

- Miten auton pyörän kiinni jäänyt pultti voidaan irrottaa ilman ruosteenestoaineita?
- Miksi rautanaula tuntuu kuumalta, kun vedät sen vasaralla puusta irti?
- Miksi paalutyyny syttyy tuleen paalutuksessa?

1 Mekaniikka käsittelee liikeilmiöitä

Mekaniikka on fysiikan osa-alue, joka on hyvin keskeinen tekniikassa. Monet tekniikan laitteet ja sovellukset perustuvat nimenomaan mekaniikan hyväksikäyttöön.

Eri lähteistä hankittava energia on koneiden toiminnalle välttämätöntä. Aikaisemmin energiaa saatiin esimerkiksi suoraan vesivoimasta myllyjen rattaiden pyörittämiseen. Tulevaisuudessa koneiden ja laitteiden on kestävä entistä pidempään. Ne eivät myöskään saa aiheuttaa melu- tai värinähaittoja eivätkä olla vaarallisia. On joko keksittävä keinot riittävän energiantuotannon turvaamiseksi tai kehitettävä koneita, jotka toimivat aiempaa pienemmällä energiamäärällä ja paremmalla hyötysuhteella.

Nopeus on mitattava suure, joka kuvaa liikettä



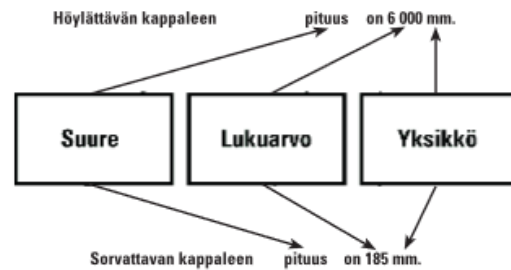
Höyläystä puusepän verstaassa

Puusepän työpajassa haluttiin selvittää, kuinka paljon puumateriaalia saadaan työpäivän aikana höylätyksi. Vastauksen saamiseksi työpajassa tutkittiin höylättävän kappaleen liikettä tasohöyläyksessä. Soiroon piirrettiin 75 cm:n välein merkki, jotta puun liikettä voitaisiin seurata höylässä.

Mitattiin, missä ajassa höylättävä kappale oli liikkunut 0,75 m. Matka ja aika kuvaavat höylättävän kappaleen liikettä. Ne ovat kappaleen mitattavia ominaisuuksia, joita nimitetään suureiksi.

Suure on kappaleen tai ilmiön mitattavissa oleva ominaisuus. Erilaisille mitattavissa oleville ominaisuuksille on sovittu kansainväliset perussuureet SI-mittayksikköjärjestelmässä.

Mittauksessa sorvattavan kappaleen pituus ilmoitetaan tavallisesti millimetreinä, koska se on tähän tarkoitukseen sopivin pituuden mittayksikkö. Mittauksessa selvitetään, kuinka monta kertaa yksikkö (mm) sisältyy mitattavaan kappaleeseen. On käytännöllistä valita yksikkö, jonka suuruus sopii mitattavaan kohteeseen hyvin. Esimerkiksi ikä on käytännöllistä ilmoittaa vuosina ja pitkät matkat kilometreinä. Sorvattavan kappaleen pituus on 185 mm. Millimetri on siis sisällynyt kappaleen pituuteen 185 kertaa. Tällöin luku 185 on lukuarvo ja millimetri on yksikkö.



Kansainvälistymisen myötä on luotu yhteinen maailmanlaajuinen mittayksikköjärjestelmä. Järjestelmäksi on hyväksytty kansainvälinen SI-mittayksikköjärjestelmä. Pituus on yksi seitsemästä perussuureesta. Muut perussuureet ovat massa, aika, lämpötila, sähkövirta, valovoima ja ainemäärä.

