenjem. Mnogo više o mjerenju možete saznati iz dodatka na kraju knjige.



1.1-2
Vektor je usmjerena dužina. Pravac određuje smjer vektora, strelica određuje njegovu orijentaciju, a duljina dužine (razmak između hvatišta i vrha) određuje iznos vektora.

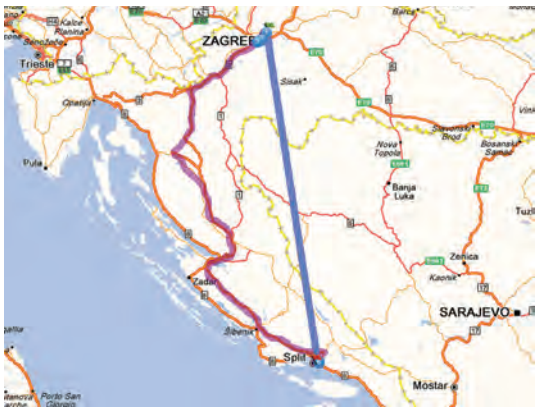
Fizikalne veličine mogu biti bliske svakodnevnom iskustvu (kao *duljina*) ili vrlo apstrakne (kao *entropija*), no uvijek su vrlo precizno definirane. Svaka fizikalna veličina ima svoj naziv (npr. *vrijeme*) i uobičajeni znak (npr. *t*). Također, za svaku fizikalnu veličinu postoji dogovorena jedinica (npr. *sekunda*) i njezin znak (npr. s). Popis osnovnih fizikalnih veličina nalazi se u tablici 2, a popis izvedenih u tablici 3 Dodatka.

Neke fizikalne veličine imaju samo iznos. Primjerice, novorođenče ima masu od 3,2 kg. Taj iznos iskazujemo brojem (3,2) i jedinicom (kg). Sve veličine koje je dovoljno opisati iznosom nazivamo **skalarima**. Postoje, međutim, fizikalne veličine koje ne možemo opisati samo iznosom. Za njihovo potpuno određenje trebamo dodatne informacije: smjer i orijentaciju. Takve veličine nazivamo **vektorima**. Recimo, zrakoplov

www.element.hr

leti brzinom od 860 km/h (iznos) na pravcu istok-zapad (smjer) prema zapadu (orijentacija).

Skalar je veličina opisana samo iznosom.
Vektor je veličina opisana iznosom, smjerom i orijentacijom.



1.1-3
Crvenom bojom prikazan je put, a plavom pomak od Zagreba do Splita

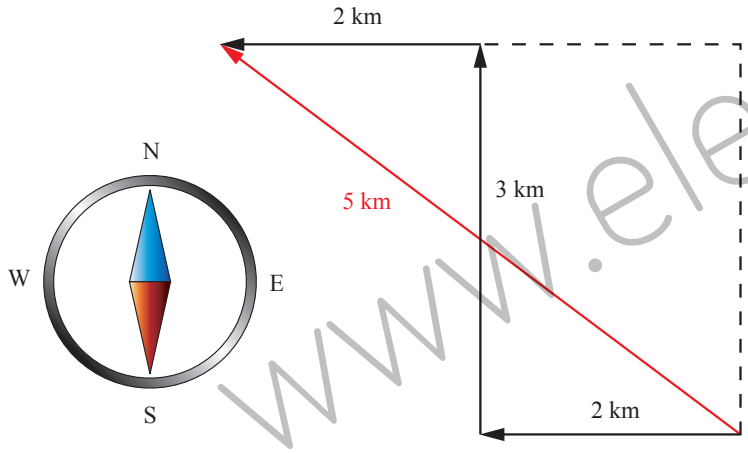
Vektor grafički prikazujemo usmjerenom dužinom, kao na slici 1.1-2. Dužina je dio pravca omeđen s dvije točke. Usmjerena je dužina ona dužina kod koje rubne točke nisu ravnopravne: postoji početna i završna točka. Dužina i duljina su, dakle, različiti pojmovi. Dužina je matematički objekt, a duljina je iznos, recimo 2 cm. U tekstu vektor označavamo strelicom iznad slova.

Katkad su nam pri opisu gibanja važni samo početni i završni položaj tijela. Tada gibanje opisujemo **pomakom**. Pomak je, dakle, vektor određen početnim i konačnim položajem tijela. Iznos vektora pomaka najkraća je udaljenost između krajnjih točaka. U slučaju zrakoplova, primjerice, udaljenost između krajnjih točaka može odgovarati ukupno prijeđenoj udaljenosti koju nazivamo **putom**. Najčešće je put ipak dulji od iznosa pomaka, kao na slici 1.1-3. Svaku putanju možemo prikazati kao niz pomaka (ponekad beskrajno malih), a zbroj iznosa svih tih pomaka je put.

