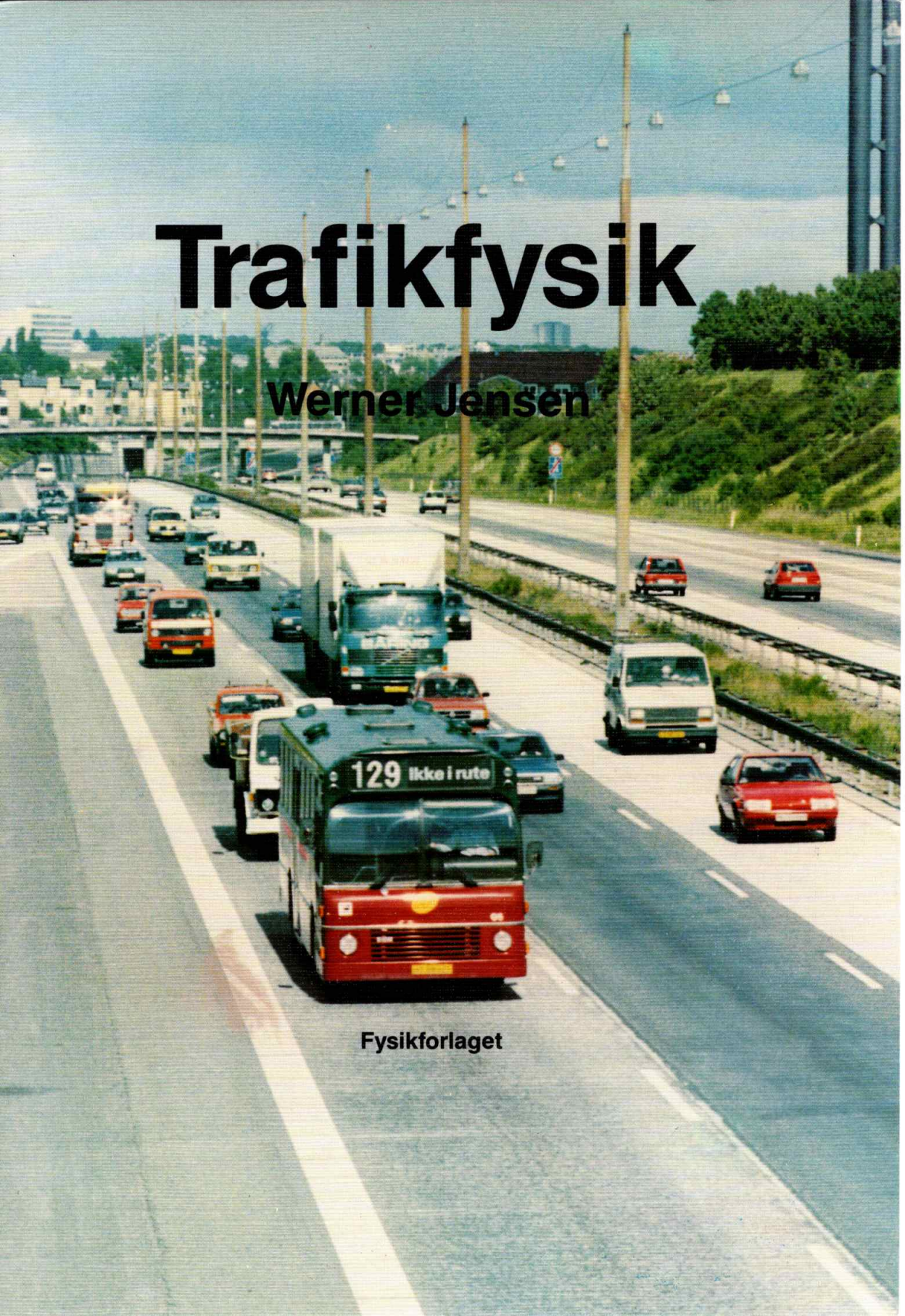


Trafikfysik

Werner Jensen

Fysikforlaget



FORTEGNELSE OVER FORMLER FRA DEN MEKANISKE FYSIK.

KINEMATIK.

Vejlængder:

Jævn bevægelse:

Konstant acceleration, $v_0 = 0$

Konstant acceleration, $v_0 \neq 0$

$$s = v \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Hastighed:

Konstant acceleration, $v_0 = 0$

$$v = a \cdot t \text{ og } v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$$

Konstant acceleration, $v_0 \neq 0$

$$v = v_0 + a \cdot t$$

$$\text{og } v = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s}$$

DYNAMIK.

Newtons 2. lov

Tyngdekraften

Tyngdekraft ved skråplan

Gnidningskraft

Bevægelsesmængde

Impulssætningen

$$F = m \cdot a$$

$$F_t = m \cdot g$$

$$F = m \cdot g \cdot \frac{h}{s}$$

$$F_g = \mu \cdot F_n$$

$$p = m \cdot v$$

$$F \cdot \Delta t = \Delta p$$

Bevarelse af bevægelsesmængde ved
stød mellem to legemer:

$$m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$$

ARBEJDE OG ENERGI.

Mekanisk arbejde

Kinetisk energi

Potentiel energi

1. hovedsætning

$$A = F \cdot s$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

$$\Delta E_i = Q + A$$

Tilført mekanisk energi

Mekanikkens energisætning for
det gnidningsfrie rum

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + A_g + E_{\text{pot}}$$

$$\Delta E_{\text{kin}} + \Delta E_{\text{pot}} = 0$$

Tilført eller afgivet varmemængde

$$Q = (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \cdot \Delta t$$

GASER.

Tilstandsligningen for en ideal gas:

Tryk - rumfang arbejde - ved konstant tryk:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$A_{\text{gas}} = p \cdot \Delta V$$

FJEDRE OG HARMONISK BEVÆGELSE:

Hookes lov

Udsvinget i en harmonisk svingning

$$F = -k \cdot x$$

$$x = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Svingningstiden

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Potentiel energi af fjeder

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

Trafikfysik

Werner Jensen

Fysikforlaget

TRAFIKFYSIK
af Werner Jensen

© Fysikforlaget
Slotsgade 2³
2200 København N

Tilrettelæggelse: Kai Gregersen
Trykt hos Budolfi Tryk, Aalborg
Mekanisk, fotografisk eller anden gengivelse
af denne bog eller dens enkelte dele er
ikke tilladt uden lovlig hjemmel.

ISBN 87-7792-001-5

1. udgave 1991.

Til brugeren af TRAFIKFYSIK.

Inden bogen tages i brug bedes følgende rettet:

Side 5, 2. sp.: Afsnittet, der begynder med »Inden vi laver forsøget....« til og med parentes, der slutter med »..... Newtons 3. lov, se senere). erstattes med (klæb ind):

Inden vi laver forsøget, vejer vi først klodsen, og finder tyngdekraften på den ved at gange massen m i kg med $9,82 \text{ N/kg}$. Tyngdekraften F_t får klodsen til at påvirke underlaget med en kraft, som fremkalder en reaktion fra underlaget, normalkraften F_n , der er lige så stor som F_t og modsat rettet (fig. 2).

Hvis ikke underlaget frembragte F_n , ville klodsen falde ned gennem underlaget.

Side 13, 2. sp. ln. 16 f.o.: »...ophæve gnidningskræfterne fuldstændigt...« rettes til »...ophæve kræfterne fuldstændigt...«

Side 16, 2. sp. ln. 1 f.o.:
»Varmeenergien $Q...$ « erstattes med
»Tilvæksten i indre energi $\Delta E_i...$ «

Side 16, 2. sp., ln. 2 f.o.: Q rettes til ΔE_i .

Side 16, 2. sp., ln. 8 f.o.: Q rettes til ΔE_i .

Side 25, 1. sp. ln. 5 f.o.: »...den samlede kraft $F...$ « rettes til »...den fremadrettede kraft $F...$ «

Side 32, 2. sp., fig. 51: De to sidste tegninger skal byttes om (sæt pile).

Side 35, 2. sp., ln. 12 f.o.: » $W_{\text{gas}} = p \Delta V$ « rettes til » $\Delta W_{\text{gas}} = p \Delta V$ «.

Side 41, 1. sp.: Afsnittet, der begynder med »I følge Newtons 3. lov...« til og med rammen erstattes med (klæb ind):

Ifølge Newtons 3. lov vil to genstande påvirke hinanden med lige store og modsat rettede kræfter. Dette udtrykkes også således:

Reaktion er lige så stor som og modsat rettet aktion

$$F_{\text{reaktion}} = -F_{\text{aktion}}$$

Side 41, 2. sp., ln. 6 f.n.: »... F_t som funktion $x...$ « rettes til »... F_t som funktion af $x...$ «

Side 52, 2. sp., ln. 10 f.o.: »...Newtons 98981. lov...« rettes til »...Newtons 1. lov...«

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Indledning.....	4
Forord	4
A Transport før og nu	
1. Bevægelse og gnidning	5
2. Rullen	6
3. Hjulet.....	7
4. Veje.....	8
5. Jernbanen	9
B Retlinjet Bevægelse	
1. Bevægelse, hastighed og fart ...	11
2. Newtons 1. lov	13
C Arbejde og energi	
1. Energi ved bevægelse	14
2. Arbejde	14
3. Effekt og hestekræfter	17
D Acceleration	
1. Acceleration.....	19
2. Matematisk behandling af hastighed og acceleration.....	20
3. Vejlængde for accelereret bevægelse	22
4. Fartskrивeren	24
E Dynamik	
1. Newtons 2. lov.....	25
2. Tyngdekraften.....	27
3. Op og ned ad bakke eller histo- rien om den potentielle energi..	27
F Automobilet	
1. Automobilets udvikling.....	30
2. Benzinmotoren.....	32
3. Eksplosion i cylinderen	33
4. Gassens arbejde og motorens effekt	35
G Gnidningskræfternes betydning for bevægelsen	
1. Luftmodstand og bevægelse	37
2. Bevægelse med luft- og rulle modstand.....	39

H Harmoniske svingninger	
1. Affjedring og harmonisk bevægelse	40
2. Fjedres egenskaber – Hookes lov.....	41
3. Energien i en harmonisk svingning	44
4. Dæmpede svingninger	45
I Trafikulykker	
1. Trafikulykker og de fysiske love	47
2. Stødet	48
3. Det elastiske stød	48
4. Det uelastiske stød	50
5. De fiktive kræfter dræber	52
Fremtidens trafikmidler	55
Større opgaver	57
Fysisk og teknisk ordliste på engelsk og tysk	62
Stikordsregister	63

FORORD

TRAFIKFYSIK er skrevet til fysikundervisningen på det matematiske gymnasiums obligatoriske niveau. Den er tænkt anvendt i slutningen af 1. g eller i 2. g, hvor eleverne har opnået nødvendige forudsætninger i varmelære og elektriske kredsløb.

»Trafikfysik« dækker kernestoffet i mekanik og harmoniske bevægelser. Derudover er det bogens intention at tilgodese dimensionerne: Den nære omverden, teknik, teknologi og samfund.

Det er jo en erfaringssag, at mekanik altid har været et emne, mange gymnasieelever har haft svært ved at tilegne sig, ikke mindst på grund af det abstraktionsniveau, som kræves for forståelsen af den idealiserede naturbeskrivelse, der er formaliseret i Newtons love. En idealiseret naturbeskrivelse, som står i kontrast til elevernes hverdagserfaringer, hvor alle former for gnidningskræfter dominerer de fænomener, vi iagttager.

Derfor tager »Trafikfysik« sit udgangspunkt i elevernes dagligdags erfaringer og fører dem gradvis frem til mekanikkens overordnede begreber.

Ved samtidig at hente langt de fleste eksempler fra en velkendt omverden skulle emnerne gøres mere nærværende for eleverne og være med til at nedbryde forestillingen om fysik som noget ophøjet og verdensfjernt.

For den, der ønsker en hurtigere gennem-

gang af stoffet kan kapitlet om benzinmotoren springes over, uden at helheden lider skade; ligesom kapitlerne G og I om luftmodstand og trafikulykker ligger uden for kernestoffet. Kapitlet med matematisk behandling af kinematikken kan iøvrigt udskydes til eleverne i matematikundervisningen har opnået kendskab til differentiation.

Bogen lægger op til et tværfagligt samarbejde med historie, samfundsfag og ikke mindst med kemi. Der er medtaget træk af teknikkens historie, ligesom miljøproblemer er inddraget. Bogen skulle således kunne danne grundlag for valget af flere tematiserede undervisningsforløb.

For at komme ud over de grænser, som elevernes kundskaber i matematik sætter, er der adskillige eksempler på anvendelse af computersimulering ved hjælp af DYMOS eller LOOP.

For gennemlæsning af manuskriptet og gode råd og vink takkes Eigil Dixen, Skanderborg Amtsgymnasium og Kirsten Brink Lund, Århus Akademi. Kai Gregersen, Hasseris Gymnasium, takkes for bistand med lay-out og teknisk tilrettelægning.

Endelig takkes Rødovre Politi for fremskaffelse af billedmateriale til afsnittet om trafikulykker.

Nørre Gymnasium, september 1991.

Werner Jensen.

INDLEDNING

Menneskets behov for at transportere ting fra et sted til et andet har eksisteret lige så længe som mennesket selv. I hele menneskets udviklingshistorie er der to skelsættende opdagelser, som afgørende har ændret livsbetingelserne. Den første er ilden, som løfter mennesket op over det dyriske stade og sætter det i stand til at forsvare sig mod de store rovdyr, tilberede sin føde og beskytte sig mod det barske klima.

Den anden opdagelse er hjulet, og denne opfindelse hører de første primitive agerbrugskulturer til. Med hjulet og vognen

bliver mennesket i stand til at transportere ikke blot ting, men også sig selv. I virkeligheden er vognkunsten ældre end ridekunsten; ægyptere og babylonere anvendte hestetrukne stridsvogne, længe før hesten var udviklet til ridedyr. De tamme heste var for små til at bære et menneske med udrustning. Nogle kulturer tog dog aldrig hjulet i praktisk anvendelse, f.eks. var brug af hjul ukendt i Amerika før Columbus, selvom der fandtes blomstrende kulturer både i Syd- og Mellemamerika.

TRANSPORT FØR OG NU

A. 1 BEVÆGELSE OG GNIDNING.

Enhver der har prøvet at slæbe en tung byrde over en strækning ved, at der skal kræfter til at få genstanden til at bevæge sig. Når en genstand skal bevæge sig over en ru flade, opstår der gnidningskræfter.

Er genstanden stor og tung bliver gnidningskræfterne let så store, at bevægelsen er umulig. Gnidningskræfterne kan ikke overvindes af et enkelt menneskes kræfter.

I de gamle oldtidskulturer måtte man anvende mange menneskers træk for at flytte store sten i forbindelse med opførelse af bygningsværker. Fig. 1 viser, hvordan man i det gamle Ægypten transporterede en kæmpestatue. Tegningen stammer fra et relief i et ægyptisk gravkammer.

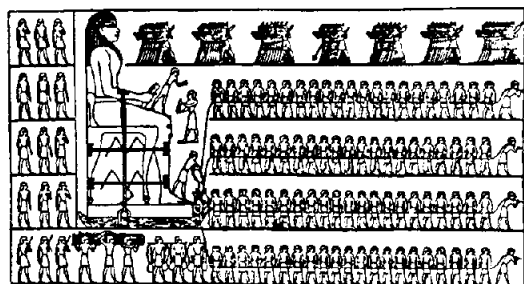


Fig. 1

Forsøg 1.

Vi kan undersøge, hvordan gnidningskraften afhænger af byrden, der skal flyttes. Vi lægger en træklods på en bordflade og fastgør en kraftmåler til en krog i klodsen. Kraftmåleren måler den kraft, der skal til for at holde klodsen i bevægelse og dermed overvinde gnidningskraften. Kraftmåleren er inddelt i N (newton).

Tyngdekraften på
1 kg er 9,82 N

Vi vil tegne kræfter som pile, hvis retning angiver kraftens retning, og hvor længden er et mål for kraftens størrelse målt i enheden N.

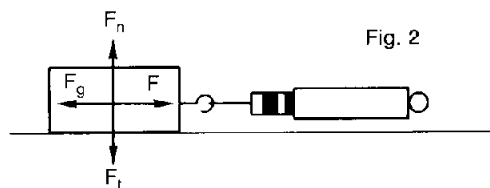


Fig. 2

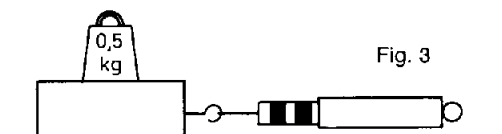


Fig. 3

Inden vi laver forsøget, vejer vi først klodsen, og finder tyngdekraften på den ved at gange massen m i kg med 9,82 N/kg. Tyngdekraften F_t på klodsen fremkalder en reaktion fra underlaget, normalkraften F_n , der er lige så stor som F_t , men modsatrettet (fig. 2).

Hvis underlaget ikke frembragte F_n , ville klodsen falde ned gennem underlaget.

(Denne regel om aktion og reaktion kaldes Newtons 3. lov, se senere)

Vi kan nu finde gnidningskraften F_g ved at måle den kraft, der skal til at holde klodsen i en jævn langsom bevægelse hen over bordet. Gnidningskraften er altid størst lige inden, klodsen begynder at bevæge sig, men det er gnidningskraften under bevægelse, vi er interesseret i at finde.

Derefter lægger vi et lod oven på klodsen, f. eks. 0,5 kg, og vi finder nu igen gnidningskraften F_g .

Ved hvert forsøg bestemmes massen og normalkraften F_n .

Efter flere lodder kan resultaterne indføres i et skema som vist nedenunder.

	Klods	+ 1. lod	+ 2. lod	+ 3. lod
m kg				
F_n N				
F_g N				

Hvis vi afbilder gnidningskraften F_g på en graf, hvor normalkraften F_n afsættes ud ad 1. aksens, og F_g ud ad 2. aksens, kommer punkterne stort set til at ligge på en ret linje, der går gennem begyndelsespunktet.

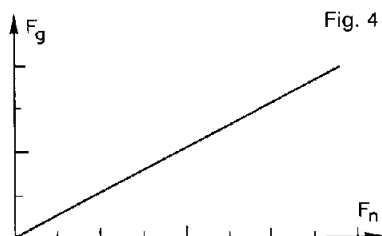


Fig. 4

D.v.s. at

$$(1) \quad F_g = \mu \cdot F_n$$

Hædningskoefficienten μ kalder vi gnidningskoefficienten eller friktionskoefficienten. Gentages forsøget ved at lade klodsen glide over f. eks. en bane af sandpapir, bliver μ meget større.

Det er væsentligt for at få en lille gnidningskoefficient, at overfladerne på de genstande, der gnider mod hinanden, er så glatte som muligt. Man kan også nedsætte friktionen ved at hælde væske på overfladerne; vand er godt, men olie er bedre.

Opgave 1: En stenblok på 650 kg skal trækkes over en flade. Gnidningskoefficienten er 0,32. Find den mindste trækraft, der skal til at holde klodsen i bevægelse.

Opgave 2: Kan gnidningskoefficienten blive større end 1? Nævn nogle evt. eksempler!

2. RULLEN.

Hvornår mennesker har fundet på at lægge runde afbarkede træstammer under den byrde, de skulle slæbe, ved vi ikke. Men der er ingen tvivl om, at sådanne ruller er blevet opdaget længe før hjulet.

Lad os prøve at lægge et par helt runde blyanter eller glaser under træklodsen fra gnidningsforsøget. Når vi måler den nødvendige trækraft, der skal til at holde klodsen i bevægelse, opdager vi, at den er langt mindre end ved gnidningsforsøget. Klodsen kan, hvis overfladerne er tilstrækkelig glatte, rulle videre af sig selv et lille stykke. Men ef-

ter at have rullet lidt løber den bageste rulle uden for klodsen. Når man bruger ruller, må man altså hele tiden samle den bageste rulle op og anbringe den foran klodsen.

Vejlængden s , som klodsen tilbagelægger for en omdrejning af rullen, kan vi beregne (fig. 5a) og (fig. 5b).

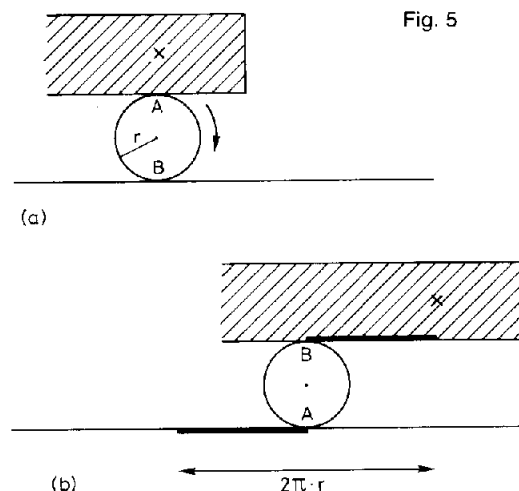


Fig. 5

Punktet A har bevæget sig ned til B's stilling i tiden mellem de to tegninger. Er rullens radius r , har rullen bragt klodsens underflade stykket $\pi \cdot r$ frem i forhold til rullen, mens rullen selv har flyttet sig stykket $\pi \cdot r$ frem i forhold til den oprindelige stilling. For en $1/2$ omdrejning af rullen har klodsen bevæget sig $2\pi \cdot r$. For en hel omdrejning bliver det

$$(2) \quad s = 4 \pi \cdot r$$

Det må bemærkes, at der ved brug af ruller ikke bliver tale om gnidningskræfter i almindelig forstand, idet overfladerne hverken på rullen, underlaget eller klodsens underflade gnider direkte mod hinanden. Men ujævnheder bevirker, at klods og rulle hele tiden må bevæge sig op og ned, hvilket kommer til at virke som en rullemodstand mod bevægelsen.

Forsøg 2.

Prøv selv med en træklods og et par runde blyanter at eksperimentere med rullen!

Opgave 3. En træstamme med radius $r=8$ cm lægges under en stenblok.

Hvor langt bevæger blokken sig, for hver gang træstammen har drejet en omgang?

Opgave 4. Under den forreste kant på en rektangulær kasse med længden 2,26 m lægges en rulle. Rullens diameter er 12 cm.

Hvor mange gange (helt antal) kan rullen gå rundt, inden den når bagkanten?

Hvor langt når kassen frem, mens rullen bevæger sig fra forkant til bagkant?

3. HJULET.

Vi kender ikke opfinderen af hjulet. De første hjul blev taget i anvendelse før skrivekunsten blev indført. Kendskabet til vogne går i vort land tilbage til bondestenalderen. Jættestuernes bygmestre har kendt til primitive vogne med skivehjul ca. 4000 f. Kr. Fra vores bronzealder kendes et enestående fund, en rituel vogn med egerhjul, der bærer en forgyldt bronzeskive, Solvognen fra Trundholm mose i Odsherred.

I jernalderen havde man rigt udsmykkede pragtvogne, hvis form og konstruktion stort set ikke ændrede sig før langt op i nyere tid.

Til højre (fig. 6) vises hjulets udvikling gennem tiderne. Det ældste er skivehjulet, dernæst følger egerhjulet med stive eger. Leonardo da Vinci, der på mange områder var langt forud for sin tid, konstruerede på tegnebrættet et hjul med fjedrende eger, en idé der først sidst i forrige århundrede blev taget op med konstruktionen af cykel- og automobilhjul.

Det næste store fremskridt i hjulets udvikling var Dunlops opfindelse af den luftfyldte gummiring, der blev en vigtig del af det afjedringssystem, som gjorde udviklingen af automobilen og andre transportmidler mulig.

Det geniale ved hjulet er, at gnidningen mellem de bevægelige dele henføres til hjulets nav og vognens aksel, mens hjulets periferi punkt for punkt berører vejbanen uden forskydning. Gnidningsmodstanden kan så

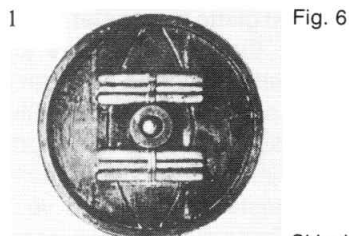
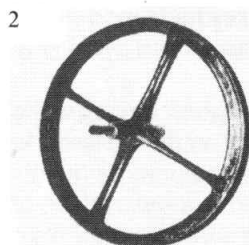
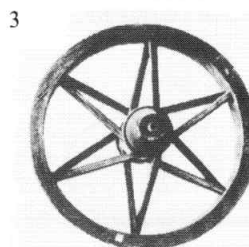


Fig. 6

Skivehjul.