Kansainvälisen SI-järjestelmän perussuureita ja perusyksiköitä

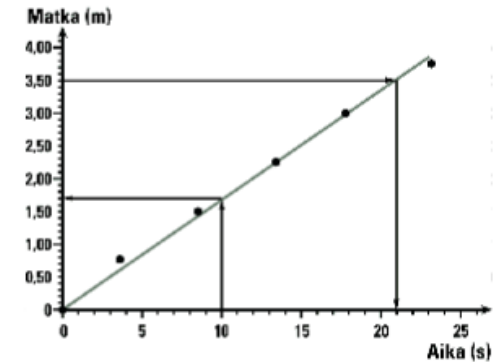
Perussuure	Perussuureen tunnus	Perusyksikkö	Perusyksikön tunnus	Selitys
Pituus	l, s	metri	m	kappaleen pituus, etäisyys
Massa	m	kilogramma	kg	esineen tai kappaleen massa
Aika	t	sekunti	s	tapahtuman kesto
Lämpötila	T	kelvin celsius	K °C	kappaleen lämpötila

Suomessa lämpötilan yksikkönä käytetään celsiusastetta (°C). Tieteessä ja tekniikassa taas kelvinien käyttö on yleisempää.

Nopeus on ajassa kuljettu matka

Kappaleen liikettä kuvaavat suureet ovat höyläyksessä matka ja aika. Ne voidaan esittää seuraavasti, jolloin kappaleen paikka kuvaa kuljettua matkaa.

Matka (m)	Aika (s)
0,00	0,00
0,75	3,64
1,50	8,49
2,25	13,33
3,25	17,92
3,50	21,00
3,75	23,17



Havaintopisteet ja niiden kautta kulkeva suora aika–matka-koordinaatistossa

Piirretään suora, joka kulkee mahdollisimman hyvin kaikkien havaintopisteiden kautta. Tältä suoralta voidaan lukea höylättävän soiron paikka millä hetkellä tahansa havaintopisteiden väliltäkin. Kuvaajasta esimerkiksi käy ilmi, että 10 sekunnissa soiro (kappale) on liikkunut 1,7 metriä. Vastaavasti huomataan, että soiro on edennyt 3,5 metriä 21 sekunnissa.

Höyläyksessä ei ole tärkeää tietää sekunnin tarkkuudella, miten pitkälle soiro liikkuu. Tärkeämpää saattaa olla tietää, miten nopeasti soiro keskimäärin liikkuu. Tätä kuvaa yleisesti suure keskinopeus. Nopeus saadaan lasketuksi, kun jaetaan kuljettu matka siihen käytetyllä ajalla.

Keskinopeuden yksikkö saadaan, kun jaetaan matkan yksikkö metri ajan yksiköllä sekunti. Keskinopeuden yksikkö on siten m/s (lue: metriä sekunnissa).

Keskinopeus

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

jossa s = kuljettu matka
 t = matkaan käytetty aika.

Esimerkki 1 Kuinka suuri oli soiron keskinopeus a) aikavälillä, jolla soiro liikkuu 1,5 m, b) aikavälillä, jolla soiro liikkuu 3,25 m?

Ratkaisu: a) Taulukon mukaan matkaan $s = 1,50$ m on kulunut $t = 8,49$ s. Soiron keskinopeus on

$$v_k = \frac{s}{t} = \frac{1,5 \text{ m}}{8,49 \text{ s}} = 0,1767 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Vastaavasti kun matkaan $s = 3,25$ m on kulunut aikaa $t = 17,92$ s, saadaan

$$v_k = \frac{s}{t} = \frac{3,25 \text{ m}}{17,92 \text{ s}} = 0,1814 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Vastaus: a) Ajassa 0–8,49 s soiron keskinopeus oli **0,18 m/s**.
b) Ajassa 0–17,92 s soiron keskinopeus oli **0,18 m/s**.

Esimerkki 2 Maantiematka Rovaniemeltä Jyväskylän kautta Helsinkiin on 840 km. Kuinka pitkä ajoaika on varattava, jos autoilija ajaa keskinopeudella 80 km/h?

Ratkaisu: Matka $s = 840$ km, ja keskinopeus $v_k = 80$ km/h. Ratkaistaan aika t keskinopeuden kaavasta

$$v_k = \frac{s}{t}, \text{ joten } t = \frac{s}{v_k}$$

$$t = \frac{840 \text{ km}}{80 \text{ km/h}} = 10,5 \text{ h} = 10 \text{ h} + 0,5 \cdot 60 \text{ min} = 10 \text{ h } 30 \text{ min.}$$

Vastaus: Ajoaikaa on varattava **10 h 30 min**.

Tulosten ilmoittaminen

Mittaustuloksen tarkkuuteen vaikuttavat käytettävä mitta ja sen tarkkuus.

Lukujen merkitsevyydestä on seuraavia sääntöjä:

Merkitseviä numeroita ovat kaikki nolasta poikkeavat numerot.