Pomak je vektor određen početnim i konačnim položajem.
Put je skalar određen ukupno prijeđenom udaljenošću.

Primjer 1

Čovjek hoda 2 km u smjeru zapada, zatim 3 km prema sjeveru te ponovno 2 km na zapad. Koliki je ukupno prijeđeni put? Koliki je iznos ukupnog pomaka?



Rješenje:

Put je skalarna veličina. Stoga je ukupni put zbroj svih prijeđenih putova:

$s = s_1 + s_2 + s_3 = 2\ \text{km} + 3\ \text{km} + 2\ \text{km} = 7\ \text{km}.$

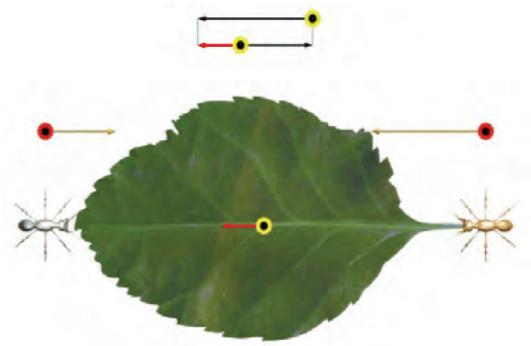
Pomak je vektorska veličina. Osim iznosa, važan je njegov smjer. Prvi i treći pomak (oba u smjeru zapada) vektori su koji leže na usporednim pravcima pa ih zbrajamo poput skalara. Ukupni je pomak u smjeru zapada 4 km. Ukupni je pomak prema sjeveru 3 km. Budući da su smjerovi sjevera i zapada međusobno okomiti, zadatak se svodi na pronalaženje hipotenuze pravokutnog trokuta čije su katete 3 km i 4 km:

$$d = \sqrt{(3\ \text{km})^2 + (4\ \text{km})^2} = \sqrt{25\ \text{km}^2} = 5\ \text{km}.$$

www.element.hr

1.1.3. Operacije s vektorima

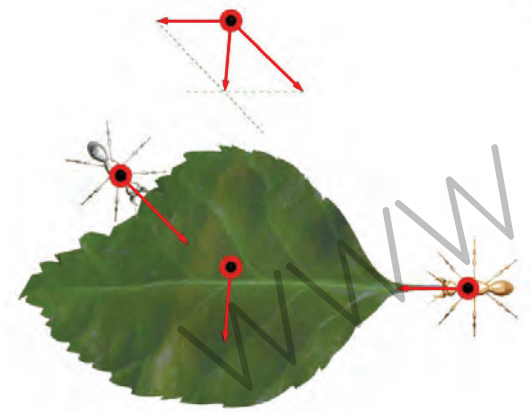
Računanje s vektorima složenije je od računanja sa skalarima. Samo u slučaju kolinearnih vektora – onih koji leže na istom pravcu ili na usporednim pravcima – zbrajanje i oduzimanje isto je kao za skalare. Ako dva kolinearna vektora imaju istu orijentaciju, iznos njihova zbroja jednak je zbroju njihovih iznosa, a orijentacija rezultantnog vektora ostaje ista (slika 1.1-4a). Ako pak dva kolinearna vektora imaju suprotnu orijentaciju, iznos njihova zbroja jednak je razlici njihovih iznosa (veći iznos minus manji), a orijentacija rezultantnog vektora jednaka je orijentaciji vektora većeg iznosa (slika 1.1-4b).



Kolinearni vektori leže na istom pravcu ili usporednim pravcima

1.1-4a
Zbroj dvaju kolinearnih vektora iste orijentacije

1.1-4b
Zbroj dvaju kolinearnih vektora suprotne orijentacije



Nekolinearni vektori leže na pravcima koji nisu usporedni

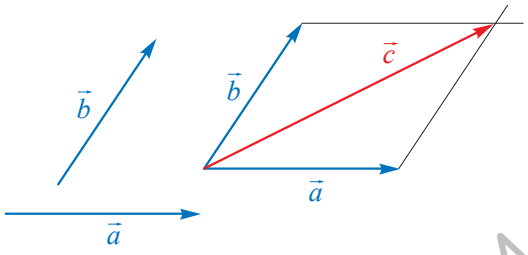
- Promjena orijentacije odgovara promjeni predznaka vektora: $\vec{b}$ u $-\vec{b}$. Stoga se oduzimanje vektora svodi na zbrajanje vektora sa suprotnom orijentacijom:

$$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + \left(-\vec{b}\right).$$