Ægyptisk hjul med eger.



Leonardo da Vincis hjul.

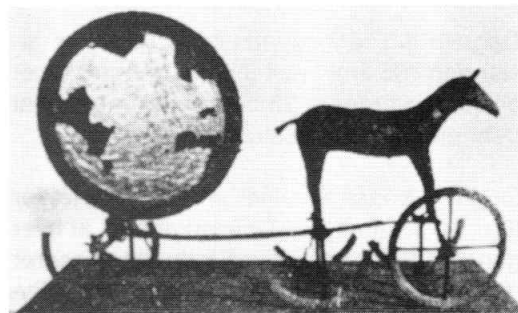


Fig. 7. Solvognen fra Trundholm mose.

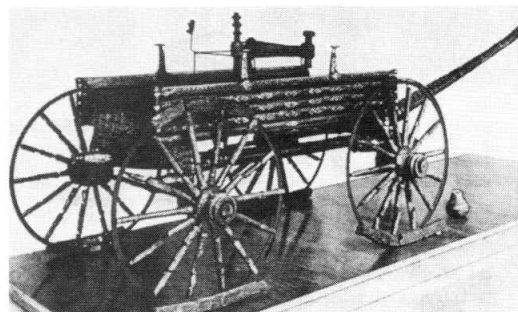


Fig. 8. Den ene Dejbjergvogn fra jernalderen.

ved smøring og valg af glatte materialer nedsættes mest muligt. Også anvendelse af kuglelejer kan nedsætte friktionen mod den roterende bevægelse til et minimum. Tilbage bliver dog stadig den modstand mod bevægelsen, som ujævnheder i vejbanen giver, og den rullemodstand, der opstår ved hjulets deformation. Dette mærker man især ved gummihjul, der trykkes flade mod vejbanen. Enhver ved, hvordan en flad cykel er at køre på.

Ser vi på, hvor langt vognen bevæger sig for en omdrejning af hjulet, er denne længde bestemt af, at hvert eneste punkt på hjulets periferi berører vejbanen. Da omkredsen af hjulet er givet ved $2\pi \cdot r$ bevæger vognen sig vejlængden $s = 2\pi \cdot r$ for hver omdrejning af hjulet.



Fig. 9 $s = 2\pi \cdot r$

Opgave 5. Fra København til Korsør er afstanden 105 km. Hvor mange gange skal et bilhjul med radius 28 cm dreje rundt for at gennemkøre denne strækning?

Opgave 6. Lise har fået en kilometertæller (fig. 10) på sin cykel. Den virker ved, at hver gang en bestemt eger på forhjulet passerer et lille tandhjul, rykker det en tand frem. Cykelhjulet har diameteren 27 inches (1 inch = 2,54 cm), og tandhjulet har 5 tænder.

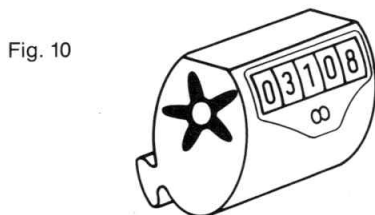


Fig. 10

a) Hvor mange omdrejninger skal tandhjulet foretage for at vise, at cyklen har kørt 1 km?

Ved en fejltagelse har cykelhandleren givet Lise en kilometertæller, der passer til et 26 inch hjul. Efter en cykelferie kommer Lise hjem og fortæller, at kilometertælleren viser 310 km.

b) Hvor langt har Lise kørt i virkeligheden?

4. VEJE.



Fig. 11. Via Appia.

Tidligt har mennesket fundet på at jævne og planere de strækninger, som hyppigt blev brugt til transport. Det fortælles, at perserne ca. 700 f. Kr. havde et udbygget vejnet, men om dets udseende ved vi i dag ikke meget. Vogntransport kræver plane vejbaner, for vogne er ikke meget værd i ujævnt terræn. Først i vort århundrede har man lært at konstruere terrængående køretøjer.

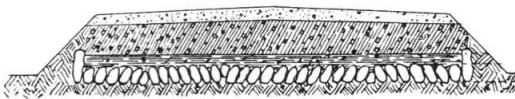


Fig. 12. Tværsnit af en romersk vej.

Romerne var store vejbyggere; strækninger af det romerske vejnet bruges den dag i dag, f. eks. Via Appia, der blev bygget 312 f. Kr., forbinder Rom med byen Capua. Romerne byggede bogstaveligt talt deres veje. I bunden store sten som fundament for flere lag mindre sten og skærver, der blev nedlagt i mørtel som et murværk. Vejene blev bygget oven på terrænet, så regnvandet kunne løbe af, og vejen holdes tør. Det har krævet enorme ressourcer, men slaverne var billig arbejdskraft.

I Danmark kender vi rester af plankeveje og stenveje fra f. eks. jernalderen, men vejstrækningerne var ganske korte og kun anlagt, hvor terrænet krævede det, f.eks. hvor man skulle passere et fugtigt område eller en skråning.

Den store jyske hærvej fra Viborg til Nordtyskland var en jordvej, d.v.s. en trampet sti, der fulgte den jyske højderyg. Herved undgik man at skulle krydse bredere vandløb og kom ikke ud for bratte stigninger og fald. Kun meget få steder finder man rester af egentlige vejbaner. Broer kendes ikke før langt op i nyere tid.



Fig. 13. Tværnsnit af en vej efter Mac Adams System.

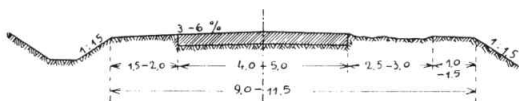


Fig. 14. Ældre dansk landevejsprofil.

Det moderne vejbyggeri begynder med den skotske ingeniør Mac Adams (1756-1836), der opfandt en billig og velfungerende måde at bygge veje på. Hvor vejen skal føres, graves det øverste jordlag af og erstattes af sten og skærver, som tromles ned. Derefter fyldes grus ovenpå, der ligeledes tromles fast. Vejens profil buer til siderne, og grøfter graves langs vejen for at holde den tør.

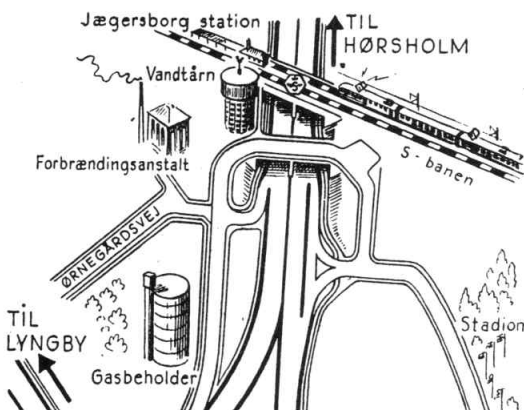


Fig. 15. Danmarks første motorvej, Hørsholmvejen.

I vort århundrede kommer så den asfalterede vej med et overflade- og slidlag af asfalt. Overfladen kan blive særdeles glat og plan, og så længe den er ny, beskyttes de underliggende lag mod, at nedtrængende vand skyller gruset væk fra skærverne.

Med den stigende automobilisme kom motorvejene, hvor alle vejkryds er ført ud af niveau af hensyn til trafiksikkerheden, og der er ingen modkørende trafikanter i samme vejbane.

5. JERNBANEN

At bygge en komfortabel vogn og gode jævne veje var en opgave, man ikke kunne klare for 200 år siden i industrialismens barndom. Men behovet for transport voksede stærkt. Det meste transport foregik som søtransport, men det lå jo lidt tungt, hvis der ingen naturlige vandveje var. Så måtte man som i England i sidste halvdel af 1700-tallet grave kanaler, og der blev også gravet mange. Men ikke mindst persontransport ad kanalerne kunne blive et hyggeligt, men dræbende kedsommeligt foretagende. Så red man eller kørte i hestevogn og blev grundigt gennemskrumplet. Rejsetiderne var meget lange, København - Odense 3 dagsrejser, 1 måned om at nå fra København til Rom.

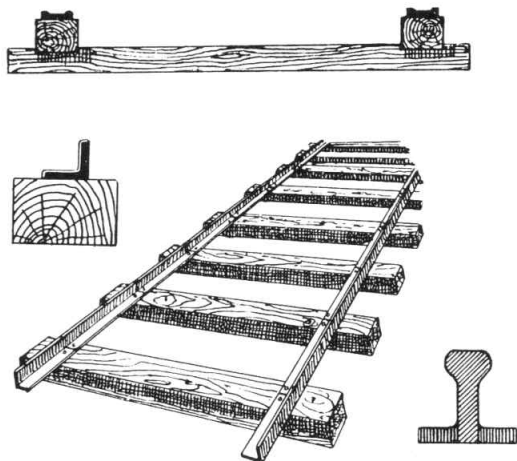


Fig. 16. Af Jærnsports ældste udvikling.

Folk, der arbejdede i miner og gruber, havde forlængst opdaget, at vogne, der kørte på træskinner, kørte meget lettere end på almindelig vej. England havde mange miner allerede i 1700-tallet. Men landet var træfattigt, og med den stigende produktion af jern, ja i perioder overproduktion, var det naturligt at bruge dette materiale til skinner.

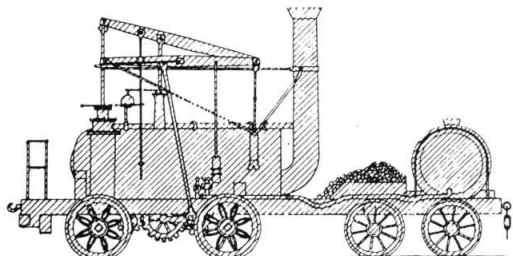


Fig. 17. Hedleys »Puffing Billy« 1813.

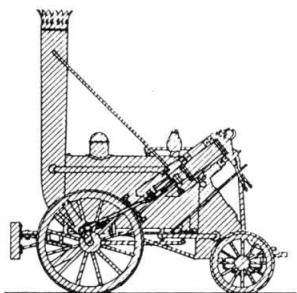


Fig. 18. Stephensons »Rockett«. 1829.

Med jernhjul på jernskinner fik man letløbende vogne, der var rimeligt komfortable at køre i. Men trækraften var stadig heste. Mange opfindere gik i gang med at sætte dampmaskinen på hjul, men for R.L. Stephenson lykkedes det at bygge et lokomotiv, 'The Rocket', der vandt konkurrencen for dampvogne ved Rainhill i 1829.

Han fik derfor leverancen af lokomotiver til Liverpool - Manchester jernbanen, den første større jernbane.

Stephensons lokomotiv indeholdt alle de vigtigste ideer i udviklingen af damplokomotivet; f.eks. cylindre på hver side af vognen, hvor stemplerne trækker direkte på hjulene. 1800-tallet blev jernbanens århundrede, som 1900-tallet er blevet automobilets.

Forslag: Elevforedrag om jernbanens barndom og industrialismens gennembrud.

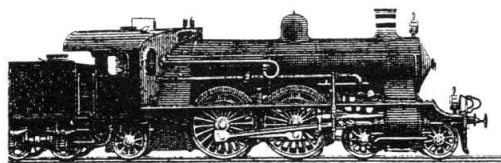


Fig. 19. Dansk eksprestogslokomotiv med 2 sæt høje drivhjul og 3 sæt løbehjul, beregnet på stor kørehastighed.

RET LINJET BEVÆGELSE

B.1 BEVÆGELSE, HASTIGHED OG FART.

Når vi skal undersøge et køretøjs bevægelse, er noget af det første, vi interesserer os for, hvor hurtigt bevægelsen foregår.

Ved en bevægelses fart vil vi forstå den tilbagelagte vejlængde pr. tidsenhed. Farten kan måles i km/h eller m/s.

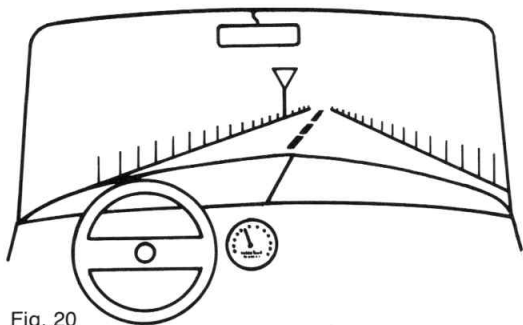


Fig. 20

Den simpleste form for bevægelse, vi kan iagttage, er en jævn bevægelse.

Ved en jævn bevægelse vil vi forstå en bevægelse, der sker langs en ret linje og med konstant fart. D.v.s. den bevægede genstand tilbagelægger lige lange vejstrækninger pr. sekund (s).

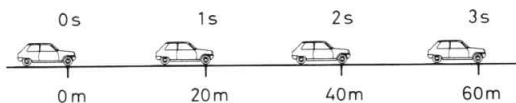


Fig. 21

En bil, der kører på en helt lige vej, og hvor speedometeret hele tiden viser det samme tal, udfører en jævn bevægelse. Farten måles på speedometeret og angives i km/h, d.v.s. kilometer pr. time. Speedometeret er gennem et roterende kabel sat i forbindelse med vognens baghjul. Jo hurtigere hjulene kører rundt, jo mere slår speedometerets viser ud.

Forsøg 3.

Jævn bevægelse.

Vi kan i fysiklaboratoriet bedst illustrere den jævne bevægelse på en luftpudebane.

Gennem en mængde små huller i banen strømmer luft ud. Til banens profil passer nogle glidere, der bæres på den luftpude, som den udstømmende luft danner. Herved ophæves det meste af gnidningskraften på gliderne, og derfor kan de blive ved med at bevæge sig, når de først er sat i bevægelse.

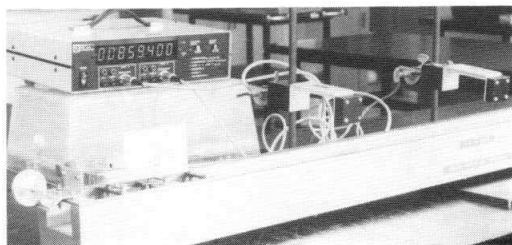


Fig. 22

Vejlængderne kan måles på den målestok, der sidder på luftpudebanen. Tidsintervallerne måles med en impulstæller. Gliderne forsynes med nogle papstykker. Når de bryder en lysstråle i en fotoenhed, der består af en lille projektør og en fototransistor, registreres det af tælleren.

Tælleren kan enten indstilles til at måle tiden mellem passagen af to fotoenheder eller den tid, fototransistoren er i mørke. I første forsøg sender vi en glider afsted nogle gange med ens start ved at stramme nogle elastikker lige meget. Den fotoenhed, der registrerer stoptidspunktet flyttes for hver måling nogle cm længere væk fra den første fotoenhed, så vejlængden s bliver længere. Tiden t mellem de to passager aflæses ved hvert eksperiment på tælleren.

Ud fra resultaterne kan tegnes en (t,s) -graf, hvor tiden afsættes ud ad 1. akse og vejlængden ud ad 2. akse.

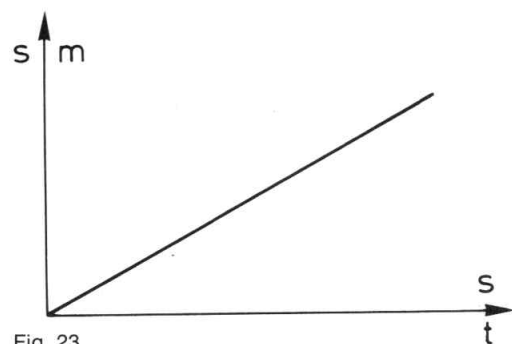


Fig. 23

For en jævn bevægelse som den, vi med god tilnærmelse kan skabe på luftpudebanen, bliver (t,s) -grafen en ret linje. Sammenhængen mellem vejlængden s og tiden t er $s = v \cdot t$, når $s = 0$ til tiden $t = 0$. Hældningskoefficienten v er bevægelsens fart. Når transportmidler bevæger sig, måler vi farten i km/h, mens vi i fysikken oftest angiver farten i m/s.

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 0,27778 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{0,001 \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Vi kan også lade tælleren måle den tid, papstykket er om at passere fotoenheden. Papstykket kan f. eks. være 10 cm langt. Tælleren giver tidsintervallet Δt (læses delta t) for passagen. Kalder vi det lille vejstykke Δs , kan vi beregne farten v efter

$$(3) \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

eks. $v = \frac{0,1 \text{ m}}{0,215 \text{ s}} = 0,465 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

I trafikken forekommer jævn bevægelse så at sige aldrig, idet bevægelserne hele tiden ændrer fart og retning. Men er det øjeblik, vi betragter en sådan sammensat bevægelse, ganske kort, vil bevægelsen inden for dette korte tidsrum ikke være til at skelne fra en jævn bevægelse.

Til at beskrive en tings bevægelse indfører man begrebet hastighed. Hastigheden har både størrelse og retning.

Tegningen (fig. 24) viser en bils hastighed i en kurve i et bestemt øjeblik. Hastigheden afbildes ved en pil, der viser bevægelsens retning, og hvis længde er et mål for farten. I almindeligt sprogbrug forveksles de to begreber fart og hastighed ofte og bruges i flæng.

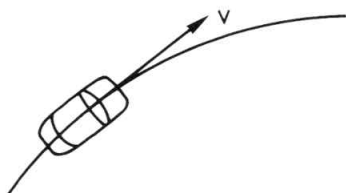


Fig. 24

Vi kan bestemme gennemsnitsfarten v_m for en bevægelse i et tidsinterval, når vi kender køretøjets afstand s fra et begyndelsespunkt og tidspunktet t i to forskellige punkter (t_1, s_1) og (t_2, s_2) .

$$(4) \quad v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

Eksempler på nogle hastigheder:

Normal gang	5 km/h
Løb (Olympiade 100 m)	10,4 m/s
Cykel (Alm. kørsel)	ca. 18 km/h
Racerbil	ca. 300 km/h
Lyden	340 m/s
Passagerjetfly	ca. 950 km/h
Lyset i lufttomt rum	300 000 km/s

Opgave 7: Omregn de ovennævnte hastigheder til m/s eller km/h

Opgave 8: En bil kører kl. 8.15 fra København til Kalundborg (110 km). Den ankommer kl. 10.25 samme dag.

Hvilken gennemsnitsfart har bilen kørt med?

Opgave 9: Karen vil undersøge, hvor hurtigt hun kører på cykel. Langs landevejen er der opsat hvide pæle med et mellemrum på 50 m. Hun starter et stopur, da hun er ud for den første hvide pæl og standser det igen, da hun er ud for den 6. hvide pæl. Stopuret viste 42,8 s.

Hvilken fart kørte hun med?

Opgave 10: Flemming skal møde i skole kl. 8.00. Han har 6 km til skole, og han ved, at han kan køre 22 km/h på sin cykel.

Hvornår skal han senest tage hjemmefra?

Forsøg 4.

Trafikmidlers hastighed.

Dit hold får udleveret: Håndstopur, et stykke kridt, et målebånd på ca. 20 m.

Du skal finde en metode til ved hjælp af disse ting at måle trafikanternes fart på en vej i nærheden af din skole.

NB! Din metode må ikke indebære, at nogen på holdet skal løbe frem og tilbage over vejen eller opholde sig på kørebanen. Når dit holds metode er blevet godkendt af læreren, må I gå i gang med det praktiske. I skal foretage målinger på de forskellige grupper af trafikanter, biler, motorcykler, cykler og knallerter. I den skriftlige behandling findes farten både i m/s og i km/h

Opgave 11. En køreplan.

Nedenstående viser uddrag af køreplanen for toget fra Holbæk til Nykøbing Sj.

Tiderne viser afgangstiderne for togene fra de enkelte stationer. Afstandene mellem stationerne er som følger:

Holbæk - 8 km - Ny Hagested - 3 km - Gislinge - 2 km - Sandby - 3 km Svinninge - 4 km - Hørve - 4 km - Fårøvejle - 4 km - Asnæs.

- a) Tegn en (t,s)-graf for kørslen mellem Holbæk og Asnæs, idet du f.eks. går ud fra tiderne for toget, der afgår fra Holbæk kl. 8.09, og antag, at toget ikke stopper.

NB! Togene holder normalt ikke ved Stenhus station.

Beregn ud fra oplysningerne farten mellem stationerne i m/s og km/h

- b) Det er selvfølgelig urealistisk at forestille sig, at togene kører med konstant fart og

ikke bruger tid til at holde ved stationerne. Brug morgentoget Holbæk 5.44, der kører non-stop til Svinninge, til at finde en rimelig gennemsnitsfart for togene (skinnebuss), idet du går ud fra, at toget ankommer til Svinninge 1 min. før afgang.

- c) Tegn derefter en ny (t,s)-graf med den oplysning, at togene holder ½ min. ved stationerne: Ny Hagested, Gislinge og Sandby, mens det holder 1 min. ved Svinninge, Hørve, Fårøvejle og Asnæs. Beregn igen de enkelte gennemsnitshastigheder og undersøg om de stemmer bedre med den, vi fandt i spørgsmål b.

Newtons 1. lov.

Hvis man kan ophæve gnidningskræfterne fuldstændigt på en genstand, vil den enten ligge stille eller udføre en jævn bevægelse. Denne lov kalder vi Newtons 1. lov. Isaac Newton (1642 - 1727) er grundlæggeren af den mekaniske fysik. Han formulerede sin første lov således:

Et legeme, der ikke er påvirket af kræfter eller er påvirket af kræfter, der ophæver hinanden, vil enten være i hvile eller udføre en jævn bevægelse.

København H 55			6.03	7.03	8.03	9.03	10.03	11.03	12.03	13.03	
tog nr	1	3	5	7	9			13	15	17	19
Holbæk	A 5.44	A 6.09	A 7.09	8.09	A 9.09		10.09	11.09	A 12.09	13.09	A 14.09
Stenhus			7.17	8.17	9.17		10.17	11.17	12.17	13.17	14.17
Ny Hagested		6.17	7.17	8.17	9.17		10.17	11.17	12.17	13.17	14.17
Gislinge		6.20	7.20	8.20	9.20		10.20	11.20	12.20	13.20	14.20
Sandby		6.22	7.22	8.22	9.22		10.22	11.22	12.22	13.22	14.22
Svinninge	6.01	6.27	7.27	8.27	9.27		10.27	11.27	12.27	13.27	14.27
Hørve	6.05	6.32	7.32	8.32	9.32		10.32	11.32	12.32	13.32	14.32
Fårøvejle	6.09	6.37	7.37	8.37	9.37		10.37	11.37	12.37	13.37	14.37
Asnæs	6.13	6.41	7.41	8.41	9.41		10.41	11.41	12.41	13.41	14.41
Grøvinge	6.19	6.43	7.45	8.45	9.45		10.45	11.45	12.45	13.45	14.45
Vig	6.25	6.52	7.52	8.52	9.52		10.52	11.52	12.52	13.52	14.52
Nørre Asmindrup	6.30	6.57	7.57	8.57	9.57		10.57	11.57	12.57	13.57	14.57
Sommerland Sj											
Højby Sj	6.34	7.02	8.02	9.02	10.02		11.02	12.02	13.02	14.02	15.02
Nylø	6.38	7.06	8.06	9.06	10.06		11.06	12.06	13.06	14.06	15.06
Nykøbing Sj	O A 6.40	A 7.09	A 8.09	9.09	A 10.09		11.09	12.09	A 13.09	14.09	A 15.09
København H 55			14.03	15.03	16.03	17.03	18.25	20.03	22.03	23.30	

ARBEJDE OG ENERGI

C. 1 ENERGI VED BEVÆGELSE

Selv om gnidningskræfterne ved et køretøjs bevægelse er reduceret meget i forhold til, hvad de ville være, hvis man prøvede at slæbe den samme masse hen over et ujævnt underlag, så vil enhver vogn mere eller mindre hurtigt gå i stå af sig selv, hvis den ikke får tilført energi.

Den tilførte energi skal overvinde gnidningskræfternes arbejde. I biler og motorcykler leverer motoren energien, jernbanetogget får sin energi fra lokomotivet, og ved trædecyklen er det menneskelegemet, der er energileverandøren.