- Luvussa 3 200 on kaksi merkitsevää numeroa.
- Nolla on merkitsevä, jos se on numeroiden välissä.
- Nolla on merkitsevä numero desimaaliluvun lopussa (esim. 3,00).

- Nolla ei ole merkitsevä numero desimaaliluvun alussa (esim. 0,003).
- Jos nollat esiintyvät numeroiden lopussa, merkitsevyys riippuu tilanneyhteydestä. Esimerkiksi kierrosluvun 3 500 merkitsevien numeroiden määrä voi olla kaksi, kolme tai neljä sen mukaan, miten tarkkaa määrää halutaan ilmoittaa.

Pyöristyssäännöt koskevat lopputuloksen ilmoittamista:

- Pyöristyksessä viimeinen vastaukseen otettava numero ilmoitetaan sellaisenaan, jos sitä seuraava numero on 1, 2, 3 tai 4 (esim. $4,36485 \approx 4,36$).
- Jos ensimmäinen pois jätetty numero on 5 tai sitä suurempi, viimeistä vastaukseen jäävää numeroa korotetaan yhdellä (esim. $4,367845 \approx 4,37$).

Laskutoimituksen tulos ilmoitetaan seuraavasti:

- Desimaalilukujen yhteen- ja vähennyslaskussa tulos ilmoitetaan yhtä monen desimaalin tarkkuudella kuin on epätarkimmassa luvussa.
- $4,02 + 0,008 - 1,7 + 1,376 = 3,7$ (–1,7 on epätarkin).
- Desimaalilukujen kerto- ja jakolaskussa tulos ilmoitetaan yhtä monella merkitsevällä numerolla kuin on epätarkimmassa luvussa.
- $\frac{3\,450 \cdot 0,0030}{35,2} = 0,294034\dots \approx 0,29$ (0,0030 on epätarkin).

Esimerkki 3 a) Luvussa 0,00345 on kolme merkitsevää numeroa.

b) Luvussa 0,003450 on neljä merkitsevää numeroa.

c) Luvun 7,486 tarkkuus voidaan ilmoittaa esimerkiksi

- kolmella merkitsevällä numerolla: 7,49
- kahdella merkitsevällä numerolla: 7,5
- kymmenesosan tarkkuudella: 7,5.

Tasaisen liikkeen nopeus ei muutu

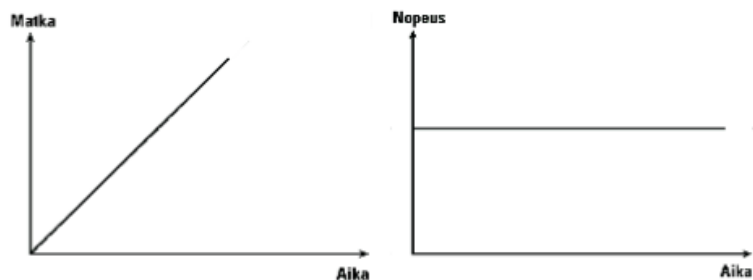
Esimerkissä 1 todettiin, että soiron keskinopeus on likimäärin sama eri aikaväleillä. Höylän syöttölaite vetää soiroa tasaisesti eteenpäin.

Kappaleen liike on tasaista, jos liikkuvan kappaleen keskinopeus on sama, laskettiinpa se millä aikavälillä tahansa.

Kappaleiden liikkeet ovat yleensä muuttuvia, ja vain joitakin liikkeitä voidaan pitää lähes tasaisina. Tällaisia ovat esimerkiksi vaakasuoralla alustalla liukuminen ja vieriminen,

kun kitka ja vierimisvastus ovat hyvin pieniä. Samoin vaakasuoralla tiellä auton ja polkupyörän liike saattaa olla lähes tasaista.

Tasaisen liikkeen kuvaaja on aika–matka-koordinaatistossa nouseva suora ja aika–nopeus-koordinaatistossa vaakasuora.



Arkikielessä puhutaan myös vauhdista. Tällöin ei oteta huomioon liikkeen suuntaa eikä paikkaa. Auton nopeusmittari osoittaa vauhdin. Vaikka autolla peruuetaan, nopeusmittari osoittaa silti positiivista lukemaa.

Esimerkki 4 Ilmaise nopeus a) 100 km/h yksikkönä m/s, b) nopeus 10 m/s yksikkönä km/h.