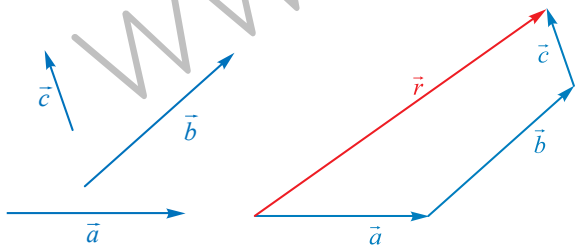
Dakle, iznos vektora c na slici 1.1-4a je $c = a + b$, a iznos vektora c na slici 1.1-4b je $c = a - b$.

Za vektore koji ne leže na istom pravcu ni na usporednim pravcima kažemo da su nekolinearni. Njih zbrajamo metodom paralelograma ili metodom poligona. Pri metodi paralelograma vektore prvo translatiramo tako da im se poklapaju hvatišta (to je ujedno i početna točka rezultantnog vektora). Zatim kroz vrhove nacrtamo usporedne pravce. Ondje gdje se oni sijeku nalazi se vrh rezultantnog vektora. Rezultantni vektor, dakle, leži na dijagonali paralelograma.

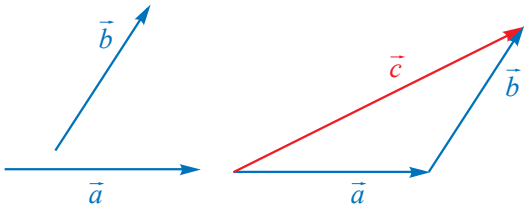
Druga je metoda zbrajanja vektora metoda poligona ili metoda "od glave do repa". Pri metodi poligona početak jednog vektora translatiramo na kraj drugog vektora. Rezultantni vektor ima početak u početnoj točki prvog, a kraj u završnoj točki drugog vektora. Rezultantni je vektor, naravno, potpuno isti bez obzira na metodu. Metoda poligona praktičnija je za zbrajanje većeg broja vektora.



1.1-5
Metoda paralelograma: hvatišta valja translatirati u istu točku



1.1-6
Metoda poligona omogućuje zbrajanje većeg broja vektora



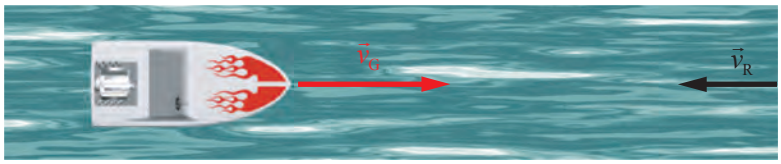
1.1-7
Dva vektora zbrojena metodom poligona: na vrh jednog vektora translatira se hvatište drugoga

www.element.hr

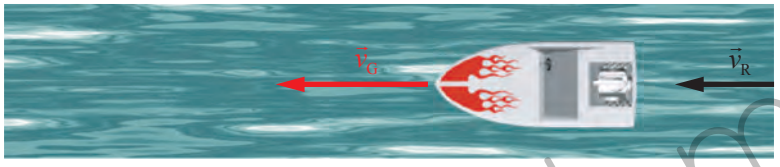
Primjer 2

Pri punoj snazi motora gliser se na jezeru kreće brzinom od 40 km h^{-1}. Koju će najveću brzinu s obzirom na obalu isti gliser postići na rijeci ako se giba: a) uzvodno i b) nizvodno? Brzina rijeke je 9 km h^{-1}.

a)



b)



Rješenje:

a) Vektori $\vec{v}_G$ i $\vec{v}_R$ leže na istom pravcu, ali su različito orijentirani. Stoga iznos zbroja vektora računamo tako da od iznosa većeg oduzmemo iznos manjeg:

$$\vec{v} = \vec{v}_G + \vec{v}_R$$

$$v = v_G - v_R$$

$$v = 40\ \text{km h}^{-1} - 9\ \text{km h}^{-1} = 31\ \text{km h}^{-1}.$$

b) Vektori $\vec{v}_G$ i $\vec{v}_R$ leže na istom pravcu i isto su orijentirani. Stoga iznos zbroja vektora računamo tako da iznos jednog zbrojimo s iznosom drugog:

$$\vec{v} = \vec{v}_G + \vec{v}_R$$

$$v = v_G + v_R$$

$$v = 40\ \text{km h}^{-1} + 9\ \text{km h}^{-1} = 49\ \text{km h}^{-1}.$$

Primjer 3

Gliser iz prethodnog zadatka giba se okomito na smjer rijeke. Kolika je sada njegova brzina s obzirom na početno mjesto na obali?