Opgave 12. Sæt energiformerne, som er skitseret nedenunder, i logiske rækkefølger, så energiomsætningerne bliver naturlige.

C. 2 ARBEJDE.

Et system, der indeholder energi, kan bringes i stand til at udføre et arbejde. Ved et arbejde i fysisk forstand forstår man produktet af kraft og vej. Arbejdet regnes positivt, når kraft og vej har samme retning. Betegnes arbejdet med A, og vejen med s, har vi:

(5) $A = F \cdot s$

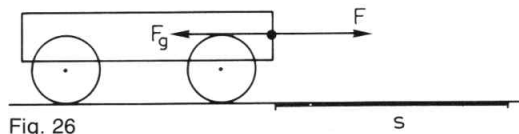


Fig. 26

For at holde en vogn i jævn bevægelse må man hele tiden påvirke den med en kraft, trækkræften. Den må være lige så stor som de gnidningskræfter F_g , der i modsat retning søger at standse vognen.

Går trækkræften skråt i forhold til vognen, er det kun trækkræftens projektion på vejen F_p , der udfører et arbejde. Arbejdet bliver i dette tilfælde $A = F_p \cdot s$, hvor s igen er vej-længden.

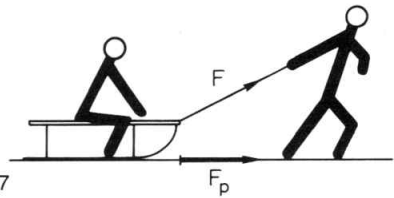


Fig. 27

Eks. For at trække en slæde kræves en trækraft i vejens retning på 90 N. Slæden trækkes over en vejstrækning på 50 m. Der udføres arbejdet:

$$A = 90 \text{ N} \cdot 50 \text{ m} = 4500 \text{ J}$$

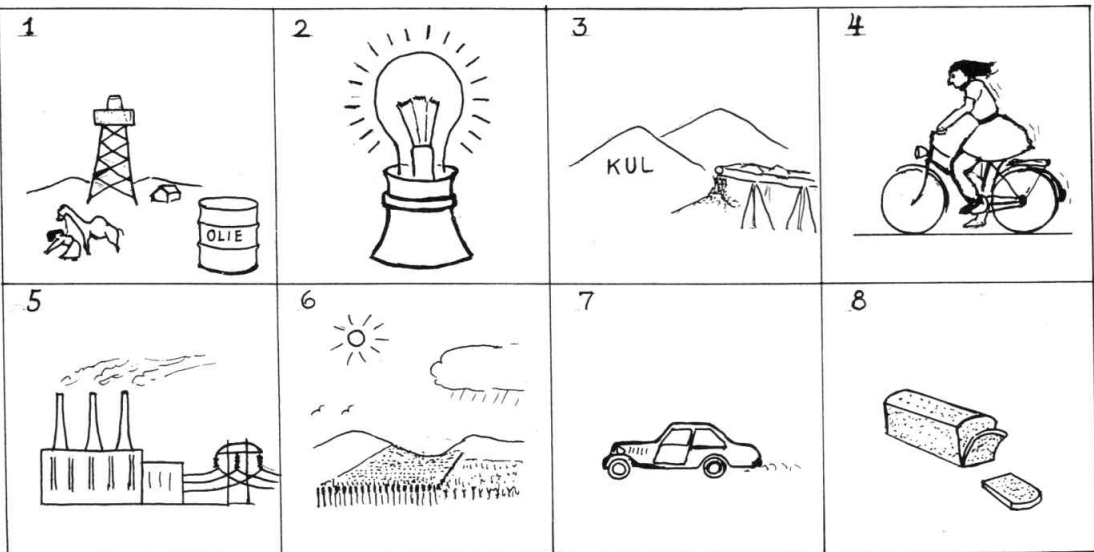


Fig. 25

Bemærk at enheden for arbejde såvel som for energi er J (joule).

$$1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$

Forsøg 5.

Find ved hjælp af en kraftmåler størrelsen af den vandrette kraft, der skal til at holde en rulleskøjtevoan i en langsom jævn bevægelse. Vej rulleskøjtevoanen og noter massen. Gentag forsøget med forskellige masser.

Prøv også med en langsomt kørende cykel. Massen af cykel og cyklist kan findes med en badevægt. Med badevægten kan man også finde den kraft, der kan få en bil i frigear til at rulle.

De gnidningskræfter, vi bestemte i forsøg 5, kalder vi rullemodstanden. Den afhænger af køretøjets masse på flg. måde:

$$(6) \quad F_{\text{rul}} = f \cdot m \cdot g$$

hvor $m \cdot g$ er tyngdekraften på køretøjet, og f er en konstant, der bestemmes af vejbane og hjul. For gummi-hjul på asfalt er $f = 0,015$, men for et jernbane-hjul på skinner varierer f mellem 0,001 og 0,002.

Undersøg om denne lov er i overensstemmelse med resultatet af forsøg 5.

Den maskine, der udfører arbejdet med at holde et køretøj i bevægelse over en vejstrækning, må have tilført energi. I et motor-køretøj får motoren sin energi fra den kemiske energi, der findes i benzinen.

Ved cykling er cyklisten den maskine, som omsætter kemisk energi i føden til muskel-energi. der er nødvendig for at udføre arbejdet med at holde cyklen i gang. Men holder cyklisten op med at træde i pedalerne og holder frihjul, går cyklen ikke i stå med det samme. Den kører et lille stykke, mens den stadig taber i fart, inden den går helt i stå. Det samme sker, når man kobler motoren fra i en bil. Det betyder, at køretøjet må indeholde energi, bare fordi det bevæger sig. Man kalder denne energiform for bevægelsesenergi eller kinetisk energi.

Man kan bestemme mængden af et legemes kinetiske energi ved formlen:

$$(7) \quad E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

hvor m er legemets masse, og v er dets fart.

Når gnidningskræfterne standser en vogn, udfører de et negativt arbejde. Det er negativt, fordi kraften går i modsat retning af bevægelsen. Herved opbruges vognens kinetiske energi. Energien forsvinder imidlertid ikke. Den omdannes til indre energi i vognen og dens omgivelser. Det meste af den indre energi viser sig som varmeenergi. En bils bremses kan opnå en så høj temperatur efter gentagne opbremsninger, at man kan brænde sig på dem.

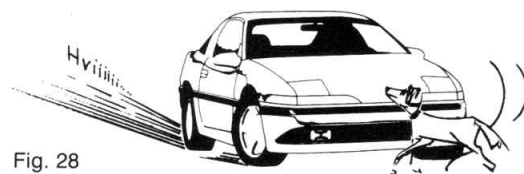


Fig. 28

Men også når bilen kører med konstant fart ud ad en lige, plan vej, vil gnidningskræfternes arbejde blive til varmeenergi. Varmeenergien spredes til omgivelserne, derfor kan det være svært at opdage nogen temperaturstigning. Dog vil man kunne mærke, at bildæk bliver varme efter en køretur.

Det vil her være naturligt at erindre om energisætningen, der siger, at energi ikke kan opstå eller forsvinde. Energi kan kun omdannes fra en form til en anden. Eller med andre ord: **ENERGIEN ER ALTID BEVARET**. Dette er en af de mest grundlæggende naturlove.

Ved opbremsning af et køretøj kan vi bruge energisætningen til at finde gnidningskræfternes arbejde.

Kalder vi de samlede gnidningskræfter F_g og vejstrækningen for opbremsningen s , gælder det, at summen af gnidningskræfternes arbejde er lig tabet i den kinetiske energi

$$(8) \quad F_g \cdot s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Gnidningskræfterne kan opdeles i luftmodstand og rullemodstand, der også omfatter hjulenes lejer. Luftmodstanden afhænger af køretøjets fart på en ikke helt simpel måde. Ved meget små hastigheder er luftmodstanden ligefrem proportional med farten, men ved større hastigheder bliver luftmodstanden ligefrem proportional med kvadratet på hastigheden, så formel (8) har kun begrænset gyldighed.

Forsøg 6.

Gnidningsarbejdes omdannelse til varmee-
nergi.

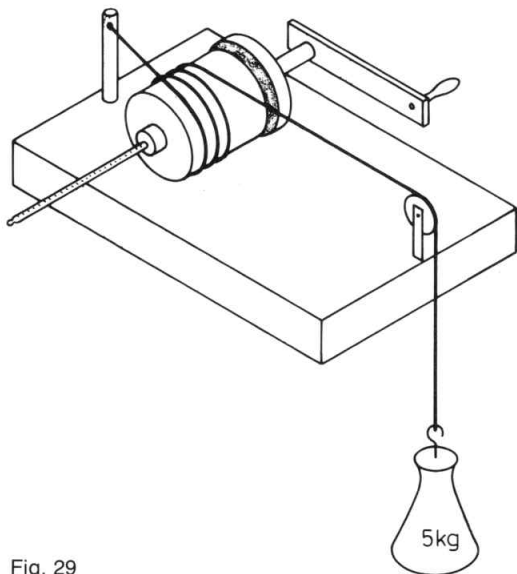


Fig. 29

Til forsøget bruges Schurholz apparat som består af en lille kobbercylinder, som kan fyldes med vand og lukkes med en prop. Gennem proppen indsættes et termometer.

Omkring kobbercylinderen vikles et metalbånd, hvori man hænger et 5 kg lod. Tyngdekraften på det bliver gnidningskraften F_g , når man med håndsving drejer kobbercylinderen rundt, mens metalbåndet gnider mod cylinderen.

Gnidningsarbejdet, A_g findes ved at måle cylinderens diameter d og beregne omkredsen O ved $O = d \cdot \pi$. Efter n omdrejninger er

$$A_g = n \cdot F_g \cdot d \cdot \pi$$

Varmeeenergien Q findes ved:

$$Q = (m_k \cdot c_k + m_v \cdot c_v) \cdot (t_2 - t_1)$$

hvor m_k er kobbercylinderens masse, m_v er vandets masse, c_k og c_v er den specifikke varmekapacitet (varmefylden) for henholdsvis kobber og vand, mens $t_2 - t_1$ er temperaturstigningen.

Q og A_g skulle gerne blive af samme størrelsesorden målt i J.

TERMODYNAMIKKENS 1. HOVEDSÆTNING.

$$(9) \quad \Delta E_i = Q + A$$

ΔE_i er tilvæksten i et systems indre energi, Q er den tilførte varmemængde og A er de ydre kræfters arbejde på systemet.

A og Q regnes negativt, hvis systemet overfører arbejde og varme til omgivelserne.

Opgave 13. Diskutér forsøg 6 i sammenhæng med termodynamikkens 1. hovedsætning. Hvad er E , Q og A ?

Opgave 14. En dreng trækker sin lillebror på en slæde. Den vandrette trækraft er 60 N.

Hvor stort et arbejde udfører drengen over en strækning på 1 km?

Opgave 15. En bil kører med den konstante fart 50 km/h. Bilen vejer 850 kg.

Hvor stor er bilens kinetiske energi?

Opgave 16. En jernbanevogn vejer 13 t. Den kommer rullende med farten 1,5 m/s på et rangerterræn.

a) Hvor stor kinetisk energi har vognen?

Jernbanevognen ville stoppe af sig selv over en strækning på 100 m på grund af en konstant gnidningsmodstand. En portør skal stoppe vognen på 20 m ved en konstant kraft mod bevægelsen.

c) Hvor stort et arbejde skal han udføre?

d) Hvilken kraft skal han påvirke vognen med?

C. 3 EFFEKT OG HESTEKRÆFTER.

For at få et transportmiddel til at bevæge sig over en bestemt vejstrækning kræves således en vis mængde energi, når bevægelsen foregår med en konstant fart.

Antager vi, at det arbejde A , som motoren udfører, er bestemt ved $F \cdot s$, hvor F er den kraft, der overvinder gnidningskræfterne, og s er vejlængden, kan vi bestemme motorens effekt.

Ved effekt forstår man udført arbejde pr. tidsenhed eller overført energi pr. tidsenhed:

$$(10) \quad P = \frac{A}{t} \quad \text{eller}$$

$$(11) \quad P = F \cdot \frac{s}{t}$$

men da (3)

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

er farten, har vi

$$(12) \quad P = F \cdot v.$$

Måler vi F i enheden N (Newton) og v i enheden m/s, vil effekten få enheden W (Watt).

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ N} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Eks. For at holde en motorcykel i bevægelse ved 60 km/h kræves 660 N.

Hvor stor en effekt udvikler motoren?

Vi omregner $v = 60 \text{ km/h}$ til enheden m/s:

$$v = \frac{60\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 16,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Effekten

$$P = 660 \text{ N} \cdot 16,67 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 11002,2 \text{ W} \approx 11 \text{ kW}$$

I mange år har det været almindeligt at angive motorers effekt i HK (hestekræfter). Det uheldige ved denne enhed for effekt er, at den hverken har noget med kraft eller heste

at gøre. Den skyldes James Watt (1736-1819), opfinderen af den første virkelig brugbare dampmaskine. Når han skulle overbevise køberne om sine maskiners fortræffelighed, fortalte han dem hvor mange heste, hans maskiner kunne erstatte. Som den beskedne mand han var, overvurderede han hestene og undervurderede sine maskiner. En hest kan kun tåle at yde omkring $\frac{1}{2}$ HK gennem længere tid. Mennesker kun omkring $\frac{1}{10}$ HK.

Vejer du 75 kg og springer op ad en 1 m høj trappe på 1 s, har du i det øjeblik udviklet effekten 1 HK.

$$1 \text{ HK} = 736 \text{ W}$$

I eksemplet udvikler motorcyklen:

$$\frac{11002,2 \text{ W}}{736 \frac{\text{W}}{\text{HK}}} = 14,9 \text{ HK}$$

Opgave 17. En cyklist udvikler på sin cykeltur konstant 0,1 HK. Vi forudsætter, at luftmodstand og gnidningsmodstand er konstant, og at cyklisten bevæger sig med den konstante fart 20 km/h.

Hvor stor er den samlede kraft mod bevægelsen?

Opgave 18. Når en bil kører med tophastighed yder motoren 82 HK. Den samlede modstand mod bevægelsen er 1400 N.

- Bestem bilens tophastighed.
- Hvad vil der ske med tophastigheden, hvis bilen får større modvind eller kører med tagbagagebærer?

Bilens masse er ialt 1050 kg, og dens bremses antages udelukkende at bestå af jern, der vejer 35 kg.

- Hvilken temperaturstigning må man forvente i bremserne, når bilen bremses op fra tophastigheden, og man ser bort fra andre gnidningskræfters arbejde?

Opgave 19. Til køreprøven skal man vide, at bremselængden højst må være 6 m, når bilen kører 30 km/h. Ved 60 km/h bliver bremselængden 24 m og ved 90 km/h 54 m.

Bræmselængden er den vejlængde, bilen kører, efter at bremsen aktiveres, og til bilen står stille.

- Prøv at give en fysisk forklaring på disse oplysninger og regler!
- Prøv også at finde forskriften til en funktion, der beregner bræmselængden l , når hastigheden er kendt!
- Beregn den lovlige bræmselængde ved 20 km/h og 80 km/h!

Standselængden er den samlede vejstrækning, et motorkøretøj bevæger sig, efter at en forhindring er opdaget, til bevægelsen er ophørt.

Den menneskelige reaktionstid er den tid, der går mellem opdagelsen af en forhindring, og til reaktionen begynder, f.eks. ved at bremsen trædes ned. I færdselen er reaktionstiden sjældent under 0,5 s alt efter trafikantens opmærksomhed, træning og alder. Ældre mennesker reagerer langsommere, men de kører som regel også langsommere.

- Beregn standselængden for en bil med farten 60 km/h, når reaktionstiden er 0,5 s, og bremserne lige opfylder lovens minimums krav!

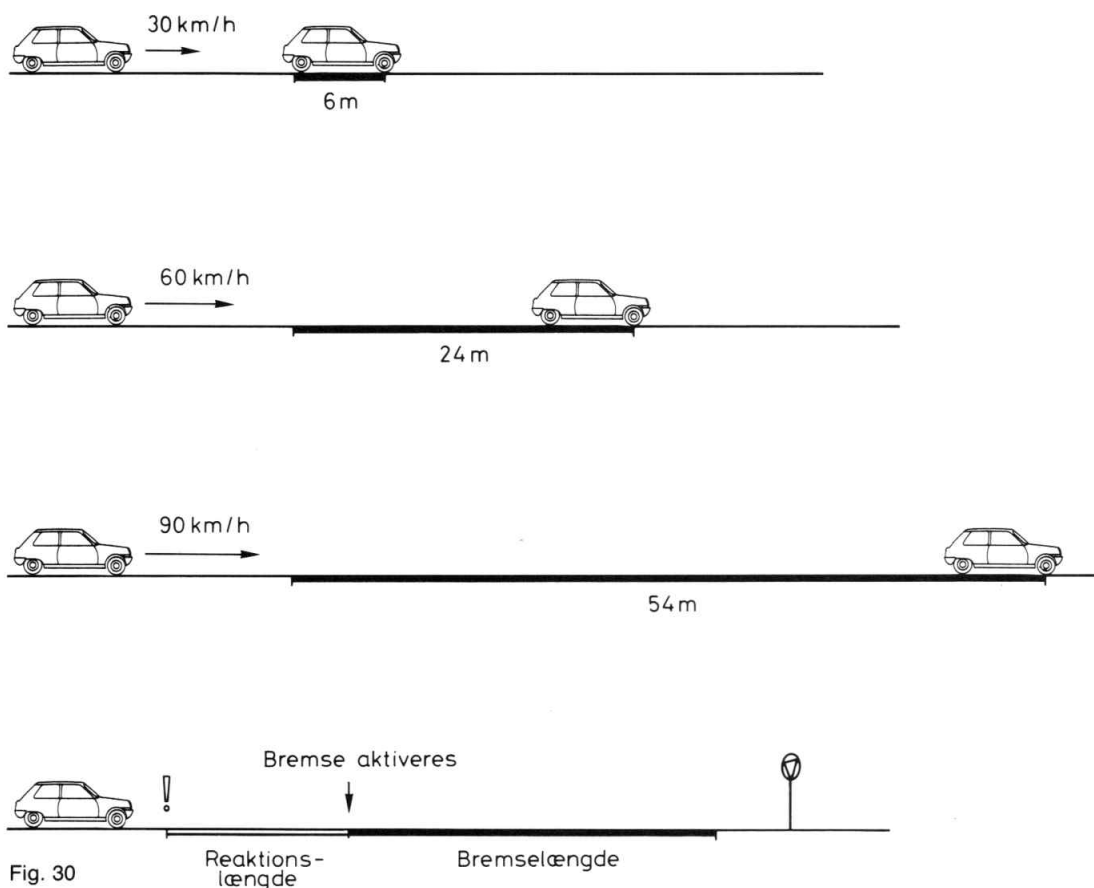


Fig. 30

ACCELERERET BEVÆGELSE

D. 1 ACCELERATION

I annoncer for biler kan man ofte læse, at bilen har accelerationen: 0 - 100 km/h på 9,5 sek. Vi ved alle, at acceleration har noget med forøgelsen af farten at gøre. Men vi vil nu prøve at beskrive begrebet acceleration i fysisk forstand.

De to billeder til højre viser førerpladsen i en bil på landevejen. På det første billede ser vi, at bilens speedometer viser 10 km/h.

Det næste billede er taget 10 s senere.

Nu viser speedometret 80 km/h. Farten er vokset fra 10 km/h til 80 km/h i løbet af 10 s.

I fysikken definerer vi acceleration som hastighedsændring pr. tidsenhed.

Det hele foregår langs en lige landevej, så hastighedsændringen bliver det samme som fartændringen. Vi finder accelerationen a således:

$$a = \frac{80 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 10 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{10 \text{ s}}$$

$$a = \frac{70 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{10 \text{ s}} = 7 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \text{s} = 1,944 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Generelt gælder for acceleration:

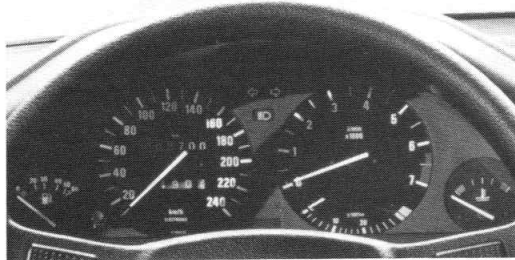
$$(13) \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Og SI-enheden for acceleration bliver m/s²

Opgave 20. Beregn accelerationen i m/s² for bilen, der er nævnt øverst i afsnittet.

Eksempler på accelerationer.

Hurtig sportsvogn.....	5,6 m/s ²
Frit fald ved jordoverfladen.	9,82 m/s ²
En kolibris vinge	3800 m/s ²
Et geværprojektil i løbet.....	350.000 m/s ²



Speedometer til tiden $t = 0$.

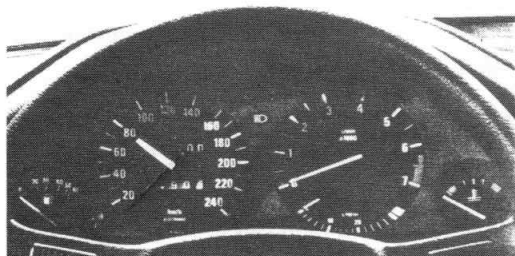


Fig. 31 Speedometer 10 s senere.

Forsøg 7.

Acceleration på luftpudebanen.

Når man skal bestemme en vogns acceleration, kan man f.eks. benytte en luftpudebane. Glideren på luftpudebanen, som vi for nemheds skyld kalder vognen, forsynes med et stykke 10 cm bredt karton. Vognen lader vi trække af et lille lod, der hænger i en snor. Snoren er hængt over en trisse og fastgjort til vognen. Vognen passerer under sin bevægelse de to fotoenheder F1 og F2, der er forbundet til tælleren T. Den indstilles til at måle de to passagetider og tiden for vognens bevægelse mellem F1 og F2. Vognen føres til enden af luftpudebanen og loddet slippes. Tælleren vil nu måle de tre tider t_1 og t_2 samt tiden mellem passagerne Δt .

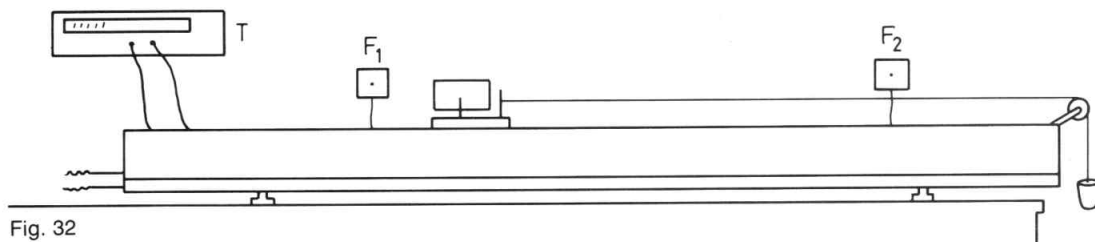


Fig. 32

Hastighederne v_1 og v_2 beregnes:

$$v_1 = \frac{0,1 \text{ m}}{t_1} \quad , \quad v_2 = \frac{0,1 \text{ m}}{t_2}$$

og accelerationen (13):

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

– En anden måde at bestemme accelerationen på ville være at benytte en rulleskøjte-vogn med en timer og timerstrimmel.

Forsøg 8.

Bestemmelse af tyngdeaccelerationen g ved faldforsøg.

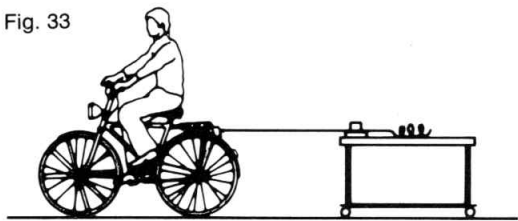
Forsøg 9.

En cyklists acceleration.

Vi flytter et bord med en fastgjort timer uden for fysiklaboratoriet på en lang gang eller en sti ved skolen og trækker et kabel fra en 6 V vekselstrømforsyning ud til timeren. En elev får bundet en timerstrimmel på ca. 20 m til sin cykel. Når strømmen sluttes, begynder cyklisten at accelerere.