Ratkaisu: a) 1 km = 1 000 m 1 h = 60 min = 60 · 60 s = 3 600 s

$$1 \text{ m} = \frac{1 \text{ km}}{1\,000} \quad 1 \text{ s} = \frac{1 \text{ h}}{3\,600}$$

$$100 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 100 \cdot \frac{1\,000 \text{ m}}{3\,600 \text{ s}} = 27,77 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Vastaus: $100 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Ratkaisu: b) $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (tehdään yksikkömuunnokset) =

$$10 \cdot \frac{1 \text{ km}}{1\,000} \cdot \frac{3\,600 \text{ h}}{1 \text{ h}} = 10 \cdot \frac{3\,600 \text{ km}}{1\,000 \text{ h}} = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Vastaus: $10 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Nopeuksien muuntaminen



Nopeus metriä sekunnissa muunnetaan yksiköksi kilometriä tunnissa kertomalla se luvulla 3,6:

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h.}$$

Nopeus kilometriä tunnissa muunnetaan yksiköksi metriä sekunnissa jakamalla se luvulla 3,6:

$$1 \text{ km/h} = \frac{1 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}$$

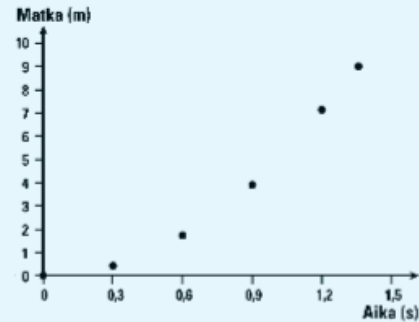
Eräitä keskinopeuksia	$v_k \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$	$v_k \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$
Kävelijä	1,4	5
Pikajuoksija	10	36
Ääni ilmassa	340	1 200
Valo tyhjiössä	$3 \cdot 10^8$	$1,08 \cdot 10^9$
Maan rataliike	$3 \cdot 10^4$	108 000
Heitetty kivi, gepardi, auto	30	100
F1-autojen virallinen nopeusennätys	110	397
Maailman nopein juna	150	540

Kiihtyvyys kuvaa nopeuden muutosta

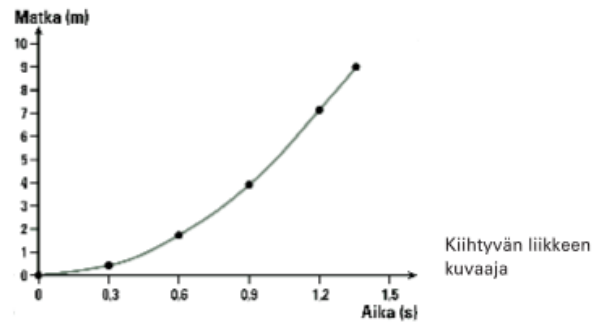
Tiilikivi pudotetaan 9 m korkealta telineeltä. Putoavan kappaleen liikettä kuvataan digitaalikameralla, joka ottaa 35 kuvaa sekunnissa. Kuvankäsittelyohjelmaa tutkimalla saadaan tiilen paikan ja putoamiseen käytetyn ajan mittaustulokset taulukkoon. Taulukon arvot merkitään koordinaatistoon, jossa vaak-akselina on aika ja pystyakselina matka.

Tiilikiven putoaminen

Aika (s)	Matka (m)
0,00	0,00
0,30	0,43
0,60	1,74
0,90	3,91
1,20	7,14
1,37	9,00



Huomataan, että matkaa esittävät havaintopisteet eivät ole suoralla. Piirretään käyrä, joka kulkee mahdollisimman tarkasti kaikkien havaintopisteiden kautta.

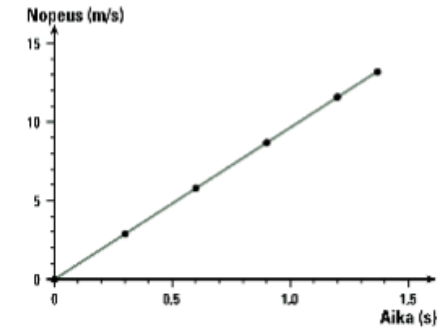


Koska matkan kuvaaja ei ole suora, tiilikiven liike ei ole tasaista.