Rješenje:

Vektor rezultantne brzine je hipotenuza pravokutnog trokuta kojem su katete v_G i v_R.

$$v^2 = v_G^2 + v_R^2$$

$$v = \sqrt{v_G^2 + v_R^2}$$

$$v = \sqrt{\left(40\ \text{km h}^{-1}\right)^2 + \left(9\ \text{km h}^{-1}\right)^2}$$

$$v = \sqrt{1681\ \text{km}^2\text{h}^{-2}}$$

$$v = 41\ \text{km h}^{-1}$$

www.element.hr

1.1-8

Naprava za mjerenje duljine ima isti naziv kao i jedinica SI za udaljenost – metar

1.1-9

Zaporna ura je instrument za mjerenje vremena koja se po potrebi može pokrenuti ili zaustaviti

1.1.4. Mjerne jedinice za duljinu i vrijeme

Iznos pomaka i put odgovaraju istoj fizikalnoj veličini koju općenito nazivamo duljinom i označavamo sa *l*. Kroz povijest su ljudi duljinu mjerili vlastitim mjerama (palac, lakat, stopa, korak). S vremenom se pojavila potreba za standardom: zajedničkom, dobro definiranom mjernom jedinicom. Većina zemalja u svijetu danas prihvaća Međunarodni sustav jedinica, skraćeno SI.

Mjerna jedinica SI za duljinu je **metar**, a njezin je znak m. Kad kasnije uvedemo *m* kao uobičajeni znak za fizikalnu veličinu mase, onda ćemo ga moći razlikovati po tome što je pisan kurzivom (koso). Svi se znakovi fizikalnih veličina, po dogovoru, pišu kurzivom, dok se svi znakovi mjernih jedinica pišu okomito. Dakle, m znači metar, a *m* masa. Manje su jedinice primjerice centimetar (cm, stotinka metra), milimetar (mm, tisućinka metra) i mikrometar (µm, milijuntinka metra). Veća je jedinica primjerice kilometar (km, tisuću metara).

Metar je naziv mjerne jedinice SI za udaljenost.

Istraživanjem gibanja došlo se do još jednog korisnog koncepta u fizici – vremena. Vrijeme mjerimo satovima. Mjerna jedinica SI za vrijeme je **sekunda**, a njezin je znak s. Manje su jedinice primjerice milisekunda (ms, tisućinka sekunde) i mikrosekunda (µs, milijuntinka sekunde). Veće se jedinice mogu tvoriti s pomoću predmetaka, ali se uobičajeno koriste dopuštene jedinice SI: minuta (60 s) i sat (60 minuta = 3600 s). Više o tvorbi većih i manjih jedinica uz pomoć predmetaka te o službenoj definiciji metra i sekunde možete pronaći u Dodatku na kraju knjige.

Sekunda je naziv mjerne jedinice SI za vrijeme.

SAŽETAK

Gibanje je mijenjanje položaja tijela u odnosu na drugo tijelo.

Skalar je veličina opisana samo iznosom.

Vektor je veličina opisana iznosom, smjerom i orijentacijom.

Pomak je vektor određen početnim i konačnim položajem.

Put je skalar određen ukupno prijeđenom udaljenošću.

Metar je naziv mjerne jedinice SI za udaljenost.

Sekunda je naziv mjerne jedinice SI za vrijeme.

www.element.hr

1.2. Brzina

1.2.1. Srednja i trenutačna brzina

Ključni pojmovi

- srednja brzina
- trenutačna brzina
- jednoliko gibanje
- brzina
- nejednoliko gibanje