Ud fra timerstrimlen kan accelerationen bestemmes.

Fig. 33



Opgave 21. Kartonstykket på en luftpude-vogn er 15 cm langt. Første passagetid ved den første fotoenhed er 0,235 s, mens den anden fotoenhed pas seres i løbet af 0,054 s. Tiden mellem de to passager er 0,78 s.

Bestem accelerationen!

D. 2 MATEMATISK BEHANDLING AF HASTIGHED OG ACCELERATION

Kalder man den vejlængde et køretøj tilbagelægger $s(t)$, vil vi herved forstå, at vejlængden er en funktion af tiden. Til højre vises en (t,s) -graf for en retlinjet bevægelse langs en lige, plan landevej. Bevægelsen er ikke jævn, da (t,s) -grafen ikke er en ret linje.

Vi kan bestemme gennemsnitshastigheden v_m mellem de to tidspunkter t_1 og t_2 ved at markere de to punkter (t_1, s_1) og (t_2, s_2) på grafen.

$$(4) \quad v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

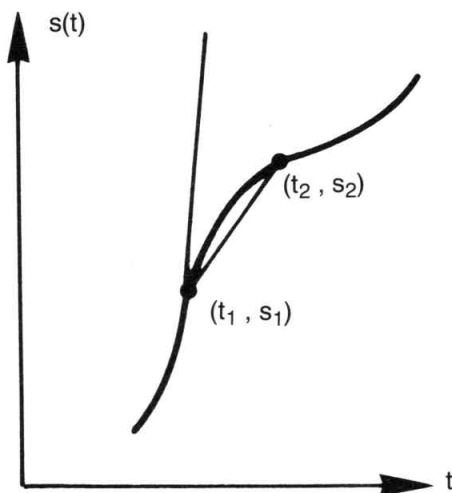


Fig. 34

Er vi imidlertid interesseret i at bestemme hastigheden i punktet s_1 til tiden t_1 , kan vi finde denne hastighed ved at lade tidsintervallet $t_2 - t_1$ blive mindre og mindre. Vi lader $t_2 \rightarrow t_1$, således at $\Delta t \rightarrow 0$.

Grænseværdien af brøken:

$$(14) \quad v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

er da differentialkvotienten af funktionen $s(t)$ i punktet (t_1, s_1) . Matematikerne skriver som regel $s'(t_1)$, mens vi i fysikken bruger sidstnævnte notationen.

Denne differentialkvotient er identisk med den øjeblikkelige hastighed (momentanhastigheden) $v(t_1)$ til tiden t_1 . Tegner man tangenten til (t,s) -grafen i punktet (t_1, s_1) , vil hældningskoefficienten af denne tangent være lig med $s'(t_1)$ og dermed hastigheden $v(t_1)$.

Opgave 22. Find gennemsnitshastigheden for en bil, der kl. 11.50.45 er 35 km fra København og kl. 11.51.15 er 35,8 km fra København!

Opgave 23. En genstand bevæger sig således, at vejfunktionen er givet ved

$$a) s(t) = 400 \text{ m} + 15 \text{ m/s} \cdot t$$

Find hastigheden til tiden $t = 20 \text{ s}$

$$b) s(t) = -50 \text{ m} + 20 \text{ m/s} \cdot t + 2,3 \text{ m/s}^2 \cdot t^2$$

Find hastigheden til $t = 20 \text{ s}$ og genstandens position s !

Når vi skal undersøge accelerationen for en bevægelse, har vi af definitionen på acceleration, at

$$(13) \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

og specielt for bevægelse med konstant acceleration gælder, at hastigheden v til tiden t er givet ved

$$(15) \quad v = a \cdot t$$

– hvis $v = 0$ til $t = 0$.

Vi kan for denne type bevægelse tegne (t,v) -grafen, (fig. 35a). Den bliver naturligvis en ret linje. Er genstanden allerede i bevægelse med hastigheden v_0 , når accelerationen begynder, bliver momentanhastigheden

$$(16) \quad v = v_0 + a \cdot t.$$

Grafen (fig. 35b) illustrerer denne situation.

Generelt for en bevægelse med varierende acceleration kan vi finde accelerationen ved differentiation af hastighedsfunktionen $v(t)$.

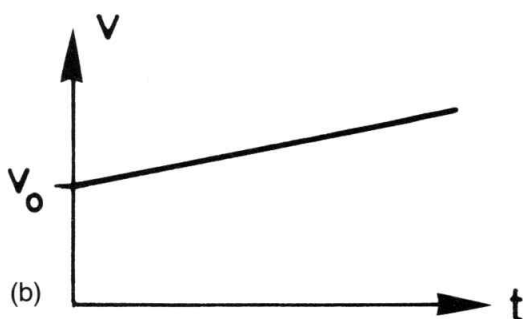
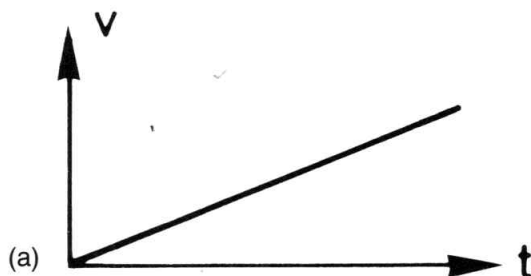


Fig. 35

Lad grafen fig. 36 være en (t,v) -graf for en tilfældig bevægelse. Vi kan bestemme gennemsnitsaccelerationen a_m i tidsintervallet mellem t_1 og t_2

$$(17) \quad a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

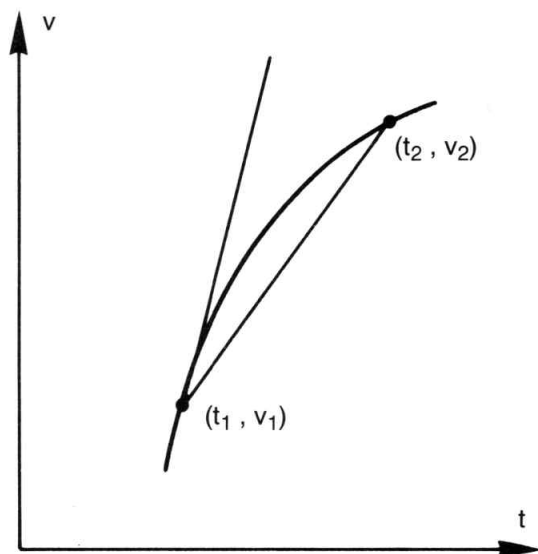


Fig. 36

Lader vi nu $t_2 \rightarrow t_1$ så $\Delta t \rightarrow 0$, vil brøken gå mod en grænseværdi. Denne grænseværdi er differentialkvotienten af $v(t)$ til tiden t_1 , $v'(t_1)$, og dermed er den også accelerationen til samme tidspunkt. Tegner vi (t,v) -grafens tangent i punktet (t_1, v_1) , vil dens hældningskoefficient være lig med $v'(t_1)$.

Vi har således

$$(18) \quad a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = v'(t_1)$$

Men da v var en afledet funktion af $s(t)$, må det også gælde:

$$(19) \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = s''(t)$$

Ved at differentiere vejfunktionen to gange med hensyn til tiden, kan vi bestemme bevægelsens acceleration.

Bliver accelerationen nul betyder det, at

bevægelsen er jævn, og hastigheden dermed konstant.

Endelig må det bemærkes, at accelerationen ligesom hastigheden har størrelse og retning, og at den naturligvis også kan være negativ f.eks. ved opbremsning.

Opgave 24.

Bestem accelerationen til tiden t i de tilfælde, som er nævnt i opgave 23.

Opgave 25.

En cyklist bevæger sig således, at afstanden fra begyndelsespunktet s er givet ved funktionen

$$s(t) = 12 \text{ m} + 6,25 \text{ m/s} \cdot t - 0,5 \text{ m/s}^3 \cdot t^3.$$

Tegn en (t,s) -graf og en (t,v) -graf samt en (a,t) -graf!

Bestem den største og mindste værdi af accelerationen i intervallet fra $t = 0 \text{ s}$ til $t = 20 \text{ s}$!

D. 3 VEJLÆNGDE FOR ACCELERERET BEVÆGELSE

Når vi skal bestemme den tilbagelagte vej for en bevægelse med konstant acceleration, kan vi bruge et program til en datamat, f.eks. DYMOS eller LOOP. Her vises, hvordan DYMOS kan behandle vores problem. Vi antager en bevægelse med accelerationen 2 m/s^2 . Som vi ser, er skærm billedet delt i to halvdele, en modeldel og en værdidel. I modeldelen anføres de operationer, vi vil have udført, og i værdidelen indføres de talværdier, parametrene skal have.

Vi stepper med det lille tidsinterval dt . I første linje af algoritmen akkumuleres tiden. I anden linje beregnes hastigheden v efter tiden dt , og i tredje linje beregnes den nye vej-længde.

Når modellen og værdierne er fastlagt, kan vi få en udskrift af de beregnede resultater og en (t,s) -graf for bevægelsen. På næste side vises en lille del af resultaterne og grafen for bevægelsen i de 3 første sekunder.

Af grafen kan vi se, at $s = 1 \text{ m}$ for $t = 1 \text{ s}$, $s = 4 \text{ m}$ for $t = 2 \text{ s}$ og $s = 9 \text{ m}$ for $t = 3 \text{ s}$. Dette giver os den idé, at $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

Opgave 26.

Undersøg tabellen over resultater nærmere. Vi ser, at modellen ikke passer helt til formelen. Prøv at gennemføre beregningen igen med en mindre værdi for dt eller prøv at indføre middelværdien af hastigheden i intervallerne, så $s = s + v \cdot dt + 0,5 \cdot a \cdot dt^2$.

Man kan også bestemme vejlængden ved at beregne arealerne under (t,v) -graferne. Den første (t,v) -graf svarer til en bevægelse med konstant acceleration med $v = 0$ til $t = 0$. For den anden (t,v) -graf er begyndelseshastigheden v_0 .

De beregnede vejlængder ud fra arealerne bliver

$$(20) \quad s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \text{ og}$$

$$(21) \quad s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

MODEL	VARDE
//Bevægelse med konstant acceleration	a:=2 // m/s^2
v:=v+a*dt	v:=0 // m/s
s:=s+v*dt	t:=0 // s
t:=t+dt	dt:=0.001 // s

TABEL			GRAF
t	s	v	*100 s
0.000	0.000	0.000	
0.001	2.000E-06	0.002	
0.002	6.000E-06	0.004	
0.003	1.200E-05	0.006	
0.004	2.000E-05	0.008	
0.005	3.000E-05	0.010	
0.006	4.200E-05	0.012	
0.007	5.600E-05	0.014	
0.008	7.200E-05	0.016	
0.009	9.000E-05	0.018	
0.010	1.100E-04	0.020	
0.011	1.320E-04	0.022	
0.012	1.560E-04	0.024	
0.013	1.820E-04	0.026	
0.014	2.100E-04	0.028	
0.015	2.400E-04	0.030	
.	.	.	
.	.	.	
.	.	.	
0.987	8.925	0.974	
0.988	8.931	0.976	
0.989	8.937	0.978	
0.990	8.943	0.980	
0.991	8.949	0.982	
0.992	8.955	0.984	
0.993	8.961	0.986	
0.994	8.967	0.988	
0.995	8.973	0.990	
0.996	8.979	0.992	
0.997	8.985	0.994	
0.998	8.991	0.996	
0.999	8.997	0.998	
1.000	9.003	1.000	
1.001	9.009	1.002	

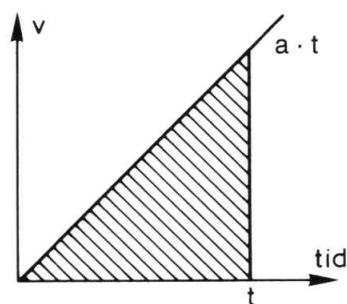


Fig. 37

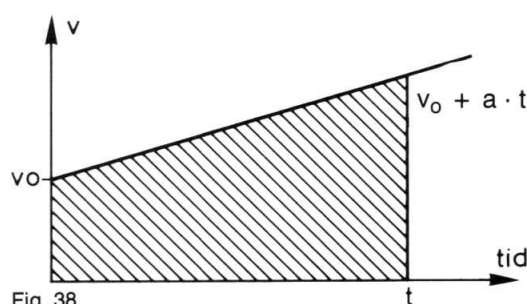


Fig. 38

Vi kan sammenfatte love og formler for retlinjet bevægelse i flg. skema:

	Acceleration	Hastighed	Vejlængde
Jævn bevægelse	0	$v = \text{konstant}$	$s = v \cdot t$
Konstant acceleration Beg.hastighed = 0	$a = \text{konstant}$	$v = a \cdot t$	$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$
Konstant acceleration Beg. hastighed $\approx v_0$	$a = \text{konstant}$	$v = v_0 + a \cdot t$	$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

Det er jo ikke altid, vi kender den tid, en bevægelse har vareet. Men det er muligt at regne sig frem til de manglende størrelser al ligevel.

For bevægelsen med konstant acceleration, hvor begyndelseshastigheden er nul, kan vi af

$$v = a \cdot t \quad \text{finde} \quad t = \frac{v}{a}$$

som indsættes i

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \Leftrightarrow$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \left(\frac{v}{a}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{a}$$

eller

$$v^2 = 2 \cdot a \cdot s \Leftrightarrow$$

$$(22) \quad v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$$

I det andet tilfælde, hvor begyndelseshastigheden er forskellig fra nul, har vi

$$v = v_0 + a \cdot t.$$

Vi løser igen denne ligning med hensyn til t og finder:

$$t = \frac{v - v_0}{a}$$

som indsættes i

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \Leftrightarrow$$

$$s = v_0 \cdot \frac{v - v_0}{a} + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{(v - v_0)^2}{a^2} \Leftrightarrow$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot \frac{(v^2 - v_0^2)}{a}$$

eller

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s \Leftrightarrow$$

$$(23) \quad v = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s}$$

Opgave 27. En cyklist accelererer konstant med $1,8 \text{ m/s}^2$ over en 40 m lang strækning.

Hvilken hastighed opnår han?

Opgave 28. Bilist A holder i sin røde sportsvogn, der kan accelerere med $4,5 \text{ m/s}^2$, ved rødt lys. Lige idet lyset skifter til grønt, overhales han af bilist B, der kører i en beskeden husholdningsbil, der kun kan accelerere $1,9 \text{ m/s}^2$. A og B starter deres acceleration samtidigt, men B har farten 50 km/h til at begynde med.

- Hvor langt har de kørt, inden A indhenter B?
- Vil A kunne indhente B, når ingen af dem må overskride hastighedsbegrænsningen på 80 km/h ? (Begrund svaret!)

D. 4 FARTSKRIVEREN.

En ganske særlig (t,v)-graf har vi i diagrammet fra en fartskriver. Fartskriveren er lovbeholdet i alle lastbiler og busser, der anvendes til langturskørsel.

I fartskriveren indsættes en skive, som drejes af et urværk. En skrivestift markerer den øjeblikkelige fart (speedometrets visning). Køres konstant med 80 km/h tegnes en cirkelbue med radien svarende til 80 km/h på diagramskiven.

En anden skrivestift markerer, om chaufføren holder pause eller sover.

En tredje skrivestift tæller kørte km, et udsving for hver 10 km .

Fartskriveren er primært indført for at kontrollere, om bus- og lastvognschauffører overholder køre- og hviletidsbestemmelserne, men også kontrol af hastighedsgrænserne er mulig.

Opgave 29. Undersøg fig. 39 nærmere!

- Hvad er den største hastighed chaufføren har kørt med på sin tur fra Odense til Frederikshavn?
- Hvor længe har han været undervejs, og hvor lang tid har bilen været i bevægelse?

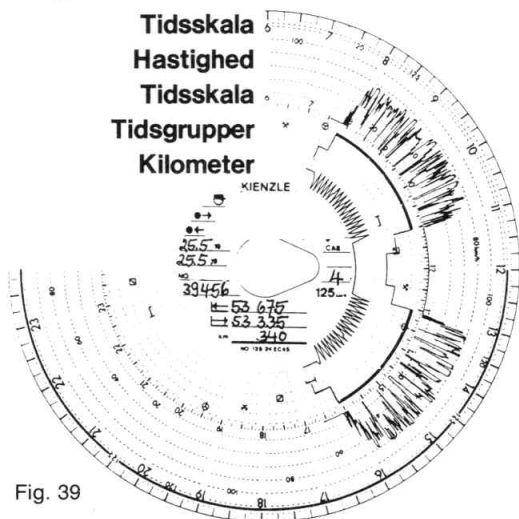


Fig. 39

DYNAMIK

E. 1 NEWTONS 2. LOV

Hvis en cyklist er i stand til at give cyklen en fremadrettet kraft F , der er større end nødvendig for at overvinde gnidningskræfterne, vil cyklen accelerere. Forskellen mellem den samlede kraft F og gnidningskræfterne F_g kalder man den resulterende kraft:

$$F_{\text{res}} = F - F_g$$

Vi vil nu undersøge sammenhængen mellem den resulterende kraft, massen og accelerationen nærmere.

Forsøg	Masse M	Trækkraft F	Acceleration a	$M \cdot a$
1	0,231 kg	0,1 N	0,428 m/s ²	0,0989 kgm/s ²
2	0,231 kg	0,2 N	0,852 m/s ²	0,197 kgm/s ²
3	0,231 kg	0,3 N	1,25 m/s ²	0,289 kgm/s ²

Afbilder vi accelerationen a som funktion af trækkraften F , ser vi, at de tre punkter med god tilnærmelse ligger på en ret linje gennem (0,0) (fig 40a).

Heraf slutter vi, at

$$a = k \cdot F$$

D.v.s., at accelerationen er ligefrem proportional med den resulterende kraft.

I den næste forsøgsrække vælger vi at bruge to lodder som trækkraft ved alle forsøg, mens vi lægger ekstra vægt på vognen, så massen varieres. Ved hvert forsøg vejes alle de dele, der accelereres i forsøget, før det gennemføres.

Resultaterne indføres i et skema som nedenstående.

Forsøg 10.

Newtons 2. lov.

Vi bruger opstillingen på side 19 igen. Vi tager 3 lodder og forsyner en glider, »vogn« med kartonstykke og snor. Det hele lægges på vægten, og vi bestemmer massen M af alt, hvad der skal bevæges. Til nogle luftpu-debaner findes lodder, der er tilpasset sådan, at tyngdekraften på dem er 0,1 N.

Det første forsøg udføres med eet lod som trækkraft, mens de andre lodder ligger på vognen; accelerationen bestemmes som ved det tidligere accelerationsforsøg.

I næste forsøg bruges 2 af lodderne som trækkraft, og i tredje forsøg alle 3 lodder. Resultaterne kunne f.eks. blive som nedenstående skema viser.

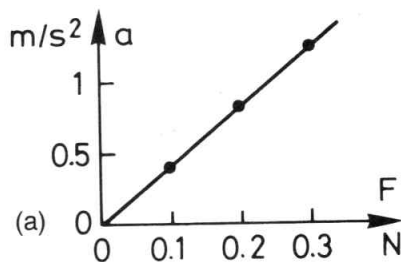
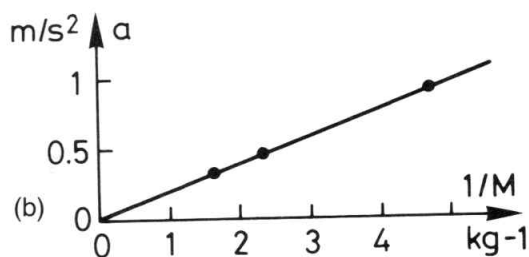


Fig. 40



Forsøg	Masse M	$1/M$	Trækkraft F	Acceleration a	$M \cdot a$
4	0,212 kg	4,72 kg ⁻¹	0,2 N	0,924 m/s ²	0,196 kgm/s ²
5	0,411 kg	2,33 kg ⁻¹	0,2 N	0,469 m/s ²	0,193 kgm/s ²
6	0,609 kg	1,64 kg ⁻¹	0,2 N	0,313 m/s ²	0,191 kgm/s ²

Forsøger vi at afbilde accelerationen som funktion af massen, opdager vi hurtigt, at punkterne ikke kommer til at ligge på en ret linje. Bedre går det, hvis vi afbilder accelerationen som funktion den reciprokke værdi af massen.

Vi ser nu, at de tre punkter med god tilnærmelse ligger på en ret linje gennem (0,0) (fig. 40b). Vi har derfor:

$$a = c \cdot \frac{1}{M}$$

Når accelerationen både skal være ligefrem proportional med kraften F og med den reciproke masse af systemet i bevægelse, er

$$a = \text{konstant} \cdot F \cdot \frac{1}{M}$$

Vælger vi at lade konstanten være 1, har vi:
 $F = M \cdot a$. Dette er Newtons 2. lov.

(24)

Den resulterende kraft
 er lig massen ganget med
 accelerationen.
 $F = M \cdot a$

I skemaet er $M \cdot a$ beregnet for alle forsøg, og vi ser, at talværdien (i alle tilfælde), næsten er identisk med kraftens størrelse.

Ved at sætte konstanten til 1 får vi samtidig en definition af kraften 1 N.

1 N er den resulterende kraft,
 der kan give massen 1 kg
 accelerationen 1 m/s^2 .

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

Forsøg 11.

Gnidningsmodstanden for en cykel.

Vi kan bruge opstillingen til cykelforsøget på side 20 til at bestemme den samlede luft- og rullemodstand for en cykel. Først vejes cyklist og cykel på en badevægt. Cyklen forsynes med timerstrimmel som ved accelerationsforsøget.

Cyklen trædes i gang og efter et øjeblik holdes frihjul over en passende strækning.

Herefter kan den negative acceleration findes ved analyse af timerstrimlen på sædvanlig måde, og ved hjælp af Newtons 2. lov beregnes de bremsende kræfter. Prøv at sammenligne resultatet med erfaringerne fra forsøg 5.

Opgave 30. En cyklist venter ved rødt lys. Da trafiksignalet skifter til grønt, giver cyklisten sin cykel den konstante resulterende kraft 95 N i 5 s. Massen af cykel og cyklist er 70 kg.

Hvor langt når cyklisten i løbet af de 5 s?

Opgave 31. En racerfører gennemkører de første 52 m efter start på 4 s.

- Hvilken acceleration har vognen haft?
- Hvilken hastighed er opnået efter de 4 s? Racervognen vejer 1200 kg.
- Hvilken resulterende kraft har påvirket vognen under accelerationen?

Opgave 32. En cykelrytter kører med den konstante fart 48 km/h, da han ser målet og begynder spurten. Den varer i de sidste 8 s, inden han når målstregen. Under spurten opnår han den konstante acceleration $1,1 \text{ m/s}^2$.

- Hvilken hastighed kører han over målstregen med?
- Hvor langt var han fra mål, da spurten begyndte?

Opgave 33. En bil, der vejer 975 kg, kører ud ad en lige landevej med farten 80 km/h. Motoren kobles ud, og herved får bilen en negativ acceleration, så farten efter 1,2 s er reduceret til 75 km/h.

Luft- og rullemodstand kan anses for at være uændret.

- Hvor store er de samlede gnidningskræfter ved 80 km/h?
- Hvilken effekt yder motoren ved 80 km/h?
- Hvor langt når bilen at køre i løbet af 1,2 s?

Farten på 80 km/h genoptages. Nogen tid efter øges motorens effekt til 40 kW.

- d) Hvilken acceleration får bilen, i det øjeblik effekten øges?
- e) Forklar, hvordan gnidningskræfterne, accelerationen og farten videre udvikler sig efter effektforøgelsen!

E. 2 TYNGDEKRAFTEN

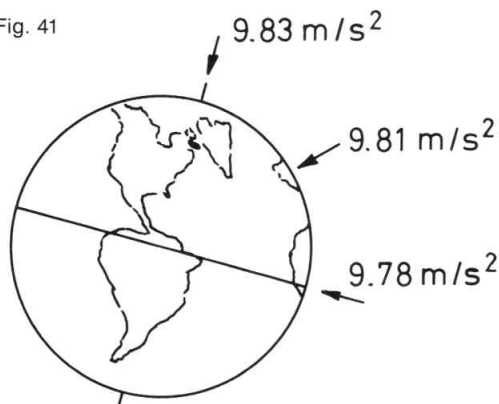
Det er allerede omtalt, at tyngdekraften på en genstand, der har massen m , beregnes ved

$$(25) \quad F_t = m \cdot g,$$

hvor g er tyngdeaccelerationen.