Kun tiilikiven liikettä tutkitaan edellisen sivun taulukosta, havaitaan, että kappale etenee yhtä pitkänä aikavälinä (0,3 s) aina pidemmän matkan. Huomataan ensin, että 0,3 s:n kuluttua kappale on edennyt 0,43 m:n päähän, seuraavan 0,3 s:n kuluessa matkan $(1,74 - 0,43) \text{ m} = 1,31 \text{ m}$ ja seuraavan $(3,91 - 1,74) \text{ m} = 2,17 \text{ m}$. Kiven nopeus on siis kasvanut.

Tiilikiven paikan ja ajan arvoista voidaan laskea sen nopeus. Taulukon arvoilla voidaan piirtää tiilikiven nopeuden kuvaaja. Kuvaaja on nouseva suora.

Aika (s)	Nopeus (m/s)
0	0
0,30	2,90
0,60	5,80
0,90	8,70
1,20	11,60
1,37	13,20



Kiihtyvän liikkeen kuvaaja aika–nopeus-koordinaatistossa

Oleellista tiilikiven putoamisliikettä tutkittaessa on tietää, miten tiilikiven nopeus muuttuu keskimäärin. Tätä kuvaa suure keskikihtyvyys.

Keskikihtyvyyden yksikkö saadaan, kun jaetaan nopeuden muutoksen yksikkö (m/s) ajan yksiköllä (s). Keskikihtyvyyden yksikkö on siis m/s^2 (lue: metriä jaettuna sekunti potenssiin kaksi).

Kiihtyvyys ilmaisee, kuinka paljon nopeus muuttuu aikayksikössä.

Keskikihtyvyys

$$a_k = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

jossa v_2 = loppunopeus
 v_1 = alkunopeus
 t_2 = aika lopussa
 t_1 = aika alussa.



SI-järjestelmä

Jarmo Saarela

SI-järjestelmä

- Fysiikka tutkii luontoa fysikaalisten suureiden avulla
- Suure = mitattavissa oleva ominaisuus
- Suureita mitataan vertaamalla niitä sovittuun mittayksikköön
- SI-järjestelmässä (Système International d'Unités) eli kansainvälisessä yksikkö-järjestelmässä on määritelty riippumattomat perussuureet ja niiden perusyksiköt

SI-järjestelmä

- **Kansainvälinen yksikköjärjestelmä** (myös *kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä*) eli **SI-järjestelmä** ([ransk.](#) *Système international d'unités*) on maailman yleisin mittayksikköjärjestelmä. SI-järjestelmä sai nykyisen nimensä vuonna 1960, mutta keskeisimmiltä osiltaan se perustuu Ranskassa jo 1700-luvun lopulla käyttöön otettuun metrijärjestelmään. Jos nykyään puhutaan metrijärjestelmästä, silläkin käytännössä yleensä tarkoitetaan SI-järjestelmää.
- SI-järjestelmästä päätetään Kansainvälisen paino- ja mittatoimiston ([ransk.](#) *Bureau international des poids et mesures*, BIPM) järjestämässä konferensseissa (CGPM). Suomessa SI-järjestelmän toteutuksesta vastaa Mittatekniikan keskus.
- SI-järjestelmän mittayksiköitä voi käyttää maailmanlaajuisesti, ja useissa maissa lainsäädäntö määrää niiden käytön. Toisaalta joissain yhteyksissä saatetaan yhä suosia muita mittayksiköitä: esimerkiksi moottorien tehot ilmoitetaan usein hevosvoimina, ja jopa Suomen aluevesiraja on määritetty meripeninkulmina. Myös ilmailussa korkeus ilmaistaan jalkoina ja nopeus solmuina. Britanniassa puolestaan on lain mukaan liikennemerkeissä yhä käytettävä maileja ja jaardeja (tosin nämä perinteiset brittiläisen järjestelmän mittayksikötkin on nykyään määritelty suhteessa SI-yksiköihin).
- Yhdysvalloissa metrijärjestelmä laillistettiin jo vuonna 1866, mutta sitä ei ole otettu virallisesti käyttöön. SI-järjestelmä on silti alkanut saada jalansijaa luonnontieteiden ja lääketieteen sekä valtionhallinnon ja useiden teollisuusalojen piirissä. Yhdysvaltain lisäksi Liberia ja Myanmar (aiemmin Burma) ovat tietävästi ainoat maat, joissa SI-järjestelmää ei ole virallistettu.
- Mittaustekniikan kehittyessä SI-järjestelmän perusyksiköiden määritelmiä on erinäisiä kertoja muutettu. Nykyiset määritelmät vahvistettiin vuonna 2018, ja ne tulivat voimaan 20. toukokuuta 2019. Uusien määritelmien mukaiset perusyksiköt ovat kuitenkin käytännössä hyvin suurella tarkkuudella yhtä suuria kuin aikaisemmatkin.