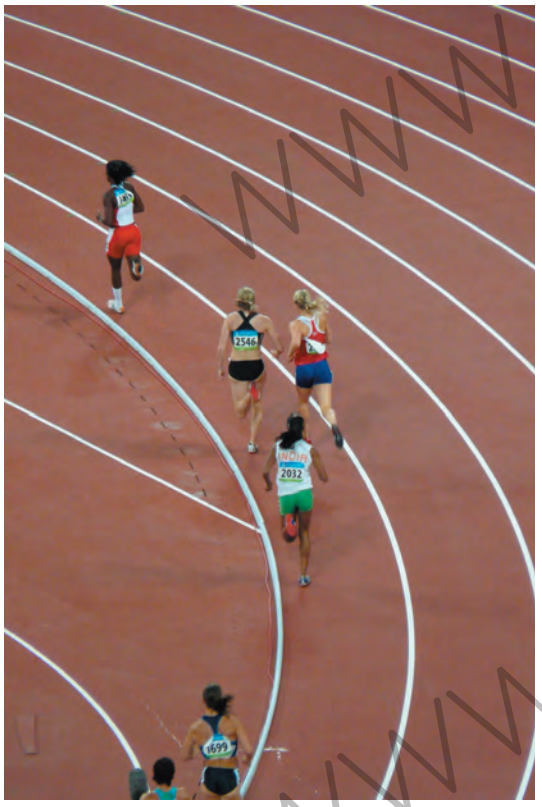
Gibanje smo definirali kao mijenjanje položaja tijela u odnosu na drugo tijelo. Iz iskustva znamo da se "mijenjanje položaja" ne događa uvijek na isti način. Izvor je tog iskustva usporedba dvaju gibanja. Razmotrimo primjer dviju trkačica koje zajedno krenu, trče po istoj stazi, ali ne stižu zajedno na cilj. Jedna od njih stigla je prva. U svakodnevnom govoru kažemo da je bila *brža*. Općenito, koncept brzine pokazao se vrlo korisnim u istraživanju gibanja. U fizici se brzina, kao i sve ostale fizikalne veličine, vrlo precizno definira.

Zasad smo upoznali dvije fizikalne veličine: duljinu i vrijeme. U primjeru trkačica možemo izmjeriti duljinu staze (ili *put* koji pretrče) i *vrijeme* koje protekne od starta do cilja. Proteklo je vrijeme razlika dvaju vremena koje smo očitali na satu: vremena dolaska na cilj (t_2) i vremena polaska (t_1). Razliku obično prikazujemo velikim grčkim slovom delta (Δ). Stoga pišemo:

$$\Delta t = t_2 - t_1.$$

Na isti način možemo prikazati prijeđeni put, kao razliku konačnog i početnog puta:

$$\Delta s = s_2 - s_1.$$



1.2-1

Atletičarke mogu postići najveću brzinu približno 10 m/s (36 km/h)

Brzinu, kao novu fizikalnu veličinu, označit ćemo kao što je uobičajeno, slovom v. Pokušajmo sada u smisleni odnos dovesti v, Δs i Δt. Brža je ona trkačica koja istu stazu pretrči za kraće vrijeme. Dakle, v je veći što je Δt manji. Takav odnos u matematici nazivamo obrnutom proporcionalnošću i zapisujemo:

$$v \sim \frac{1}{\Delta t}.$$

Isto tako, brža je ona trkačica koja za isto vrijeme pretrči dulju stazu. Dakle, v je veći što je Δs veći. Takav odnos u matematici nazivamo proporcionalnošću i zapisujemo:

$$v \sim \Delta s.$$

Oba zaključka možemo objediniti u jedan zajednički izraz.

$$v \sim \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Razlomačka crta znači dijeljenje, a omjer također označavamo kao dijeljenje. Stoga $\frac{\Delta s}{\Delta t} = \Delta s : \Delta t$ nazivamo omjerom promjene puta i promjene vremena. S obzirom na to da uvodimo novu fizikalnu veličinu, nema potrebe za uvođenjem konstante proporcionalnosti (koeficijenta kojim bi se uskladile dimenzije). Zato ostajemo na ovom izrazu, s time da ovako definiranu brzinu nazivamo **srednjom brzinom**. Srednja je brzina, dakle, omjer promjene puta i promjene vremena, a označavamo je slovom v iznad kojeg je crtica.

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Srednja brzina jednaka je omjeru prijeđenog puta i proteklog vremena.

Trkačice vjerojatno nisu cijelim putem trčale potpuno jednako. Moguće da su krenule brže pa kasnije zbog umora usporile. Ili su pak neposredno

www.element.hr

prije cilja potrčale brže. No te su informacije izgubljene ako smo mjerili samo prevaljeni put i proteklo vrijeme. Iz tih podataka jedino možemo izračunati prosjek ili srednju vrijednost brzine. No kad bismo put podijelili na odsječke

$$\Delta s_1,\ \Delta s_2,\ \Delta s_3,\ \ldots$$

i u svakom odsječku mjerili vrijeme

$$\Delta t_1,\ \Delta t_2,\ \Delta t_3,\ \ldots$$

mogli bismo izračunati srednje brzine za svaki dio puta

$$\Delta v_1,\ \Delta v_2,\ \Delta v_3,\ \ldots$$

te imati precizniju informaciju o tijeku gibanja. U graničnom slučaju, kad su vremenski intervali neizmjerno kratki (a odsječci puta također su neizmjerno kratki), dobili bismo pravu ili **trenutačnu brzinu** u svakoj točki gibanja.

$$v = \left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)_{\Delta t \to 0}$$

Sada v više nema crticu, a desna strana izraza čita se "delta es kroz delta te kad delta te teži k nuli". Ovu formulu nećemo koristiti u zadatcima. Naveli smo je samo radi razumijevanja pojma trenutačne brzine.