Her i Danmark er $g = 9,8166 \text{ m/s}^2$. g er ikke helt konstant, når man bevæger sig rundt på jorden. g er mindst, $9,78 \text{ m/s}^2$ ved ækvator og størst ved jordens poler, $9,83 \text{ m/s}^2$ ved Nordpolen.

Fig. 41



E. 3 OP OG NED AD BAKKE ELLER HISTORIEN OM DEN POTENTIELLE ENERGI

Vejene er jo ikke altid vandrette, de har bakker, stigninger og fald, der er betinget af terrænet. Når man kører på cykel, kender man betydningen af bakker.

Selv når man kører i bil, opdager man, at større stigninger kan tage noget af farten fra en bil.

Der må altså tilføres noget energi for at køre op ad bakke, men til gengæld vindes energi ved at køre ned ad bakke.

Vi vil indskrænke os til at se på plane stigninger og undlade at undersøge bakker, der har en eller anden krum kurve for vejens linjeføring.

Vejingeniører angiver stigninger i pct.

Ved 1% stigning forstår man, at vejen er steget 1 m i lodret retning for hver 100 m vejbane.

Vejene kan godt have store stigninger og fald (fig. 42). I bjergegne er stigninger på mellem 20% og 30% ikke ualmindelige på mindre biveje.



Fig. 42

Jernbaner må imidlertid altid bygges, så stigningerne kun bliver nogle få procent.

Gnidningskraften mellem stålhjul og stålskiner kan ikke blive stor nok til, at lokomotivet kan trække togstammen op ad bakke.

På fig. 43 kan vi se, hvordan tyngdekraften F_t kan opløses i to retninger.

Tyngdekraften angriber i bilens tyngdepunkt. Tyngdepunktet er bilens massemidt-punkt M ; det ligger lavt, fordi vognens tunge dele såsom motor, aksler og hjul ligger lavt lige over vejbanen.

F er den kraft langs vejbanen, der vil trække bilen tilbage ned ad vejbanen, og F_s er den kraft, der trykker bilen ned mod vejen vinkelret på vejen.

Kraftpilene angiver kræfternes retning, og længden angiver deres størrelse f.eks. målt i enheden N. Konstruktionen kaldes kræfternes parallelogram. F_s og F udgør de to sider i et parallelogram, mens F_t er diagonalen.

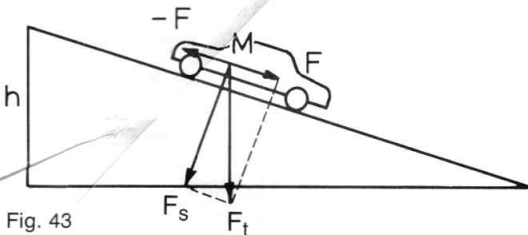


Fig. 43

For bare at holde bilen i hvile kræves en kraft – F , der er lige så stor som og modsatrettet F_t , ellers begynder bilen at rulle tilbage.

Kalder vi den lodrette stigning h og vejstrækningen s , har vi, idet den lille trekant er ensvinklet med den store, at

$$\frac{h}{s} = \frac{F}{F_t} \quad \text{eller} \quad F = F_t \cdot \frac{h}{s}$$

og endelig $F = m \cdot g \cdot \frac{h}{s}$

Kendes stigningen i procent, er

$$\frac{p}{100} = \frac{h}{s}$$

og vi kan beregne F .

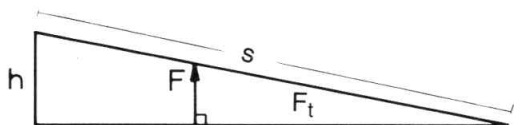


Fig. 44

Eks. En cyklist vejer 70 kg, og cyklen vejer 12 kg. Bakken har en stigning på 9%, så $h/s = 0.09$. Kraften F findes således:

$$F = (70 \text{ kg} + 12 \text{ kg}) \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot 0,09 = 72,5 \text{ N}$$

For bare at kunne komme op ad bakken til højden h , må motoren, cyklisten, hesten, eller hvad der nu trækker, udføre arbejdet:

$$A = m \cdot g \cdot \frac{h}{s} \cdot s = m \cdot g \cdot h,$$

fordi kraften F skal overvindes med en lige så stor og modsatrettet kraft over strækningen s .

I modsætning til den energi, som bruges til at overvinde gnidningskræfternes arbejde, så er dette løftearbejde ikke gået tabt for os, det er ikke blevet til varme. Vi får det igen, når vi kører ned ad bakke. Løftearbejdet er blevet til potentiel energi. Ved bakkens top har køretøjet opnået den potentielle energi:

$$(26) \quad E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

For et køretøj, der påvirkes af en resulterende kraft og accelererer op ad bakke, kan

vi nu opstille den samlede kraftligning også kaldet bevægelsesligning. F_d er den drivende kraft, F_g er rullemodstand, F_l er luftmodstand, m er massen, h/s er bakkens stigning og a er køretøjets acceleration.

$$(27) \quad m \cdot a = F_d - F_l - F_g + m \cdot g \cdot \frac{h}{s}$$

Når vi kører ned ad bakke omdannes noget af den potentielle energi igen til kinetisk energi. Derfor accelererer køretøjer ned ad bakke medmindre, man bremser dem.

Bevægelsesligningen bliver da

$$m \cdot a = F_d - F_l - F_g + m \cdot g \cdot \frac{h}{s}$$

når vi anvender samme symboler som ovenfor.

For den tilførte energi E har vi ved kørsel op ad en bakke med højden h :

$$(28) \quad E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h + A_g$$

hvor v_1 er farten ved bakkens fod, og v_2 farten ved bakkens top, og A_g er gnidningskræfternes arbejde.

I det specielle tilfælde, hvor $A_g = 0$ og den tilførte energi $E = 0$, har vi

$$(29) \quad \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h = 0$$

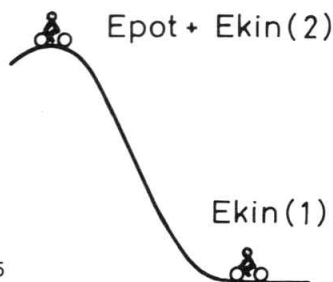


Fig. 45

Denne sætning udtrykker, at for et lukket, gnidningsfrit system er tabet i kinetisk energi lig tilvæksten i potentiel energi og omvendt.

I vores beregninger er vi gået ud fra, at nulpunktet for den potentielle energi lå ved den plane vej inden bakkens stigning. I virkelig-

heden kan man fastlægge dette nulpunkt, som man ønsker det. I forhold til den plane jord, kan den potentielle energi på bunden af en brønd have en negativ værdi.

Opgave 34. En rytter galoperer op ad en bakke, der er 21 m høj. Rytteren vejer 65 kg, og hesten vejer 250 kg.

Hvor stort et løftarbejde må hesten udføre?

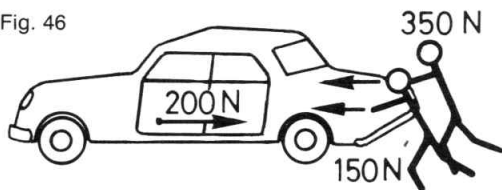
Opgave 35. Et jernbanetog har massen 720 t. Det kører med farten 90 km/h, inden det kommer til en strækning med 2,5 % stigning.

Hvor meget skal lokomotivet øge effekten, for at farten kan være uændret?

Opgave 36. Per og hans far skal skubbe familiens bil, der er gået i stå. Rullemodstanden er 200 N, og bilens masse er 875 kg.

Per kan skubbe med 150 N og hans far kan skubbe med 350 N. Ved den ringe fart en bil skubbes med, har luftmodstanden ingen praktisk betydning.

Fig. 46



a) Hvilken acceleration kan de i begyndelsen give bilen?

Bilen skal imidlertid op ad en stigning på 3%.

b) Hvilken acceleration får bilen nu?

c) Hvor stor en stigning kan Per og hans far klare at skubbe bilen op ad?

Opgave 37. En cykelrytter har farten 42 km/h, da han kommer til foden af en 20 m høj bakke. Cykelrytteren og cyklen vejer ialt 75

kg. Gnidningsarbejdet er ialt 2000 J, mens der køres op ad bakke. Ved toppen af bakken er farten 10 km/h.

a) Hvor stor energi må cykelrytteren præstere for at nå bakketoppen?

Cykelrytteren holder frihjul ned ad bakken. Gnidningsarbejdet er nu steget til 3600 J for turen ned ad bakken.

b) Hvilken fart har cykelrytteren, da han når foden af bakken?

Opgave 38. I en barnevogn med massen 15 kg sidder et barn, der vejer 8 kg.

Barn og vogn skal skubbes op ad en stigning på 11%. Rullemodstanden er 5 N. Da farten ved bevægelsen er lav, kan man se bort fra luftmodstanden.

a) Hvor stor en kraft kræves for at skubbe barnevognen med konstant fart op ad stigningen?

Stigningen har længden $s = 60$ m.

b) Hvor meget energi må barnepassereren afgive for at skubbe vognen op ad stigningen?

Opgave 39. Til- og afkørsler ved motorveje laves altid sådan, at den krydsende vej føres på en bro over motorvejen, og frakørslen foregår på en vej, der stiger op til den krydsende vej, mens tilkørselsvejen har et fald ned mod motorvejen.

Diskuter hvilke fordele dette arrangement har ud fra fysiske og trafikikkerhedsmæssige kriterier.

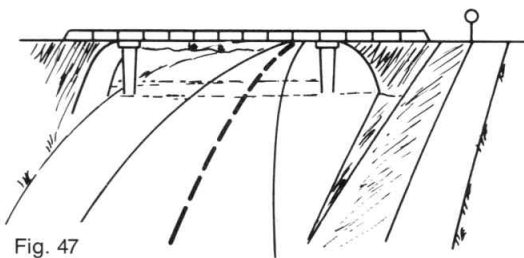


Fig. 47

AUTOMOBILET

F. 1 AUTOMOBILETS UDVIKLING

Vi vil i dette afsnit beskæftige os lidt med nogle væsentlige træk af bilens udvikling og opbygning.

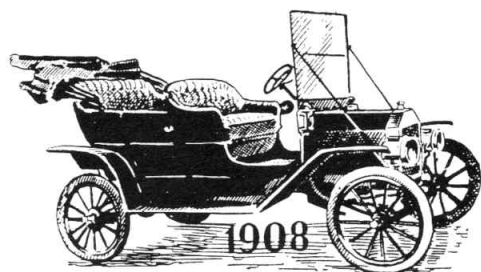
Hvem, der er den egentlige opfinder af den benzindrevne bil, vil vel nok aldrig blive endeligt fastslået, fordi der var så mange opfindere, som nogenlunde samtidigt løste opgaven på en rimelig brugbar måde, og fordi der er en ikke ringe national prestige forbundet med denne opfindelse.

Almindeligvis anerkendes tyskerne Daimler og Benz som bilens fædre, fordi de først fremstillede biler til salg.

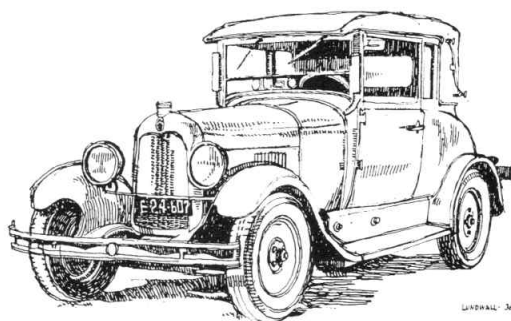
Gottlieb Daimler og Wilhelm Maybach konstruerede vognen og Kurt Benz benzinmotoren. Den første bil kom på landevejen i 1886. Den var trehjullet.

Af andre opfindere af automobiler fra midten af 1880'erne kan nævnes østrigeren Siegfried Marcus, franskmændene Malandin og Delamare-Deboutteville samt danskeren Urban Johansen hos Hammels Maskinfabrik i København. Sidstnævnte køretøj findes på Teknisk Museum og er i køreklar stand. Af franskmændenes bil eksisterer kun tegningerne, og Marcus' bil har vist aldrig bevæget sig for egen kraft.

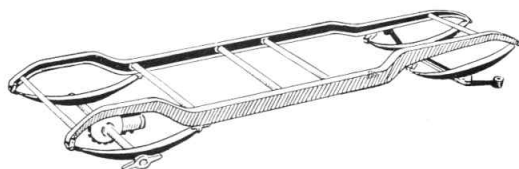
De første biler var hestevogne uden heste med motoren anbragt under kuskensædet. Men allerede år 1900 får bilerne den opbygning, som i store træk kendes i dag. Motoren er anbragt foran et førersæde med rat og kontrolaggregater, og bag førersædet er der plads til passagerer og last. Alle hjul har luftfyldte gummiringe opfundet af skotten J.B. Dunlop.



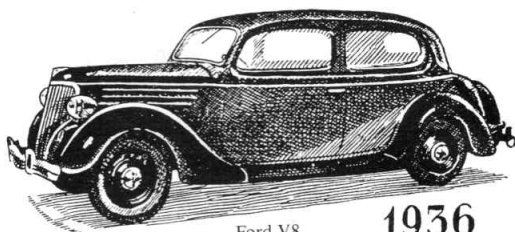
Ford, model T.



Ærværdig fransk Coupé Décapotable

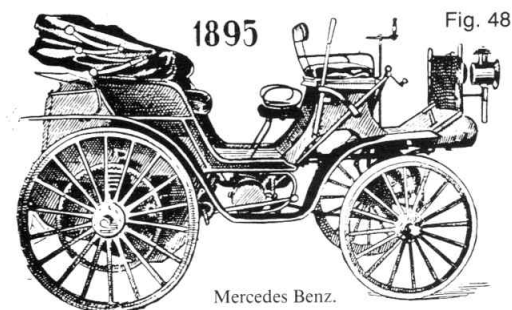


Chassisramme som bærende element



Ford V8

1936



Mercedes Benz.

Fig. 48



Mindre, moderne europæisk bil, årg. 1990.

Fra omkring 1910 til ca. 1936 ændrer bilerne sig næsten ikke. De er kantede, opbyggede på en svær chassissramme, og oven på denne er vognkassen anbragt. Motoren trækker gennem en langsgående kardanaksel og et differentiale på baghjulene.

Efter 1936 gives bilerne en mere og mere aerodynamisk form, og chassissrammen erstattes af det selv bærende karosseri.

Herved opnår man, at luftmodstanden reduceres, og det selv bærende karosseri gør det muligt at sænke tyngdepunktet, så stabiliteten øges; køreegenskaberne forbedres. Hastigheden øges, men dermed også trafikulykkernes antal og deres følger. Samtidig bliver bilernes levetid kortere, fordi rusten lettere ødelægger karosserier opbygget af tynde stålplader. Noget bilfabrikanterne nok ikke har været så kede af.

De første biler var håndværksarbejde fremstillet på mindre virksomheder. Deres pris blev høj, og de ejedes kun af den velhavende overklasse.

Men det er netop bilindustrien, der er årsag til en af de største omvæltninger i produktionslivet: Indførelsen af samlebåndsarbejdet.

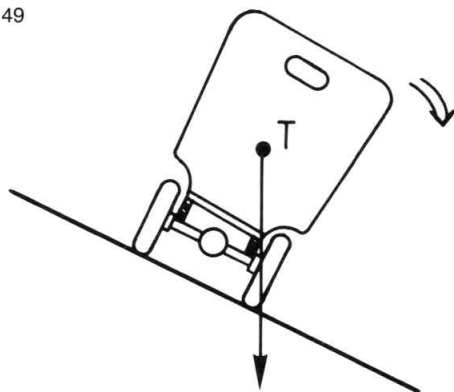
Ophavsmanden hed Henry Ford (1865 - 1947) og var amerikaner. Han havde bygget sin første bil i 1896 og startet en lille bilfabrik, som snart blev en blandt mange bilfabrikker i U.S.A. Han indså, at hvis bilen skulle være for hele folket måtte den være billig.

Dette kunne kun opnås ved masseproduktion. Først konstruerede han i 1908 en lille enkel bil, model T. Derefter indførte han i 1913 samlebåndsteknikken, hvor bilerne slæbtes på et transportbånd forbi arbejderne, der i et ofte opskruet tempo skulle montere de enkelte præfabrikerede dele i nogle få simple arbejdsgange. Dette skulle de gøre flere tusind gange i løbet af en arbejdsdag. Samletiden for en Ford reduceredes fra 14 timer til 93 min. I 1925 nåede man en foreløbig rekord: Samlebåndene producerede 9000 biler på én dag.

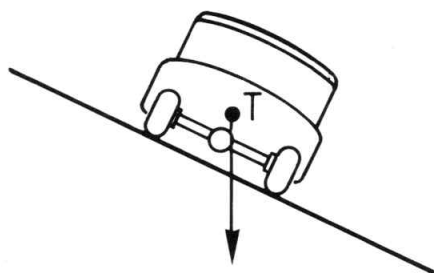
Ideen overførtes snart til mange andre produktioner med en lang række sociale konsekvenser til følge. Håndværket forsvandt fra fabriksproduktionen, da billig

ufaglært arbejdskraft hurtigt kunne oplæres, og ikke mindst i U.S.A. kunne lønnen for industriarbejdere trykkes. Det ensformige samlebåndsarbejde nedsled arbejderne såvel fysisk som psykisk. Denne bagside af industrikulturen er skildret i Chaplins film: »Moderne tider« fra 1936. Men det lykkedes Ford at sætte amerikanerne på hjul. Der blev ialt produceret 15 mill. Fordvogne af T-modellen, inden den gik ud af produktion i 1927. For en enkelt model er dette antal kun overgået af den tyske Volkswagen VW i årene efter 2. verdenskrig.

Fig. 49



I en gammel høj bil opbygget på chassissramme kommer lodlinjen fra tyngdepunktet let uden for den flade, de fire hjul afgrænser. Vognen vælter!



En moderne bil har et lavt tyngdepunkt. Selv en kraftig krængning får ikke bilen til at vælte.

Idé til elevforedrag: Henry Fords historie, amerikanske industrimagnater og industriarbejdernes forhold i tyverne og trediverne.

F. 2 BENZINMOTOREN

Benzinmotoren er den maskine, der i dag bevæger verden. Det er en varmekraftmaskine, hvor forbrændingen finder sted i selve cylinderen. Den kemiske energi i benzinen, der er en blanding af lette, flydende kulbrinter, omdannes til varmeenergi. Samtidig fylder forbrændingsprodukterne noget mere end den benzindamp og luft, som fyldes i cylindrene.

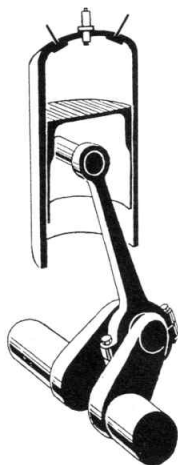
Der har været to hovedtyper af benzinmotorer, totaktsmotoren og firetaktsmotoren. I dag har firetaktsmotoren næsten fortrængt totaktsmotoren undtagen til letvægtsmotorcykler og indtil for kort tid siden i østeuropæiske biler.

En bilmotor har altid flere cylindre. Cylinderen er foroven lukket af et topstykke. I det er anbragt en indsugningsventil og en udstødningsventil. I moderne højtydende motorer er der 4 ventiler. Mellem ventilerne er anbragt et tændrør med to elektroder. Når der frembringes en elektrisk gnist mellem dem, antændes blandingen af benzindamp og luft.

Cylinderen er fornedet lukket af et bevægeligt stempel, der ved hjælp af en plejlstang og en krumtap kan overføre kraften til motorens hovedaksel. Den opad- og nedadgående bevægelse bliver herved til en rotation.

Ved motorens boring forstås man cylindrens indre diameter; boringen angives ofte i mm. Slaglængden er den strækning, stemplet bevæger sig fra sin topstilling til bund.

Fig. 50



Slagvolumenet er forskellen mellem cylinderens rumfang, når stemplet er i bund, og når det er i top, det måles i cm^3 . Det samlede slagvolumen for alle cylindrene betegnes motorstørrelsen.

Kompressionsforholdet er forholdet mellem cylinderens rumfang, når stemplet er i bund, og når det er i top. I moderne motorer er det omkring 9:1.

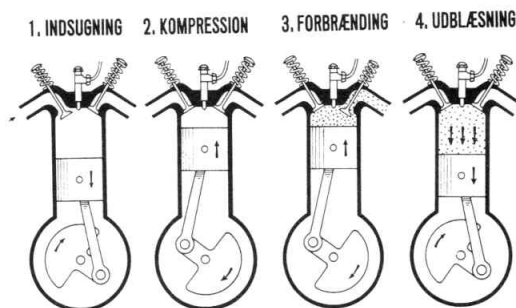


Fig. 51

Ovenfor vises firetaktsmotorens arbejds-gang:

- 1) Indsugningen: Benzin- luftblandingens indsuges. Indsugningsventilen er åben, og stemplet bevæger sig nedad.
- 2) Kompressionen: Begge ventiler er lukkede, og stemplet bevæger sig mod topstykket.
- 3) Tændingen: En gnist fra tændrøret får den sammenpressede gas til at eksplodere. Trykket stiger voldsomt og stemplet presses ned.
- 4) Udstødningen: Udstødningsventilen åbnes. Stemplet bevæger sig igen mod topstykket, og cylinderen tømmes for forbrændingsprodukter.

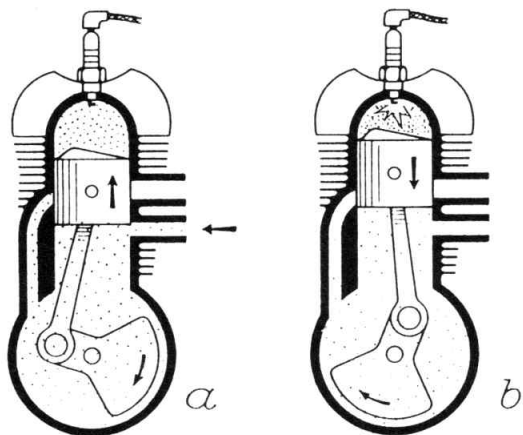
Totaktsmotoren.

Denne motortype anvendes mest til små motorcykler og knallerter. Den har normalt kun en cylinder og er luftkølet i modsætning til firetaktsmotoren, der i dag altid er væskekølet. Mens firetaktsmotoren smøres fra en oliebeholder i bunden af motorblokken, blandes olie i benzinen til totaktsmotoren, som med gasblandingens ledes ind i motoren fra karburatoren.

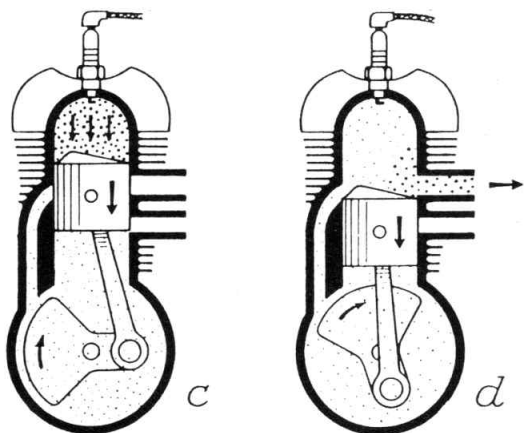
Totaktsmotoren har som sagt kun to arbejdstakter:

Fig. 52

1. takt. Fyldning.



2. takt. Arbejde.



1) Fyldnings- og kompressionstakten:

Stemplet bevæger sig fra sin bundstilling op i cylinderen. Fra en kanal mellem det lukkede krumtaphus og cylinderen er den friske gasblanding strømmet op i cylinderen, mens forbrændingsprodukterne fra forrige eksplosion er strømmet ud gennem et hul i siden på cylinderen. På det

sidste stykke vej, stemplet bevæger sig, komprimeres gassen, og der suges ny gasblanding ind i krumtaphuset. Når stemplet næsten er i topstilling, tænder gnisten gasblandingen.