Perussuureet

Suure	Suureen tunnus	Yksikkö	Yksikön tunnus
pituus	l, s	metri	m
massa	m	kilogramma	kg
aika	t	sekunti	s
sähkövirta	I	ampeeri	A
lämpötila	T	kelvin	K
ainemäärä	n	mooli	mol
valovoima	I	kandela	cd

- Suureen yksikkö merkitään hakasulkeiden avulla.
- Esim. "massan yksikkö on kilogramma" merkitään lyhyemmin $[m] = 1 \text{ kg}$

Johdannaissuureet

- Kaikkia muita suureita kutsutaan johdannaissuureiksi ja ne voidaan johtaa perussuureista
- Esim. nopeus = matka/aika eli $v = s/t$, joten nopeuden yksikkö on 1 m/s.
- Merkitään lyhyemmin:

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/si-mittayksikot-suomessa>

Mittaustarkkuus

- Mittaustarkkuuden tunteminen on tärkeää mm. teollisuudessa ja terveydenhuollossa
- Mittauksen tarkkuutta arvioidaan virherajojen avulla
- Virherajana (ns. absoluuttinen virhe) voidaan käyttää
 - ilmoitettua mittalaitteen tarkkuutta
 - vaihteluvälin (suurin – pienin mittaustulos) puolikasta
 - keskimääräistä poikkeamaa usean mittauksen keskiarvosta

- Mitattu suure x esitetään muodossa

$$x = x_m \pm \Delta x$$

- missä x_m on paras arvio mittaustulokselle (keskiarvo) ja Δx on absoluuttinen virhe.

Virhelajeja

- Satunnainen (tilastollinen) virhe
 - johtuu pienistä satunnaistekijöistä, jotka vaikuttavat jokaiseen mittaukseen
 - vaikutus voidaan minimoida laskemalla keskiarvo useasta mittauksesta
- Systemaattinen (toistuva) virhe
 - johtuu esim. viallisesta tai väärin kalibroidusta mittalaitteesta
- Karkea virhe
 - yksittäinen selkeästi virheellinen tulos
 - esim. mittalaitteen äkillinen toimintahäiriö tai mittaajan "nukahdus"

Brittiläinen yksikköjärjestelmä

- **Brittiläinen yksikköjärjestelmä** (engl. *British Imperial System*) on Isossa-Britanniassa ja monissa muissa kansainyhteisön maissa vanhastaan käytössä ollut mittayksikköjärjestelmä. Siihen perustuu suurelta osin myös muun muassa Yhdysvalloissa käytössä oleva yksikköjärjestelmä (*U.S. Customary System*), jossa kuitenkin nesteiden tilavuusyksiköt ovat samannimisiä, mutta hieman erisuuria kuin brittiläisessä järjestelmässä.

Brittiläiset pituusyksiköt

Nimi	Lyhenne	Pienempinä yksikköinä	SI-yksikköinä
mil eli thou	mil		0,0254 mm
linja , line		100 mil	2,54 mm
tuuma , inch	in, "	10 linjaa = 1 000 miliä	2,54 cm
jalka , foot	ft	12 tuumaa	30,48 cm
jaardi , yard	yd	3 jalkaa = 36 tuumaa	91,44 cm
chain	chn	22 jaardia = 66 jalkaa = 792 tuumaa	20,1168 m
furlong		10 chainia = 220 jaardia = 660 jalkaa = 7 920 tuumaa	201,168 m
maili , mile	mi	8 furlongia = 80 chainia = 1 760 jaardia = 5 280 jalkaa = 63 360 tuumaa	1 609,344 m

Yhdysvaltalaiset pituuden mittayksiköt

Nimi	englanniksi	Lyhenne	Pienempinä yksikköinä	SI-yksikköinä
tuuma,	inch	in, "	-	2,54 cm
jalka,	foot	ft	12 tuumaa	30,48 cm
jaardi	yard	yd	3 jalkaa = 36 tuumaa	91,44 cm
maili,	mile	mi	5280 jalkaa	1609,344 m