Trenutačna brzina jednaka je omjeru prijeđenog puta i proteklog vremena kad proteklo vrijeme teži k nuli.

1.2.2. Jednoliko gibanje

Postoje gibanja kod kojih se iznos brzine ne mijenja. Recimo, vlak, brod ili zrakoplov mogu dulje vrijeme voziti istom brzinom. Takvo gibanje nazivamo **jednolikim gibanjem**. Pri jednolikom gibanju izmjerili bismo istu prosječnu brzinu na svakom (proizvoljno malom) dijelu puta. U tom je slučaju srednja brzina jednaka trenutačnoj brzini u svakom trenutku te nema potrebe za stavljanjem crtice iznad v. Stoga pišemo:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Jednoliko gibanje je gibanje stalnom brzinom.

Katkad se, radi jednostavnosti, izostavljaju i oznake promjena (delte) pa pišemo samo

$$v = \frac{s}{t}$$

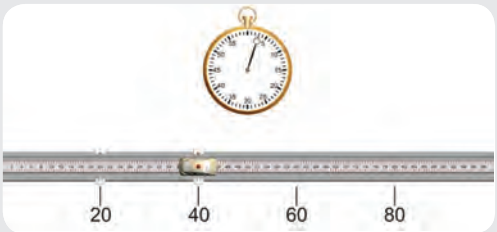
To je opravdano u slučaju kad su početne vrijednosti nula. Primjerice, $t_1 = 0$ kad zapornu uru postavimo u nulti položaj i pokrenemo je kad počne gibanje. Isto tako, $s_1 = 0$ ako put počnemo mjeriti točno od položaja u kojem počinje gibanje. Tada je:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = t_2 - 0 = t_2 = t$$
$$\Delta s = s_2 - s_1 = s_2 - 0 = s_2 = s.$$

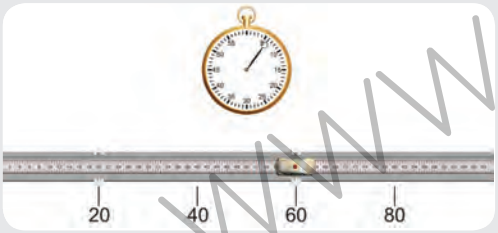
U zadnjem je koraku izostavljen indeks 2 jer za njim više nema potrebe. Iz ovog pojednostavljenog zapisa možemo reći da je **brzina** (u općenitom smislu) omjer puta i vremena. No u konkretnim primjerima moramo znati na koju brzinu mislimo: srednju ili trenutačnu.

Brzina je jednaka omjeru puta i vremena.

Pokus



a) Automobil u vremenu t_1 prijeđe put s_1



b) Automobil u vremenu t_2 prijeđe put s_2

c) Automobil u vremenu t_3 prijeđe put s_3

Automobil se giba s dvije brzine, u prvom dijelu pokusa s v_1, a u drugom s v_2, pri čemu je $v_1 < v_2$. Na početak i određeni kraj puta postavljeni su senzori koji mjere vrijeme potrebno da automobil prijeđe taj put.

U drugom dijelu animacije pokus se ponavlja, no automobil se giba većom brzinom, v_2. Time omogućavamo konstrukciju dvaju pravaca u $s-t$ grafu, gdje uspoređujemo nagibe i povezujemo ih s pripadajućim brzinama. Automobil se u drugom dijelu pokusa giba većom brzinom v_2 i:

- u jednakom vremenu prijeđe veći put nego u prvom slučaju
- za jednako prijeđene putove potrebno mu je kraće vrijeme nego u prvom slučaju.

www.element.hr

1.2.3. Nejednoliko gibanje

1.2-2
Rollercoaster (vlak u zabavnom parku) tipičan je primjer nejednolikog gibanja

U primjeru s trkačicama vidjeli smo da brzina ne mora biti stalno ista. Zapravo, gibanja koja opažamo u prirodi većinom su **nejednolika gibanja**, odnosno gibanja promjenjivom brzinom. Katkad se takva gibanja mogu podijeliti na segmente unutar kojih je gibanje jednoliko, kao u primjeru 4. No kod nekih se gibanja brzina neprekidno mijenja. Kasnije ćemo razmotriti samo jedan, najjednostavniji slučaj takvog gibanja pri kojem brzina raste proporcionalno s vremenom.