2) Arbejds- og skylletakten.

De varme forbrændingsprodukter presser stemplet nedad. Inden stemplet når bundstillingen, åbner det selv for udstødningen, mens frisk gasblanding strømmer ind i cylinderen.

Der er således en arbejdstakt for hver motoromdrejning. Umiddelbart skulle man tro, at motoren var dobbelt så effektiv som firetaktsmotoren, men det er langt fra tilfældet, fordi skylningen aldrig kan blive helt effektiv.

F. 3. EKSPLOSIONEN I CYLINDEREN.

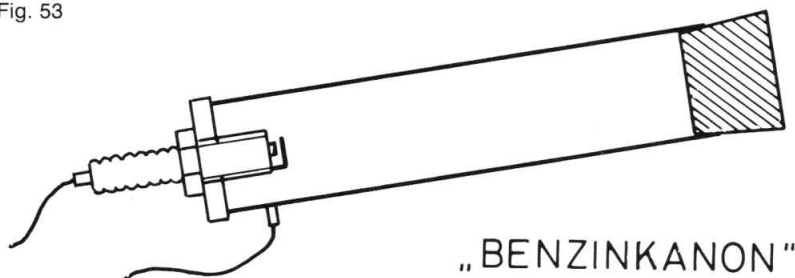
Gasblandingen indeholder benzindamp og atmosfærisk luft. Kun $\frac{1}{5}$ af luften er oxygen, der bruges ved forbrændingen af benzins kulbrinter. Ved forbrændingen dannes carbon dioxide og vanddamp. Hvis blandingen af luft og benzin er sådan, at 15 L luft er blandet med 1 g benzindamp, vil forbrændingen ske lynhurtig som en eksplosion, og forbrændingsproduktens temperatur stiger til ca. 3000 K. Som tidligere nævnt fylder forbrændingsprodukterne lidt mere end den gasblanding, der eksploderede. Resultatet er derfor en voldsom trykstigning.

Forsøg 12:

Hvis man har en såkaldt »benzinkanon«, der består af et metalrør med et tændrør i den ene ende og en massiv korkprop i den anden, kan man ret instruktivt vise eksplosionsmotorens princip:

Tændrøret forbindes til et induktionsapparat. Korkproppens inderside fugtes med et par dråber rensebenzin, hvorefter den hurtigt sættes i metalrøret, der rystes et øjeblik og spændes op i et stativ. Når strømmen til induktionsapparatet sluttes, farer proppen ud med et knald.

Fig. 53



Eksempel. En 4-cylindret motor har et samlet slagvolumen på 1360 cm³. Boringen er 75 mm og kompressionsforholdet er 9,3:1. Beregn trykket i cylinderen efter eksplosionen og kraften på stemplet, når temperaturen i cylinderen er 2200 °C.

For en cylinder er slagvolumen $V = 340 \text{ cm}^3 = 0,34 \text{ L}$. Det lille rumfang over stemplets topstilling kaldes V_1 .

$$\text{Kompressionsforholdet : } \frac{V + V_1}{V_1} = 9,3 \Leftrightarrow V_1 = 0,04096 \text{ L}$$

og hele cylinderen har rumfanget: $V_c = 0,34 \text{ L} + 0,04096 \text{ L} = 0,381 \text{ L}$. Gasblandingen har undertryk, 0,6 atm, når den fyldes ind i cylinderen. Dens temperatur er ca. 20° C eller 293 K.

Fra kemi kender vi tilstandsligningen for en gas: $p \cdot V_c = n \cdot R \cdot T$, hvor p er trykket, V_c er rumfanget, n er antallet af mol gasmolekyler, R er gaskonstanten, og T er den absolutte temperatur.

Ved hjælp af tilstandsligningen beregnes antallet af mol gasmolekyler i cylinderen:

$$n = \frac{0,6 \text{ atm} \cdot 0,381 \text{ L}}{0,0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293 \text{ K}} = 0,0095 \text{ mol}$$

Efter eksplosionen, som sker i den sammenpressede gas, stiger temperaturen til ca. 2200 °C eller $(2200 + 273) \text{ K} = 2473 \text{ K}$, ca. 2500 K.

Vi kan nu igen bruge tilstandsligningen til at finde trykket p , idet vi ser bort fra, at forbrændingsprodukterne fylder lidt mere end gasblandingen.

$$p = \frac{n \cdot R \cdot T}{V_1} = \frac{0,0095 \text{ mol} \cdot 0,0821 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot 2500 \text{ K}}{0,04096 \text{ L mol} \cdot \text{K}} = 47,6 \text{ atm}$$

$$\text{Dette tryk svarer til } 47,6 \cdot 101325 \text{ N/m}^2 = 4,82 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Tryk er kraft pr. areal. } p = \frac{F}{A} \text{ eller } F = p \cdot A.$$

$$\text{Stemplets areal: } \frac{7,5 \cdot 7,5 \cdot \pi}{4} \text{ cm}^2 = 44,2 \text{ cm}^2 = 0,00442 \text{ m}^2.$$

Samlet kraft på stemplet er da: $4,82 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 \cdot 0,00442 \text{ m}^2 = 2,13 \cdot 10^4 \text{ N}$ eller tyngden af ca. 2,13 t!

Det er denne kraft, der driver bilen fremad.

Opgave 40.

Her ser du specifikationerne for en moderne bilmotor. Ud fra de oplysninger, der er mærket med $\rightarrow$, skal du beregne og undersøge følgende:

- 1) Passer motorens slagvolumen med boringen og slaglængden?
- 2) Omdrejningstallet ved max. ydelse er antallet af omdrejninger pr. minut. Hvor mange liter luft passerer motoren i løbet af 1 min.?
- 3) Beregn trykket efter eksplosionen, når gassen suges ind ved 0,62 atm og temperaturen 40 °C. Forbrændingsprodukterne har $T = 2700$ K.
- 4) Hvor langt kører vognen i løbet af 1 min. ved tophastigheden?
- 5) Hvilken vejstrækning har stemplet sammenlagt bevæget sig på 1 min.?
- 6) Hvilken strækning tilbagelægger vognen, når den accelererer fra 0 km/h til 100 km/h på den angivne tid?

Model	XL
Motortype: (4-cyl. forhjulstræk)	TUI
$\rightarrow$ Slagvolumen cm^3	1124
$\rightarrow$ Boring/slaglængde mm	72 x 69
$\rightarrow$ Max. effekt CEE KW v./omdr.	40/5800
Max. effekt HK v./omdr.	55/5800
Max. drejningsmoment Nm CEE v./omdr.	88/3200
Max. drejningsmoment kgm v./omdr.	9,1/3200
$\rightarrow$ Kompressionsforhold	9,4:1
Karburator	Enkel
Tænding	Elektronisk
Vekselstrømsgenerator kapacitet	750 W
Batteri	33 Ah
Brændstof	95 Blyfri
Gearkasse:	4-trins
Kobling:	Tør enkeltpladet
$\rightarrow$ Tophastighed (km/t):	154
$\rightarrow$ Acceleration: 0-100 km/t sek.	14,6

F. 4 GASSENS ARBEJDE OG MOTORENS EFFEKT.

Tidligere fandt vi, at forbrændingsprodukterne har et højt tryk og en høj temperatur. Mens stemplet bevæger sig udad, udfører gassen et arbejde, der overføres til krumtapakslen og driver køretøjet fremad.

Kraften F på stemplet er lig $p \cdot A$, hvor p er trykket og A er stempelarealet. Lader vi stemplet bevæge sig et lille stykke Δs , vil p ikke ændre sig, når Δs bare er lille nok.

Gassen har udført arbejdet ΔW_{gas} , idet vi for at undgå forvirring bruger symbolet W for arbejde i dette afsnit.

$$(5) \quad \Delta W_{\text{gas}} = F \cdot \Delta s,$$

men da $F = p \cdot A$, er $\Delta W_{\text{gas}} = p \cdot A \cdot \Delta s$.

Produktet $A \cdot \Delta s$ er imidlertid lig med den lille rumfangsforøgelse ΔV , og vi har derfor:

$$(30) \quad W_{\text{gas}} = p \cdot \Delta V.$$



Fig. 54

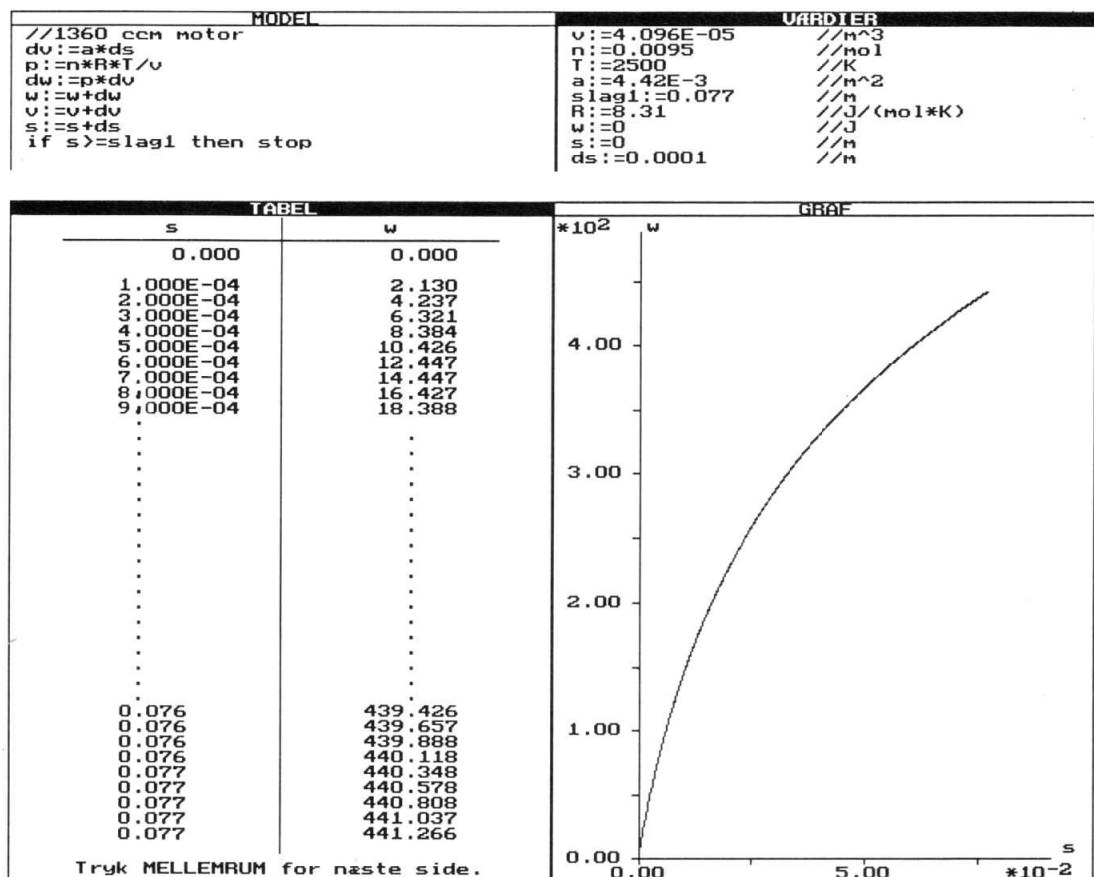
Har stemplet flyttet sig mere end det lille stykke Δs , er trykket imidlertid ikke længere p , men lidt mindre. Det nye tryk kan vi finde ved tilstandsligningen:

$$p = n \cdot R \cdot \frac{T}{V} \text{ hvor } V \text{ nu er det nye rumfang.}$$

For at finde hele arbejdet, som gassen udfører, mens stemplet bevæger sig til sin bundstilling kan vi bruge et regneark til skolens computer f.eks. DYMOS. Vi indsætter de data, vi kender fra eksemplet på side 34, alle i SI-enheder. ds er stimplængden, V er rumfanget begyndende med rumfanget ved den største kompression, n er antallet af mol gasmolekyler, T er den absolutte temperatur, R er gaskonstanten ($8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$), s er stemplets samlede vej, ds er slaglængden, dW og W er henholdsvis tilvæksten i arbejdet og det samlede arbejde, og p er trykket med enheden N/m^2 .

Programmet kan udskrive en tabel over de fundne værdier og tegne en graf.

Som vi ser af tabellen, bliver det samlede arbejde $441,3 \text{ J}$ for hver arbejdstakt. En fire-cylindret 4-taktsmotor har to arbejdstakter for hver omdrejning.



Tændingsrækkefølgen for cylindrene og stemplernes stilling i forhold til hinanden er valgt sådan, at der er en arbejdstakt for hver eneste 180° drejning af motorakslen.

Det oplyses, at motoren i eksemplet side 34 yder den største effekt 61,5 kW ved 5800 omdrejninger pr. min.

Efter vor beregning udfører motoren arbejdet $A = 2 \cdot 5800 \cdot 441,3 \text{ J} = 5,12 \text{ MJ}$ pr. min.

Effekten kan derefter findes ved division med 60 s.

$$P = 5,12 \text{ MJ} / 60 \text{ s} = 85,3 \text{ kW}$$

Dette afviger godt nok fra de 61,5 kW, som informationsmaterialet angiver, men vi har gjort en del antagelser, der ikke passer helt. For det første er der noget gnidningsarbejde i motoren, ind sugning og ikke mindst kom-

pression kræver energi og giver dermed effekttab, alene kompressionen giver effekttabet 10,3 kW. Stempler og ventiler skal sættes i bevægelse og bremses igen.

Motorens hjælpeapparater som dynamo, oliepumpe og ventilator skal også have energi. Og endelig opfører gassen sig ikke helt som en ideal gas.

Selv om udvidelsen af gassen og dens arbejde foregår hurtigt, sker der dog i virkeligheden et temperaturfald, bl. a. fordi varme ledes væk gennem cylinderens vægge. For at holde temperaturen nede køles motoren hele tiden med kølevæske.

Alle disse tab er med til at reducere motorens effekt.

Opgave 41. Prøv ved hjælp af DYMOS at gennemføre en lignende beregning for motoren i opgave 40.

GNIDNINGSKRÆFTERNES BETYDNING FOR BEVÆGELSEN

G. 1 LUFTMODSTAND OG BEVÆGELSE

Allerede ved de hastigheder, som man kører med på cykel, betyder luftmodstanden en hel del, og navnlig mærkes den i modvind. Man har ved utallige forsøg fundet frem til flg. formel for den kraft F_l , som modvirker en genstands bevægelse gennem luften.

$$(31) \quad F_l = 0,5 \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot (v + v_0)^2$$

ρ er luftens densitet (massefylde), c_w er en konstant, som afhænger af genstandens form, A er frontarealet af genstanden, v er genstandens hastighed, og v_0 er vindhastigheden, der regnes positiv ved modvind og negativ ved medvind.

Faktoren c_w kaldes luftmodstandskoefficienten. Den bestemmes af genstandens form. For en plan flade, der bevæges mod luften, er $c_w = 1,1$. Det svarer stort set til c_w -værdien for en cyklist, der sidder opret på cyklen. Cykelryttere, der lægger sig hen over styret, får både mindre c_w værdi og mindre frontareal.

Moderne biler har lav en c_w -værdi på ca. 0,3, men der skulle hele to oliekriser til, før bilfabrikkerne opgav diverse modeluner omkring karosseriets form og byggede biler med lav luftmodstandskoefficient.

Tegningerne (fig. 55) viser forskellige genstandes c_w -værdi. Laveste c_w -værdi opnås for et dråbeformet legeme, hvor længden er 6 gange diameteren.

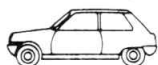
Fig. 55



$c_w = \text{ca. } 1$



$c_w = 0,7$



$c_w = 0,35$



$c_w = 0,05$

Luftmodstanden på et køretøj sluger en del af motorens effekt:

$$(33) \quad P_l = F_l \cdot v = 0,5 \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot v \cdot (v + v_0)^2$$

Opgave 42. Vurder hvilken betydning c_w -værdien har for en bils benzinøkonomi.

Forsøg 13.

Faldskærmsudspring – eksempel og opgave

Til belysning af luftmodstandens betydning for et legemes bevægelse vil vi se på det frie fald fra stor højde f.eks. ved udspring fra en flyvemaskine. Fra den tidligere behandling af bevægelse med konstant acceleration er vi bekendt med tyngdeaccelerationen $g = 9,82 \text{ m/s}^2$. Hvis et fald foregik i lufttomt rum, ville vi for faldtiden t , faldhastigheden v og faldvejen s få følgende værdier:

t	v	s
1 s	9,82 m/s	4,91 m
2 –	19,64 –	19,64 –
3 –	29,46 –	44,19 –
4 –	39,28 –	78,56 –
5 –	49,1 –	122,75 –

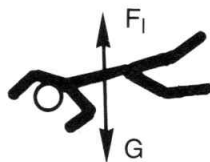


Fig. 56 Frit fald uden og med faldskærm.

Ofte ser man trænede faldskærmsudspringere lade sig falde frit i lang tid, inden de udløser faldskærmen. Deres fart v mod jorden vokser til en slutværdi, som indtræffer, når luftmodstanden er vokset til at være lige så stor og modsatrettet tyngdekraften F_t på det menneskelige legeme. Ved faldets begyndelse er den resulterende kraft

$$F_{\text{res}} = F_t - F_l,$$

da F_t og F_l er modsatrettede. Når F_t er lig F_l numerisk, er $F_{\text{res}} = 0$, og accelerationen $a = 0$.

For at bestemme luftmodstanden på et menneske, må vi kende dets areal.

Det kan vi finde på flg. måde: Vi tager noget papir og breder det ud på gulvet. Du beder din kammerat om at lægge sig oven på papiret, og du tegner hendes eller hans omrids på papiret. Omridset klippes ud, krølles sammen og vejes. Derefter måler I et kvadrat på f.eks. 40 cm × 40 cm op af samme slags papir, også dette papir klippes ud og vejes. Ud fra de to masser kan du beregne din kammerats areal.

Fig. 57



På nedenstående regneark har vi opstillet ligningerne til at finde parametrene for et menneskes frie fald. $c_w = 1.1$, stort set samme værdi som for en plade. Arealet anslås til 0,6 m² og massen af udspringeren til 70 kg. Luftens densitet ρ (rho) afrundes til 1,2 kg/m³.

Opgave:

Indsæt den fundne værdi for din kammerats areal A og masse m i programmet.

Kør derefter programmet, og find den maksimale fart, der opnås ved frit fald.

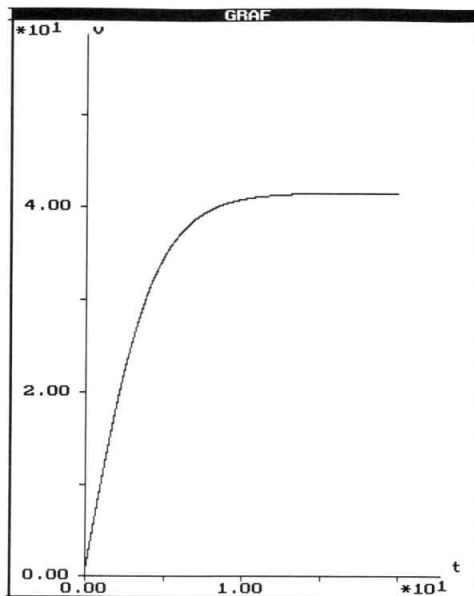
Hvor langt falder vedkommende, inden sluthastigheden er nået, og hvor lang tid tager det?

Derefter ser vi på et udspring med faldskærm. Faldskærmens areal sættes til 10 m². For en krummet flade, der vender hulheden mod bevægelsesretningen er $c_w = 1,4$. Faldskærmen med dragt øger massen af udspringeren med 10 kg. Kør nu programmet igen med de nye værdier indsat!

Hvilken sluthastighed (også i km/h) får faldskærmsudspringeren?

Hvor lang tid tager det denne gang, før accelerationen er næsten nul?

Sluthastigheden er også landingshastigheden. Hvilken højde skulle man springe fra uden faldskærm og luftmodstand for at få samme fart i landingsøjeblikket?



MODEL	VÆRDIER
//Faldskærmsudspring u/skærm	g:=9.82 // m/s ²
F:=m*g - 0.5*cw*rho*Areal*v^2	m:=70 // kg
a:=F/m	cw:=1.1
v:=v+a*dt	rho:=1.2 // kg/m ³
s:=s+v*dt	Areal:=0.6 // m ²
t:=t+dt	v:=0 // m/s
	s:=0 // m
	dt:=0.01 // s
	t:=0 // s
if t>20 then stop	

TABEL			
t	v	s	a
19.880	41.484	703.679	0.003
19.890	41.484	704.093	0.003
19.900	41.485	704.508	0.003
19.910	41.485	704.923	0.003
19.920	41.485	705.338	0.003
19.930	41.485	705.753	0.003
19.940	41.485	706.168	0.003
19.950	41.485	706.583	0.003
19.960	41.485	706.997	0.003
19.970	41.485	707.412	0.003
19.980	41.485	707.827	0.003
19.990	41.485	708.242	0.003

G. 2 EN BILS BEVÆGELSE MED LUFT- OG RULLEMODSTAND.

Vi har tidligere omtalt de forskellige bremsende kræfter, der virker på f.eks. en bil, når den bevæger sig. Foruden den gnidning, der er i transmissionens lejer, tandhjul o.s.v., har vi luftmodstand og rullemodstand.

Rullemodstanden F_{rul} kan som bekendt findes ved (6): $F_{rul} = f \cdot m \cdot g$, hvor $f = 0,015$ for luftfyldte gummiringe på asfalteret vej.

Eksempel:

Vi opstiller et simulationsprogram, hvor rullemodstanden antages at være konstant. Vi bruger flg. data: Max. effekt: 61,5 kW, masse af vogn med fører 770 kg, tophastighed $v = 180 \text{ km/h} = 50 \text{ m/s}$.

Den største trækraft, som motoren kan påvirke vognen med, findes ved formel

$$(12) \quad P = F_d \cdot v \Leftrightarrow F_d = \frac{P}{v} = \frac{61500 \text{ W}}{50 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1230 \text{ N}$$

Bevægelsesligningen bliver derfor:

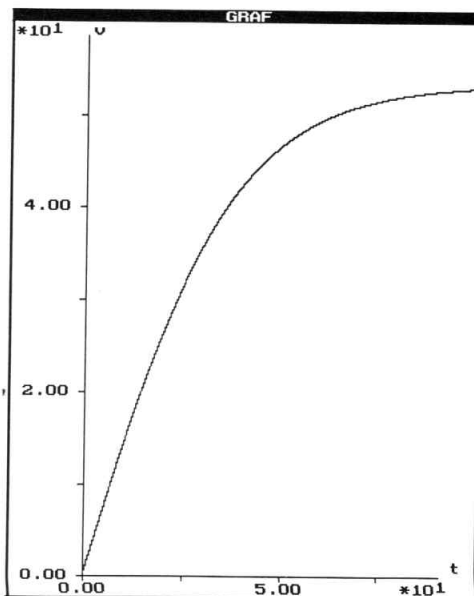
$$(33) \quad m \cdot a = F_d - F_{rul} - 0,5 \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

Frontarealet sættes til $2,2 \text{ m}^2$, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ og $c_w = 0,34$. Herefter overlader vi arbejdet til regnearket.

Opgave 46. Kør programmet. Find ud af, hvor lang tid bilen er om at nå hastigheden 100 km/h. Foretag ændringer i programmet, så du kan finde den tilbagelagte vejstrækning, inden bilen når 100 km/h.

Hvordan passer det med oplysningerne: Acceleration 0-100 km/h på 9.3 s. Tid for de første 1000 m: 31.2 s?

Diskuter resultaterne!



MODEL	VÆRDIER
//Bils bevægelse med luft- og rullemodstand	f := 0.015
Frul := f*m*g	cw := 0.34
Fluft := 0.5*cw*Areal*rho*v'^2	m := 770 //kg
Fres := Fd-(Frul+Fluft)	g := 9.82 //m/s^2
a := Fres/m	Areal := 2.2 //m^2
v := v+a*dt	rho := 1.2 //kg/m^3
t := t+dt	Fd := 1230 //N
	v := 0 //m/s
	t := 0 //s
	dt := 0.01 //s

HARMONISKE SVINGNINGER

H. 1 AFFJEDRING OG HARMONISK BEVÆGELSE.

Ethvert transportmiddel må tilpasse sin bevægelse over vejbanen på en sådan måde, at ujævnheder i vejbanen ikke får køretøjet til at miste stabiliteten og påføre passagererne eller lasten skade under transporten.