Nejednoliko gibanje je gibanje promjenjivom brzinom.

Kako m/s pretvoriti u km/h?

Jedan metar je tisućiti dio kilometra, a jedna sekunda je tri tisuće šestoti dio sata.

Zato možemo pisati

$$1\,\text{m/s} = 1\frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\frac{1}{1000}\text{km}}{\frac{1}{3600}\text{h}} = \frac{3600}{1000}\frac{\text{km}}{\text{h}} =$$

$$= 3{,}6\frac{\text{km}}{\text{h}} = 3{,}6\,\text{km/h}$$

Dakle, 1 m/s možemo zamijeniti s 3,6 km/h. Tako u primjeru iz teksta imamo:

9,37 m/s = 9,37 • 3,6 km/h =
= 33,7 km/h

Rezultat je zaokružen na tri značajne znamenke.

1.2.4. Grafički prikaz gibanja

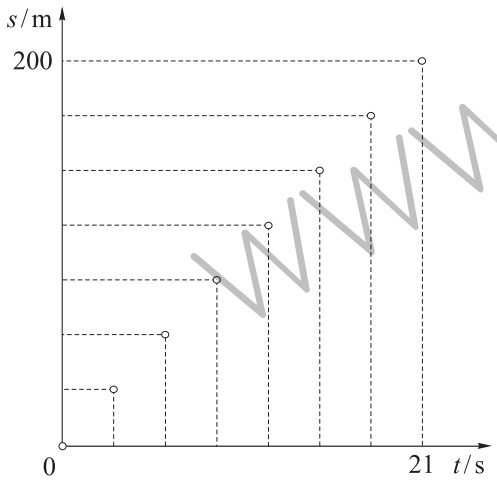
Američka atletičarka Florence Griffith-Joyner (poznata kao Flo-Jo i "najbrža žena svih vremena") postavila je svjetski rekord za žene na olimpijadi u Seoulu 1988. godine. Ona je 200 m pretrčala za 21 sekundu i 34 stotinke. Rekord još nije oboren, a Flo-Jo je u 1998. umrla od epilepsije.

Iz gornjih podataka možemo izračunati srednju brzinu.

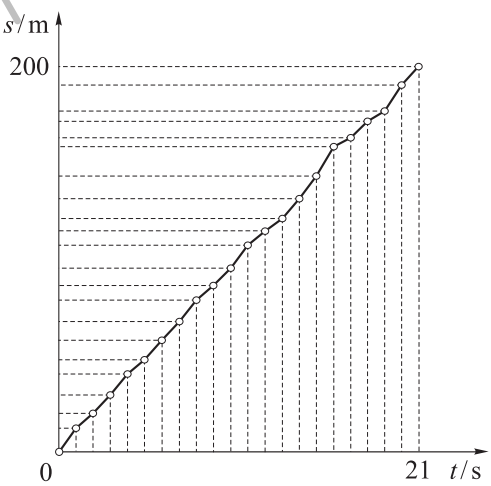
$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{200\,\text{m}}{21{,}34\,\text{s}} = 9{,}37\,\text{m/s} = 33{,}7\,\text{km/h}$$

No to ovdje baš i nije vrlo koristan podatak. Za analizu trke (i eventualno uočavanje slabih točaka) bilo bi bolje znati kako se brzina mijenjala s vremenom. S današnjom tehnikom to nije problem. Senzori koji bilježe vrijeme prolaska trkačice mogu se postaviti uzduž cijele staze, a ne samo na cilj. Na taj se način mogu dobiti vremena prolaska kroz pojedine dijelove puta.

Vremena prolaska i odgovarajući prevaljeni putovi mogu se prikazati u tablici. No iz brojeva u tablici teško je išta vidjeti ili zaključiti. Mnogo je lakše uočiti tijek gibanja u grafu. Točke iz tablice valja ucrtati u graf *s-t*. U tom je grafu na apscisi (vodoravnoj osi) vrijeme, a na ordinati (okomitoj osi) put, kao na slici 1.2-3.



1.2-3
Upisivanje izmjerenih podataka u koordinatni sustav



1.2-4
Prikaz nejednolikog gibanja u grafu *s - t*

www.element.hr

Kad bismo ucrtali sve izmjerene podatke i spojili sve točke (povukli ravne crte između točaka), dobili bismo izlomljeni pravac, kao na slici 1.2-4. To je nejednoliko gibanje. Za jednoliko gibanje sve bi točke ležale točno na istom pravcu, a nagib pravca odgovarao bi srednjoj brzini koju smo gore izračunali. Taj pravac možemo i docrtati spajajući ishodište i zadnju točku. Svi dijelovi koji su strmiji od tog srednjeg pravca znače brzinu veću od prosječne. Svi dijelovi koji su manje strmi od srednjeg pravca znače brzinu manju od prosječne. Za svaki pojedini interval može se izračunati odgovarajuća prosječna brzina prema formuli

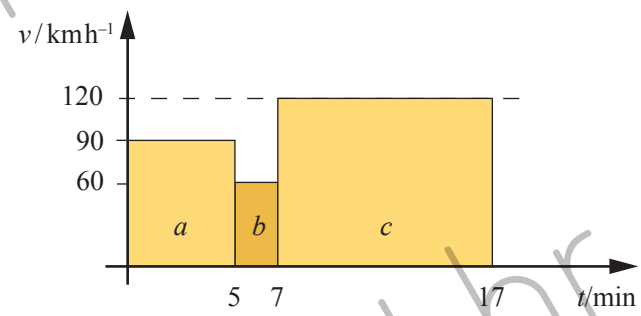
$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Primjer 4

Motorist vozi otvorenom cestom pet minuta brzinom od 90 km/h. Nakon toga dvije minute prolazi kroz naselje vozeći 60 km/h. Zadnjih deset minuta vozi autocestom, brzinom od 120 km/h. Odredite srednju brzinu i ukupno prijeđeni put.

Rješenje:

Gibanje motorista možemo prikazati **grafom *v*-*t***.



Put pri jednoliko pravocrtnom gibanju je $s = vt$. Za pojedine dionice puta vrijedi:

a) $s_a = vt = 90\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 5\ \text{min} = 90\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 5 \cdot \frac{1}{60}\ \text{h} = 7{,}5\ \text{km}$

b) $s_b = vt = 60\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 2\ \text{min} = 60\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 2 \cdot \frac{1}{60}\ \text{h} = 2\ \text{km}$

c) $s_c = vt = 120\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 10\ \text{min} = 120\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 10 \cdot \frac{1}{60}\ \text{h} = 20\ \text{km}.$

Stoga je ukupni put:

$$s = s_a + s_b + s_c = 7{,}5\ \text{km} + 2\ \text{km} + 20\ \text{km} = 29{,}5\ \text{km}.$$

Srednja brzina motorista je:

$$\bar{v} = \frac{\text{ukupni put}}{\text{ukupno vrijeme}} = \frac{s}{t} = \frac{29{,}5\ \text{km}}{17\ \text{min}} = \frac{29{,}5\ \text{km}}{17 \cdot \frac{1}{60}\ \text{h}} = \frac{29{,}5 \cdot 60\ \text{km}}{17\ \text{h}}$$

$$\bar{v} \approx 104\ \text{km/h}.$$

Uočite da dobiveni putovi odgovaraju površinama ispod grafa *v*-*t*.

www.element.hr

1.2.5. Mjerna jedinica za brzinu

U prethodnom smo poglavlju uveli dvije fizikalne veličine: duljinu i vrijeme. Obje su te veličine *osnovne*. Za razliku od njih, brzina je *izvedena* fizikalna veličina. To znači da nema neovisnu definiciju mjerne jedinice. Umjesto toga, mjernu jedinicu SI možemo izvesti dimenzijskom analizom. U tu svrhu koristimo uglate zagrade. Primjerice, t je znak fizikalne veličine (vremena), a $[t]$ odgovara znaku pripadajuće mjerne jedinice (sekundi). Zato možemo pisati $[t] = \mathrm{s}$. Na taj način iz definicijskog izraza za brzinu možemo dobiti

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Znak mjerne jedinice za brzinu $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ u tekstu pišemo s pomoću negativnog eksponenta ms^{-1} ili s pomoću kose crte m/s i čitamo "metar po sekundi". Ne postoji poseban naziv za ovu mjernu jedinicu.

Zanimljivost

U engleskom jeziku postoje dvije riječi za brzinu: *speed* u smislu iznosa brzine i *velocity* u smislu vektora brzine. U hrvatskom jeziku ne postoji ta razlika pa obje riječi prevodimo kao *brzina*.

SAŽETAK

Brzina je jednaka omjeru puta i vremena.

Srednja brzina jednaka je omjeru prijeđenog puta i proteklog vremena.

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Trenutačna brzina jednaka je omjeru prijeđenog puta i proteklog vremena kad proteklo vrijeme teži k nuli.

Jednoliko gibanje je gibanje stalnom brzinom.

Nejednoliko gibanje je gibanje promjenjivom brzinom.

www.element.hr