Denne opgave klares af affjedringssystemet.

Tegningerne til højre viser forskellige affjedringssystemer. På cykler klares affjedringen af de luftfyldte gummiringe og de indbyggede fjedre i sadlen (fig. 58a).

På jernbanevogne er hjulene i de såkaldte bogier affjedrede. En bogie er den drejelige ramme med 4 hjul, to på hver side, som jernbanevogne hviler på. En jernbanevogn til persontransport er i hver ende forsynet med bogier, der er fastgjort til undervognen.

Biler og motorcyklers vejbeliggenhed afhænger af deres affjedringssystemer. Billedet (fig. 59) viser en moderne bils affjedringssystem.

Tidligere brugte man altid bladfjedre til affjedring af vogne (fig. 58b). I dag er systemer med skruefjedre mest anvendt (fig. 58c).

Når en tung genstand understøttes eller ophænges i fjedre, kan genstanden sættes i

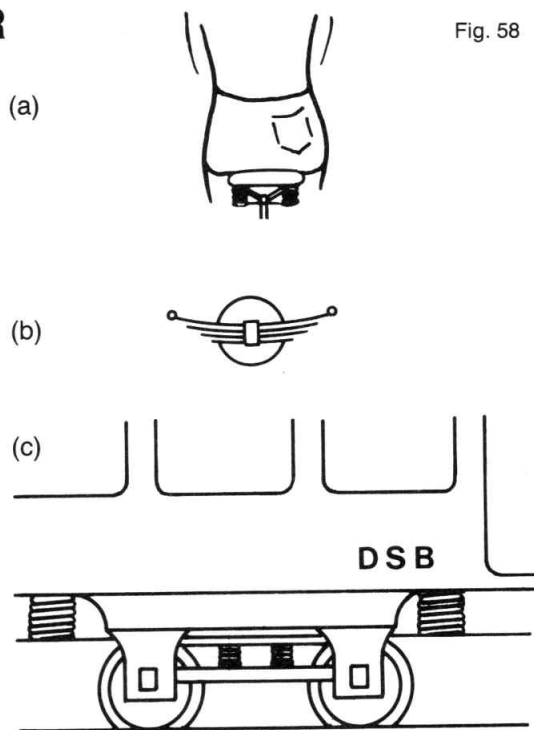


Fig. 58

en svingende bevægelse. Bevægelsen foregår periodisk omkring en ligevægtsstilling. I et køretøj må man imidlertid hurtigst muligt dæmpe sådanne svingninger, ellers risikerer man ustabilitet og ulykker. Derfor hører fjedre altid sammen med støddæmpere i et affjedringssystem.

Affjedringssystemet i en moderne bil.

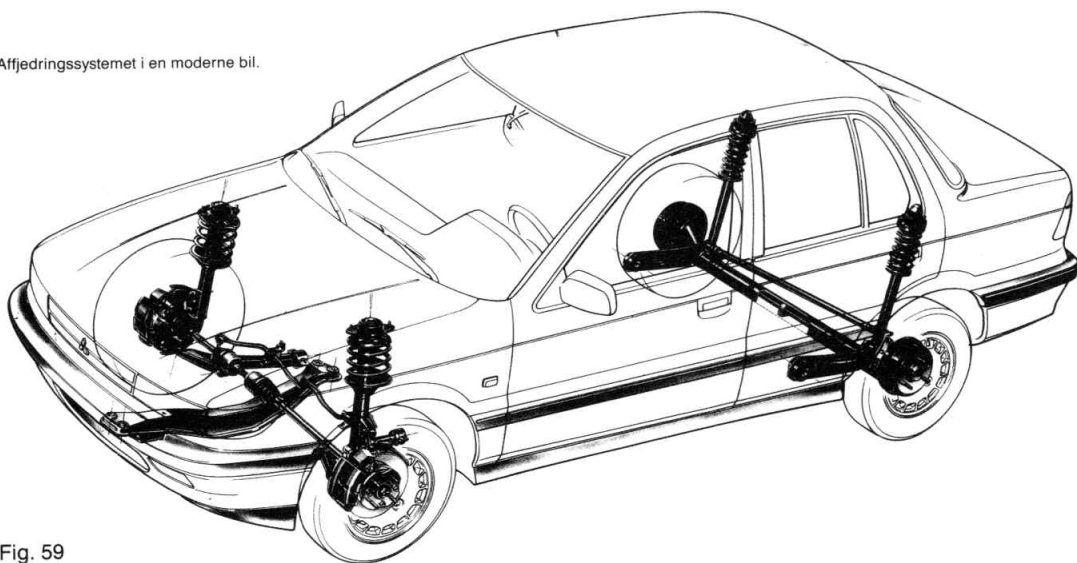


Fig. 59

H. 2 FJEDRES EGENSKABER – HOOKES LOV.

For at forstå, hvordan fjedre virker, må vi undersøge de love, der gælder for dem. Som eksempel på fjedre bruger vi en skruefjeder.

Vi lægger fjederen på et glat underlag og måler dens længde. Derefter påvirker vi fjederen med en kraft, som strækker og forlænger den. Vi indfører nu den retningskonvention, at alle kræfter, forlængelser og bevægelser, der går til højre regnes positive, mens hvad der foregår til modsat side regnes negativt.

Vores kraftpåvirkning er rettet mod højre, og forlængelsen af fjederen går også mod højre. Men det betyder, at fjederens egen kraft F er rettet mod venstre.

I følge Newtons 3. lov vil en genstand, der er i hvile og er påvirket af kræfter, bevirke en kraftpåvirkning, der er lige så stor og modsatrettet som summen af de kræfter, der i første omgang påvirkede den. Dette udtrykkes også således:

AKTION ER LIG REAKTION
 $F = -F$

Aktionen er i dette tilfælde vores træk i fjederen F_y , og reaktionen er fjederens træk F i modsat retning. Vi har da: $F_y = -F$.

Ved en række forsøg ser vi, at F_y og fjederens forlængelse x er ligefrem proportionale, hvis vi har med en ideal fjeder at gøre.

$$(34) \quad F_y = k \cdot x$$

Men ifølge ovenstående har vi:

$$(35) \quad F = -k \cdot x$$

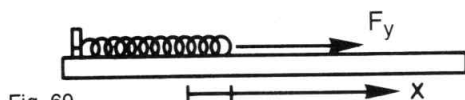
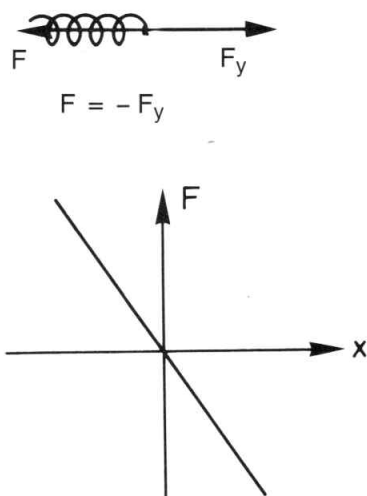


Fig. 60

Denne lov kaldes Hookes lov efter den engelske fysiker Robert Hooke (1635-1703), der fandt denne lovmæssighed for den ideale fjeder.

Konstanten k kaldes fjederkonstanten eller fjederens stivhed. k har enheden N/m.

Fig. 61



Forsøg 14.

Fjederkonstanten.

Find fjederkonstanten for en skruefjeder, der ophænges i et stativ og belastes med tyngdekraften fra en række lodder. Forlængelsen måles med et katetometer.

For en almindelig fjeder vil en masseforøgelse på 10-20 g mellem hver måling være passende.

Resultaterne kan noteres i et skema som nedenstående.

Længde uden belastning: $l_0 =$ _____ m

Masse m kg					
Tyngde F_t N					
Længde l m					
Forlæng. x m					

Beregning: $x = l - l_0$ og $F_t = m \cdot g$. Afbild på milimeterpapir en graf med F_t som funktion x og find k !

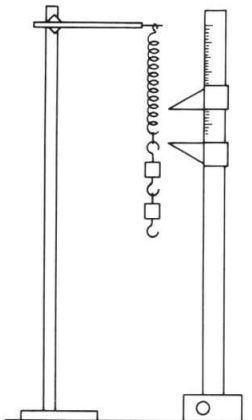
En genstand med massen m , der er påvirket af kraften fra en spændt fjeder, kan sættes i bevægelse af fjederkraften. Vi vil prøve at følge denne bevægelse.

Lad os se på et lod ophængt i en fjeder. Loddets tyngdekraft F_t strækker fjederen så meget, at fjederkraften F bliver lige stor nok til at modvirke F_t . Altså $F = -F_t$. Herved strækkes fjederen med længden:

$$x_0 = \frac{F_t}{k}$$

hvor k er fjederkonstanten.

Fig. 62



Ligevægtstillingen opnås derfor, når fjederen er forlænget stykket x_0 .

Trækker vi nu yderligere i fjederen med en kraft F_x vil fjederen forlænges med endnu et stykke x . Så længe vi holder fjederen strakt i den nye stilling, må fjederen præstere en yderligere kraft $-F_x$.

Slippes systemet løs, vil den ekstra kraft $-F_x$ påvirke loddet og give det en acceleration a .

$$a = -\frac{F_x}{m}$$

Fra bevægelseslæren har vi formel (18):

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = x''(t)$$

og der gælder, at

$$(36) \quad a = -\frac{k}{m} \cdot x \text{ eller } x''(t) = -\frac{k}{m} \cdot x(t).$$

Bevægelsesligningen sætter vi vores regneark til at løse. Rutinerne er

- 1) $a: = -k/m \cdot x$
- 2) $v: = v + a \cdot dt$
- 3) $x: = x + v \cdot dt$
- 4) $t: = t + dt$

Som parametre vælges f.eks. $k = 60 \text{ N/m}$, $v = 0$, $t = 0$, $x = 0,05 \text{ m}$, $m = 0,1 \text{ kg}$ og $dt = 0,001 \text{ s}$. Vi lader programmet tegne grafen for x som funktion af t , og derefter v som funktion af t .

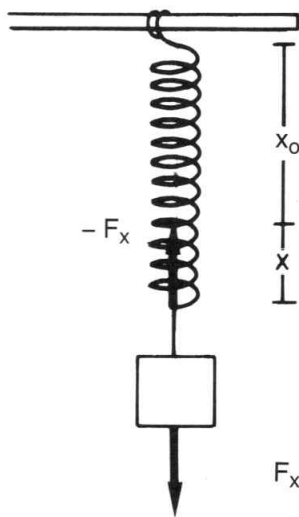
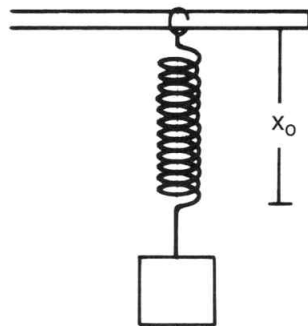
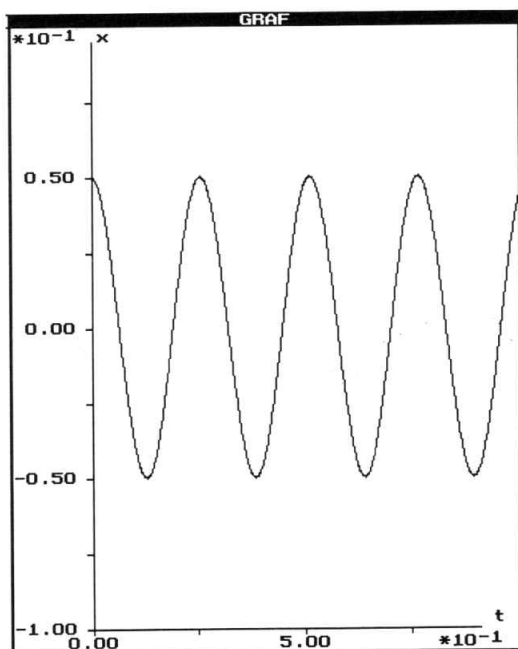


Fig. 63



(t,x)-graf

Som vi kan se af grafen for bevægelsen, bliver det en svingning om en ligevægtsstilling. Det største udsving kaldes amplituden A . Svingningstiden eller perioden T er den tid, som en hel svingning tager. Ved en hel svingning forstår vi bevægelsen fra ligevægtsstillingen til det maksimale udsving til den positive side og tilbage gennem ligevægtsstillingen til den modsatte side og tilbage til ligevægtsstillingen igen. Den anden graf viser hastigheden v som funktion af tiden t . Læg mærke til, at farten er størst, når ligevægtsstillingen passerer, og at farten er nul, når loddet er i yderstillingerne.

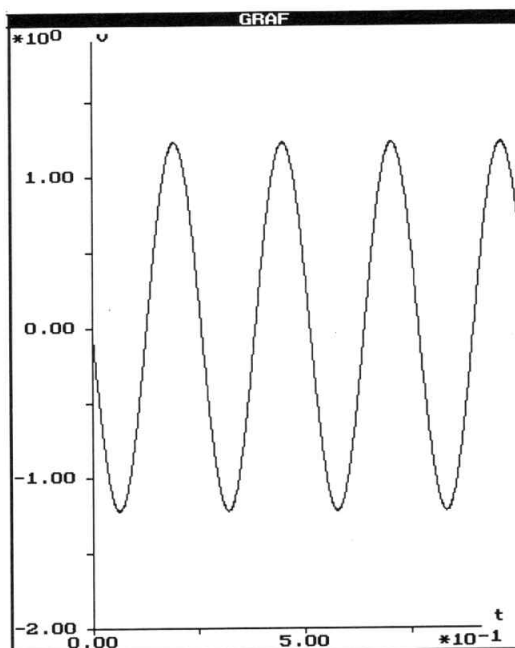
En sådan bevægelse kan beskrives ved funktionen:

$$(37) \quad x = A \cdot \cos(\omega \cdot t), \text{ hvor}$$

$$(38) \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Hvis en svingning opfylder denne betingelse, kaldes den en harmonisk svingning eller en harmonisk bevægelse. Det kan vises, at

$$(39) \quad \omega^2 = \frac{k}{m}$$



(t,v)-graf

$$(40) \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Bemærk, at en stor værdi for k giver en lille svingningstid, mens en stor masse giver det svingende system en lang svingningstid.

Almindeligvis beskriver man den harmoniske svingning ved funktionen:

$$(41) \quad x = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi).$$

Hvis φ er $\frac{\pi}{2}$ vil

$$x = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2})$$

netop være forskriften for (t,x)-graf.

Opgave 43.

Beregn ω ud fra de i eksemplet opgivne værdier og plot funktionen:

$x = A \cdot \cos(\omega \cdot t)$. Undersøg, om T får samme værdi som før.

Du kan evt. plotte funktionen ved hjælp af regnearket på computeren.

Forsøg 15.

Bestemmelse af svingningstid.

Brug opstillingen til forsøg 16 og din fjeder med den kendte fjederkonstant.

Hæng lodder med forskellige masser i fjederen og sæt systemet i svingninger.

Mål for hvert lod tiden for 50 svingninger og find svingningstiden T for en enkelt svingning.

Undersøg ved beregning af svingningstiden ud fra m og k , om eksperimentets svingningstider passer med de beregnede.

Prøv ved hjælp af en badevægt og en lineal at finde fjederkonstanten for en cykelsadel. Hvilken svingningstid skulle vi forvente, når en person med kendt masse sidder på sadlen? Prøv at finde svingningstiden i praksis.

Det er værd at bemærke, at en frem- og tilbagegående bevægelse, der skabes af en roterende bevægelse ved hjælp af en krumtap eller lignende, beskrives ved samme udtryk: $x = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$ som for en harmonisk svingning. A er rotationens radius og $\omega = 2\pi/T$, hvor omløbstiden T er konstant.

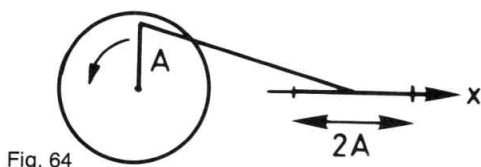


Fig. 64

H. 3 ENERGIE I EN HARMONISK SVINGNING

Enhver bevægelse af en masse som f.eks. loddet, der var i svingende bevægelse for enden af fjederen, bevirker tilstedeværelsen af kinetisk energi.

Når vi spænder fjederen, tilfører vi lod og fjeder potentiel energi, fordi vi udfører et arbejde for at bringe loddet ud af ligevægtsstillingen. Den ydre kraft kaldes F_y , og fjederens strækkes det lille vejstykke Δx . Herved udfører F_y arbejdet: $A = F_y \cdot \Delta x$. Δx er nødt til at være meget lille, for ellers må den ydre kraft ændre sig, da $F_y = k \cdot x$.

Afbilder vi F_y som funktion af x får vi en ret linje.

For en given x -værdi lægger vi et lille interval Δx omkring x . Rektangelet med højden $k \cdot x$ og bredden Δx , har arealet: $k \cdot x \cdot \Delta x$.

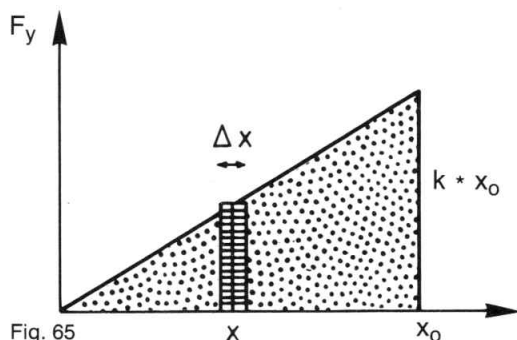


Fig. 65

Dette areal repræsenterer det lille arbejde ΔA , som den ydre kraft har udført på systemet.

Strækkes fjederen til forlængelsen x_0 , er der ialt udført et arbejde på fjederen svarende til trekantens areal.

$$A = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_0 \cdot x_0 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_0^2$$

Fjederet har da modtaget den potentielle energi:

$$(42) \quad E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_0^2$$

Trækker fjederen sig sammen igen, vil den omdanne hele den potentielle energi til kinetisk energi af loddet, forudsat at der ingen gnidning er i systemet. Loddet opnår herved den maksimale kinetiske energi i ligevægtsstillingen.

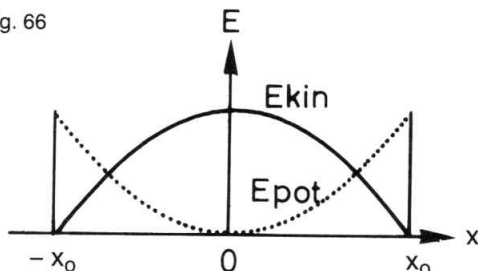
$$E_{\text{kin(max)}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_m^2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_0^2$$

og loddets største fart $v_m = x_0 \sqrt{\frac{k}{m}}$

Fra (39) ved vi, at $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

hvoraf man får (44) $v_m = x_0 \cdot \omega$.

Fig. 66



Under hele bevægelsen gælder bevarelsen af den mekaniske energi, der udtrykkes:

$$(29) \quad E_{\text{mek}} = E_{\text{pot}}(x) + E_{\text{kin}}(x) \text{ eller}$$

$$(44) \quad \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_0^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2.$$

Opgave 44. Jesper sætter sig på sin cykel. Herved sammenpresses fjedrene i sadlen 1,5 cm. Jesper vejer 67 kg.

- Hvor stor er fjedrenes fjederkonstant?
- Hvor meget potentiel energi får fjedrene tilført?

Opgave 45.

Når det ene hjul på en bil med massen 700 kg løftes op fra vejbanen med en donkraft, strækker fjedrene sig 12 cm. For nemheds skyld antager vi, at hvert hjul bærer 1/4 af bilens vægt, og at de har ens fjederkonstant.

- Hvilken svingningstid skulle man forvente for hele bilen?
- Hvor stor er den største fart i bevægelsen, når $x_0 = 12 \text{ cm}$?

Opgave 46.

Nålen på en symaskine bevæger sig som en harmonisk svingning, idet dens bevægelse er en roterende bevægelse, der om sættes til en op- og nedadgående bevægelse. Nålen udfører en hel svingning for hvert sting.

Find nålens største fart, når symaskinen syr 100 sting i minuttet, og afstanden mellem nålens top og bundstilling er 2 cm.

Opgave 47.

Stemplet i bilmotoren i opgave 40 bevæger sig også som en harmonisk svingning, hvor slaglængden er afstanden mellem stemplets to yderstillinger.

Find stemplets maksimale fart og acceleration ved motorens største omdrejningstal.

H. 4 DÆMPEDE SVINGNINGER.

Da vi lavede forsøget med det svingende lod for enden af fjederen, bemærkede vi, at svingningernes amplitude aftog, efterhånden som vi nærmede os de 50 svingninger. Det skyldes den indre gnidning, som bruger noget af fjederens energi. Man siger, at svingningerne er dæmpede.

Hvad bliver der af denne energi?

Man kunne få en endnu større dæmpning ved at lade loddet glide i en tyktflydende væske. Undersøgelser af fjedres dæmpning tyder på, at den dæmpende kraft F_d er proportional med farten og altid rettet mod bevægelsen.

$$(45) \quad F_d = -l \cdot v$$

Bevægelsesligningen bliver da:

$$(46) \quad m \cdot a = -k \cdot x - l \cdot v,$$

der løses ved hjælp af regneark.

Til højre ses grafen for den dæmpede svingning. Det er nøjagtig den samme svingning, som i det foregående eksempel, hvor vi blot har indført dæmpningskonstanten $l = 0,4 \text{ kg/s}$ i beregningen.

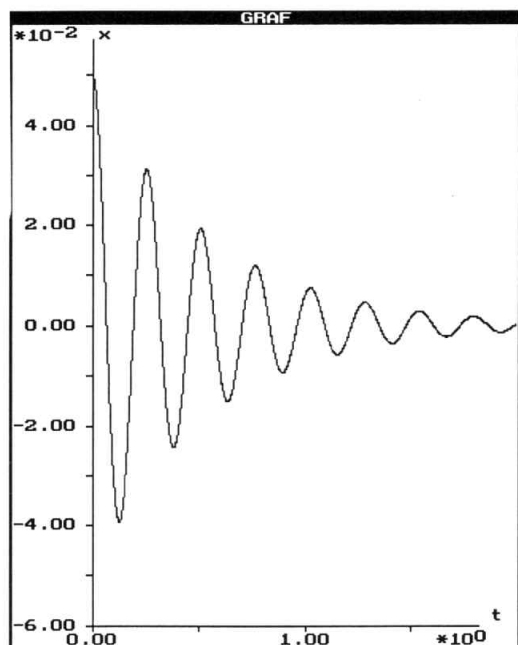
Læg mærke til, at svingningstiden er bevaret, lige indtil svingningen næsten er døet ud!

Opgave 48.

Kør programmet med dine egne konstanter fra dit fjederforsøg, og prøv dig frem med forskellige dæmpningskonstanter. Mål svingningstiderne på graferne.

Hvis dæmpningen øges, kommer man i den situation, at en hel svingning ikke kan gennemføres. Det bliver ikke muligt at finde en svingningstid. Man taler om aperiodiske dæmpning.

MODEL	VARDETER
//Harmonisk bevægelse med dæmpning	k:=60 // N/m
a:=-k/m*x-l/m*v	v:=0 // m/s
du:=a*dt	t:=0 // s
x:=x+v*dt+0.5*a*dt^2	x:=0.05 // m
v:=v + du	m:=0.1 // kg
t:=t + dt	dt:=0.001 // s
	l:=0.4 // kg/s
if t>=2 then stop	



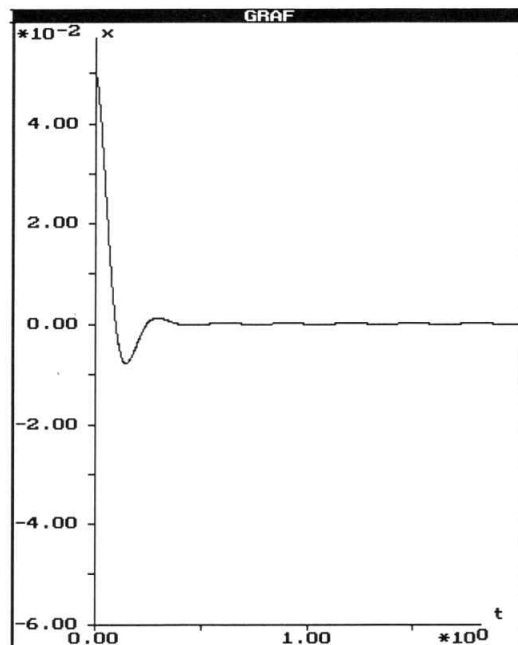
Her vises den samme svingning som tidligere, men nu er $I = 2,5 \text{ kg/s}$. Svingningstiden er ikke længere bevaret. Det er denne type dæmpning, man anvender i køretøjers affjedringssystemer.

I biler og motorcykler er monteret støddæmpere i forbindelse med fjedrene. Mest almindelig er den hydrauliske støddæmper.

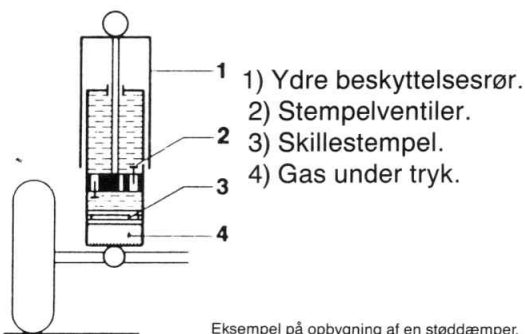
I en væskefyldt cylinder kan et stempel bevæge sig. Stemplet er forsynet med ventiler, så væsken kan passere mellem cylindernes rum.

Støddæmperne er udspændt mellem den uaffjedrede del af køretøjet, hjul og aksler, og den affjedrede del, karosseriet.

Hvis man ikke havde støddæmpere, ville køretøjet miste vejgrebet i det højeste punkt af udsvinget. Herved mistes styreevnen, og udskridning kan forekomme, og køretøjet kan kan vælte.



Støddæmpere slides og mister deres dæmpende virkning. Defekte støddæmpere kan afsløres ved at sætte en vogn i svingninger. Hvis svingningerne ikke straks dør ud, når den ydre påvirkning ophører, fungerer støddæmperne ikke forsvarligt.



Eksempel på opbygning af en støddæmper.

Fig. 67

TRAFIKULKER



I. 1 TRAFIKULKER OG DE FYSISKE LOVE.

Enhver ting har sin pris. Vejtrafikken i Danmark kræver årligt omkring 700 dræbte og ca. 14.000 tilskadekomne. Denne kendsgerning og de miljøproblemer, trafikken samtidig skaber, har gjort i hvert fald den individuelle trafik til et debattema og et brændende politisk spørgsmål. Alene det faktum, at trafikdrab er en af de hyppigste dødsårsager for aldersgruppen fra 5 år til 45 år, maner til eftertanke.

At trafikulykkernes omkostninger hvert år løber op i mange milliarder kr til sygehusbehandling og erstatninger, er et økonomisk problem. Men de mange menneskelige omkostninger og lidelser kan ikke gøres op økonomisk. Talrige familier bliver ramt ved tabet af eller invalideringen af et familiemedlem, og familiens medlemmer får ændret tilværelsen totalt.

Samfundet fører derfor en kamp mod trafikulykkerne med alle mulige midler, der spænder fra oplysningskampagner, skær-

pet færdselslovgivning og udvidet kontrol med køretøjer og trafikanter til videnskabelige analyser af ulykkesårsager og forebyggende vejforbedringer.

Vi vil i det følgende se på samspillet mellem fysikkens love og ulykkernes forløb. Det paradoksale ved trafikulykker er, at de ikke altid sker på grund af overtrædelse af færdselsloven, men på grund af »overtrædelse« af de fysiske love. At det sidstnævnte så ofte er en følge af det første, er en anden sag.

Dette kan belyses ved følgende eksempel: En regnvejrsdag overser en bilist en faretafle med farligt vejsving og en påbudstavle med en lokal hastighedsbegrænsning og kører ind i svinget med for høj fart, hvorved bilen skrider ud og vælter. Årsagen til udskridningen er, at gnidningskræfterne mellem dækkene og vejbanen ikke er store nok til at tvinge køretøjet rundt i svinget ved den pågældende fart. Den næste dag begår en anden bilist den samme færdselslovovertrædelse i tørvej og slipper helskindet fra den.

Nogle trafikulykker er »singleulykker«, d.v.s. ulykker, hvor kun en trafikant er indblandet, som i ovennævnte eksempel. De er i langt de fleste tilfælde forårsaget af, at trafikanten har overtrådt de fysiske love for køretøjet eller har været uopmærksom på vejforholdene. Ofte er der i den type ulykker indblandet spiritus eller trafikanten er i en sådan psykisk eller fysisk tilstand, at han er uegnet til at færdes i trafikken.

I. 2 STØDET.

Men langt de fleste ulykker sker ved sammenstød mellem to eller flere trafikanter. Vi vil derfor analysere stødet mellem to legemer.

Bevægelsesmængde.

For at kunne undersøge de fysiske love for stød, må vi indføre en ny fysisk størrelse, bevægelsesmængden eller impulsen, der er defineret ved produktet af masse og hastighed.

$$(47) \quad p = m \cdot v$$

Bevægelsesmængden har som hastigheden både størrelse og retning. Da vi vil indskrænke vores undersøgelser til bevægelser langs en ret linje, kan vi i hvert tilfælde indføre en fortegnskonvention, således at f.eks. bevægelser mod højre regnes med positiv bevægelsesmængde, mens bevægelser mod venstre regnes negative.

Enheden for bevægelsesmængde er $\text{kg} \cdot \text{m/s}$.

I. 3 DET ELASTISKE STØD.

I fysikken deler man stødene op i to kategorier:

Det elastiske stød og det uelastiske stød.

Ved et elastisk stød vil vi forstå et stød mellem legemer, der sker på en sådan måde, at den samlede kinetiske energi før stødet er lig med den samlede kinetiske energi efter stødet.

Det helt ideelle elastiske stød eksisterer næppe, men der kan gives en række eksempler på stød, som med god tilnærmelse kan betragtes som elastiske.

To stålkugler med ens masse $m_1 = m_2 = m$ er ophængt, så de lige rører ved hinanden. Føres den ene kugle lidt ud til siden, så den får lidt potentiel energi, og slippes, vil den ramme den anden kugle med hastigheden v (fig. 68a).

Efter stødet ser vi den anden kugle bevæge sig ud til siden og i praksis nå næsten den samme højde, som den første kugle startede fra, mens den første kugle hænger stille.

Når den anden kugle vender tilbage har den fået hastigheden $-v$. Den rammer den første kugle, som nu får hastigheden $-v$ og hænger selv stille.

Sådan kan systemet blive ved et stykke tid, men efterhånden bliver udsvingene mindre og mindre, fordi noget af energien går til gnidningsarbejde i ophænget og til indre energi i kuglerne.

Sker der ingen ændring i kuglernes fart, har vi:

Bevarelse af E_{kin} :

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v^2$$

som medfører

$$m_1 \cdot v = m_2 \cdot v,$$

der udtrykker, at bevægelsesmængden før stødet er lig bevægelsesmængden efter stødet.

Forsøget kan varieres ved at lade begge kugler starte fra samme højde mod hinanden og ramme hinanden med samme fart, for efter stødet at bevæge sig væk med samme fart og nå den tidligere højde (Fig. 68b).

Bevarelse af E_{kin} :

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot (-v)^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot (-v)^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v^2$$

Bevarelse af bevægelsesmængde:

$$m_1 \cdot v + m_2 \cdot (-v) = m_1 \cdot (-v) + m_2 \cdot v = 0$$

Generelt har vi, at den kinetiske energi og bevægelsesmængden er bevaret ved et elastisk stød. Dette kan udtrykkes således:

$$(48) \quad \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot u_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot u_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2$$

$$(49) \quad m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$$

hvor u_1 og u_2 er hastighederne før stødet og v_1 og v_2 er hastighederne efter stødet.

Af andre eksempler på elastiske stød kan nævnes en bold, der falder ned mod et hårdt underlag og springer op til samme højde. Eller en stålkugle, der falder ned på en glas-klod. I begge eksempler vil massen af underlaget M være så stor i forhold til den fallende genstands masse m , at vi ikke kan iagttage M 's bevægelse efter stødet (Fig. 69).

Bevarelsen af den kinetiske energi giver:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot u^2 + \frac{1}{2} \cdot M \cdot u_m^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot M \cdot v_m^2$$

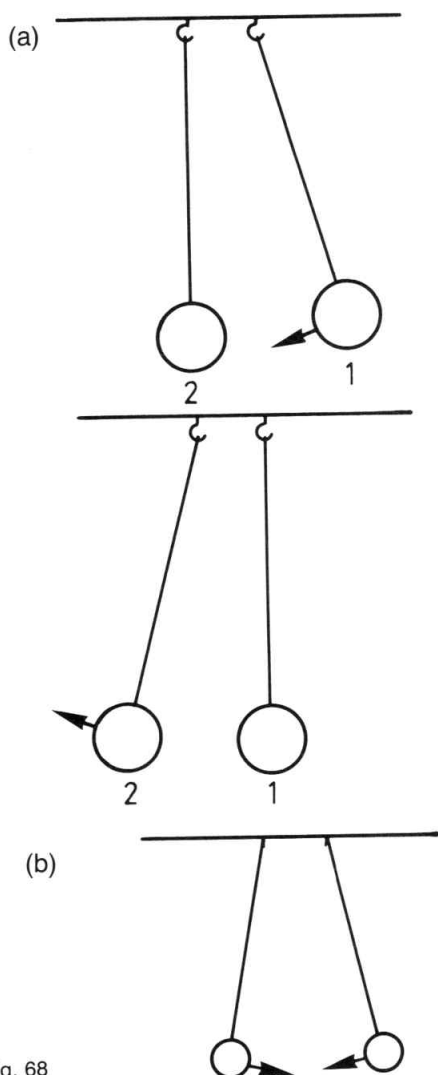
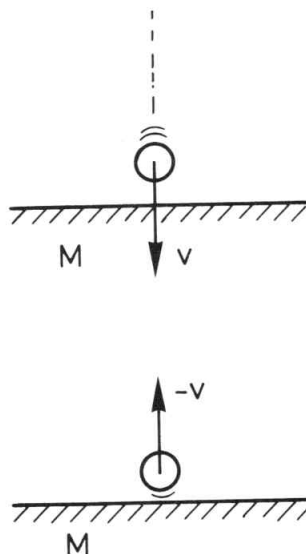


Fig. 68

Fig. 69



men da $u_m = 0$ og $v_m = 0$ i følge forsøget, gælder:

$$\frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} m v^2,$$

hvor den eneste acceptable fysiske løsning er

$$v = -u.$$

Bevarelsen af bevægelsesmængden må dog stadig gælde. Kuglens ændring i bevægelsesmængde er

$$(50) \quad \Delta p = m \cdot (-v) - m \cdot v = -2mv$$

Underlaget må derfor have modtaget bevægelsesmængden $p' = 2mv$

Forsøg 16.

Elastisk stød på luftpudebane.

Luftpudebanen er kendt fra tidligere forsøg. Begge glideere eller vogne forsynes med 10 cm brede kartonstykker. Vognene påsættes fjedre i de ender, der skal støde mod hinanden. I begge ender af luftpudebanen må monteres en eller anden startmekanisme, som kan sende vognene afsted mod hinanden samtidigt.

Vognene vejes, og deres masser m_1 og m_2 noteres.

Fotoenhederne stilles op med ca. 1/3 af banens længde fra hver ende. Impulstælle-

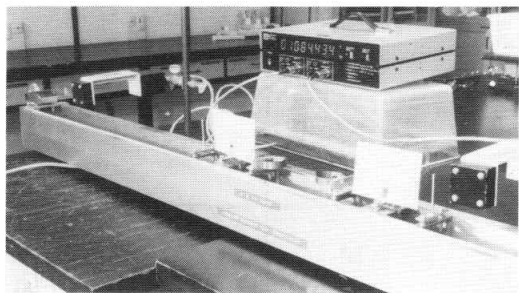


Fig. 70

ren indstilles til passagetidsmålinger. Vi kan nu udføre en række forsøg ved forskellige betingelser.

1. forsøg. Vi tilstræber, at vognene har samme masse. Vogn 2 placeres midt på banen, og tælleren indstilles til 2 passagetider. Ud fra de målte tider og masser beregnes hastigheder, bevægelsesmængde og kinetisk energi før og efter stødet.

2. forsøg. Massen af vogn 2 midt på banen forøges. Tælleren indstilles til 3 passagetider. Som før beregnes hastigheder, bevægelsesmængde og kinetisk energi før og efter stødet.

3. forsøg. De to vogne, der igen har ens masse, sendes mod hinanden. Tælleren indstilles til 4 passagetider. Beregning som ved de foregående forsøg.

4. forsøg. De to vogne med forskellige masser sendes mod hinanden.

Til visse tællere findes der et computerprogram, der opsamler data og udfører beregningerne til hele forsøget.

Som allerede nævnt er eksempler i praksis på elastiske stød vanskelige at finde. Man kan dog tænke på de stød, der sker mellem radiobiler i en forlystelsespark. Radiobiler har en elastisk fjedrende ramme omkring karosseriet, der dels absorberer stødenergien og dels giver nogenlunde elastiske stød.

I. 4 DET UELASTISKE STØD.

Ved det uelastiske stød bliver genstandene deformerede og ofte filtret ind i hinanden, så de efter stødet opfører sig som et legeme.

Det uelastiske stød er karakteristisk ved, at kun bevægelsesmængden er bevaret.

- 1) Ser vi på de to klodser, der støder ind i hinanden, (fig. 71a), har vi, da klods 1 er i hvile før stødet, at bevægelsesmængden før stødet er

$$p(\text{før}) = m_2 \cdot u \quad \text{og}$$

bevægelsesmængden efter stødet

$$p(\text{efter}) = (m_1 + m_2) \cdot v$$

Bevarelsen af bevægelsesmængden giver

$$(m_1 + m_2) \cdot v = m_2 \cdot u$$

og efter stødet er hastigheden

$$v = \frac{m_2 \cdot u}{m_1 + m_2}$$

- 2) Er begge klodser i bevægelse mod hinanden (fig. 71b) gælder:

$$m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 = (m_1 + m_2) \cdot v$$

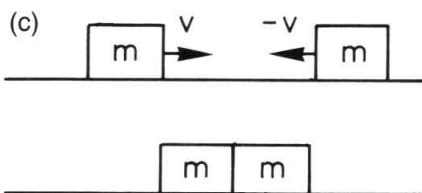
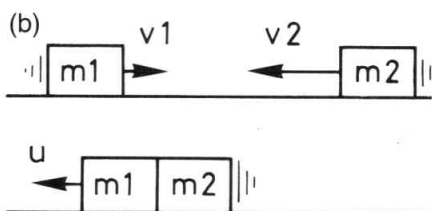
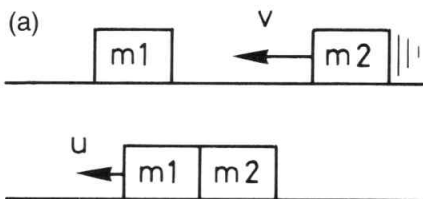


Fig. 71

Bemærk u_1 og u_2 skal regnes med fortegn, og v vil have samme retning som den klods, der har størst bevægelsesmængde.

- 3) Specielt gælder, når $u_1 = -u_2 = u$ og $m_1 = m_2 = m$ (fig. 71c), at

$$p(\text{før}) = m \cdot u + m \cdot (-u) = 0$$

$$\text{og } p(\text{efter}) = 0,$$

d.v.s. klodserne ligger stille efter stødet.

Ved alle bevægelser må vi forestille os, at der ingen gnidning er mellem klodser og underlag.

Ser vi på tabet i kinetisk energi E_{tab} , har vi i første tilfælde:

$$\begin{aligned} E_{\text{tab}} &= \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot u^2 - \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2) \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot u^2}{m_1 + m_2} \end{aligned}$$

I det andet tilfælde er tabet i kinetisk energi

$$E_{\text{tab}} = \frac{1}{2} \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot (u_1 - u_2)^2}{m_1 + m_2}$$

I sidste tilfælde tabes al kinetisk energi.

Forsøg 17.

Uelastisk stød på luftpudebane.

Luftpudebanen stilles op som i forsøget med det elastiske stød. I stedet for fjedre mellem vognene monteres et par »amerikanske lynlåse«, der virker som bindemiddel ved stødet.

1. forsøg. Begge vogne har samme masse, og vogn 2 sættes i hvile midt på banen. Tælleren indstilles til 2 passagetider.

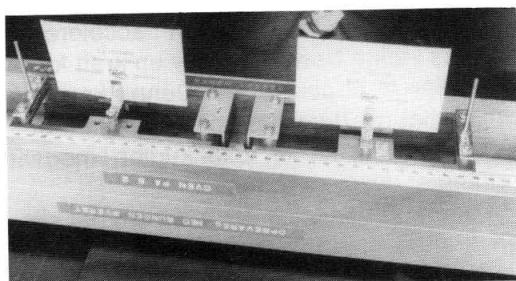


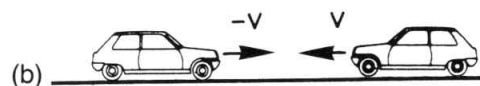
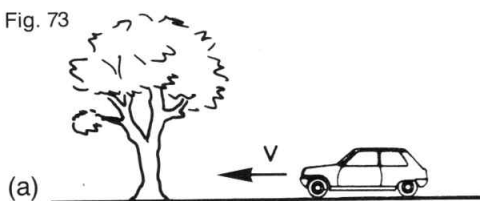
Fig. 72

2. forsøg. Vognene har forskellige masser, og vogn 2 er i hvile midt på banen. Tælleren indstilles til 2 passagetider.

3. forsøg. Vognene sendes mod hinanden med forskellige masser. For at forsøget ikke skal få for stor usikkerhed må summen af bevægelsesmængderne være rimelig stor. Tælleren indstilles til 3 passagetider. Når den første vogn i tilbageløbet har passeret fotoenheden må vognene stoppes, for ikke at forvirre tælleren.

Også til det uelastiske stød findes computerprogrammer, der kan opsamle data og beregne bevægelsesmængde og tab i kinetisk energi.

Fig. 73



Alle sammenstød, der sker i trafikken, er i overvejende grad uelastiske.

Et sammenstød, hvor en bil kører ind i et træ, er et fuldstændigt uelastisk sammen-

stød. Bilen overfører godt nok nogen bevægelsesmængde til træet, men da træet er forankret i jorden, vil massen af træ og jord være uendelig stor og flytte sig uendelig lidt efter stødet. Hele bilens kinetiske energi tages og bliver til deformationsarbejde og indre energi. Bilen bliver simpelt hen forkortet. Ulykkens omfang vil være nøjagtig den samme, som når to biler med samme masse og samme fart støder frontalt sammen.

For bil mod træ:

$$E_{\text{tab}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

For to biler mod hinanden:

$$p(\text{før}) = m \cdot v + m \cdot (-v)$$

$$p(\text{efter}) = 0 \Rightarrow v(\text{efter}) = 0.$$

For hver bil:

$$E_{\text{tab}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Når bilen bremses så brat, betyder det en voldsom negativ acceleration. Forudsætter vi, at den er konstant, og sammentrykningen af bilen er Δs , kan vi benytte (23) med negativ acceleration til at finde accelerationens størrelse:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s,$$

hvor v_0 er farten inden kollisionen, og $v = 0$ efter kollisionen. Heraf bestemmes a

$$a = -\frac{v_0^2}{2 \cdot \Delta s}$$

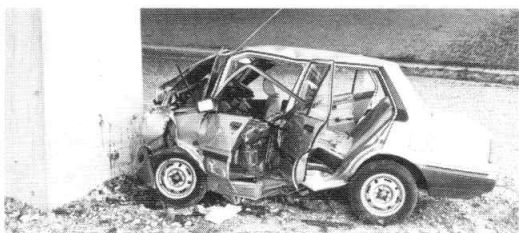


Fig. 74

Eksempel: En bil rammer en mur med farten 20 m/s. Ved kollisionen forkortes bilen 0,7 m.

$$a = -\frac{(20 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 0,7 \text{ m}} = -285,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Dette svarer til 29 gange tyngdeaccelerationen!

I. 5 DE FIKTIVE KRÆFTER DRÆBER.

Vi kender alle til, at når det køretøj, vi er i, pludselig accelererer føler vi en kraft bagud, eller vi mærker en kraft kaste os fremad, hvis køretøjet bremses voldsomt op.

Disse kræfter kalder vi med et dårligt udtryk fiktive kræfter. Det er kræfter, der opstår, fordi vi ikke er i et inertialsystem. Et inertialsystem er et system, hvor Newtons 98981. lov gælder. Newtons 1. lov gælder ikke i et accelereret system, fordi en genstand sættes i bevægelse, selv om den ikke påvirkes af en ydre resulterende kraft.

Lægger vi en kugle på gulvet i en bus, vil den rulle tilbage, når bussen accelererer og rulle frem, når bussen bremses og derved får en negativ acceleration (fig. 75). Så længe bussen udfører en jævn bevægelse, forbliver kuglen i hvile.

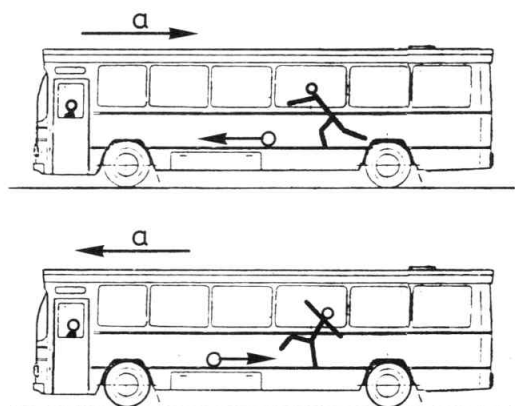


Fig. 75

Situationen er enkelt set ude fra vejen, der med god tilnærmelse kan betragtes som et inertialsystem. Når bussen accelererer, kræves i følge Newtons 2. lov en kraft for at få kuglen til at accelerere. Denne kraft må om muligt overføres ved påvirkning fra gulvet, men sker det ikke, ruller kuglen i modsat retning af accelerationen.

For en person føles det, som om der sker en kraftpåvirkning i bevægelsesretningen ved opbremsning og en kraftpåvirkning bagud, når bussen accelerer fremad.

Størrelsen af den fiktive kraft kan findes ved

$$F_f = -m \cdot a,$$

hvor a er accelerationen og m er massen af den kraftpåvirkede genstand.

Ved den voldsomme acceleration, der forekommer, når et køretøj kolliderer med et andet eller med f.eks. et træ, opstår der store fiktive kræfter, mens opbremsningen sker.

Personerne vil slynges fremad, og fastholdes kroppen f.eks. af en sikkerhedssæle, kan der ske brud på halshvirlerne, når hovedet slynges frem. På de indre organer bliver kræfterne ikke lige store, fordi de ikke har samme densitet (massefylde). Når sikkerhedssælen i en bil griber en person på vej mod forruden under en kollision, vil de organer med størst densitet blive påvirket af en større kraft end dem med mindre densitet. Det er samme princip, der udnyttes i en centrifuge til at skille den lette fløde fra den tunge skummetmælk.

Kraftforskellen kan ved voldsomme kollisioner blive så stor, at f.eks. hjerte og lever river sig løs fra sine hinder og maser sig ind i det lettere lungevæv for at blive læderet mod brystets knogler. En læsion, der er absolut dødelig!

Sikkerhedssæler er således kun effektive til at redde liv, hvis accelerationen under opbremsningen er under en vis grænse. Man mener, at frontale kollisioner, der sker med større begyndelsesfart end 70-80 km/h, altid medfører døden. Derfor er der så få overlevende ved flystyrt; selvom flykabinen er delvist intakt, sidder passagererne døde i deres sæder med sikkerhedssæler på.

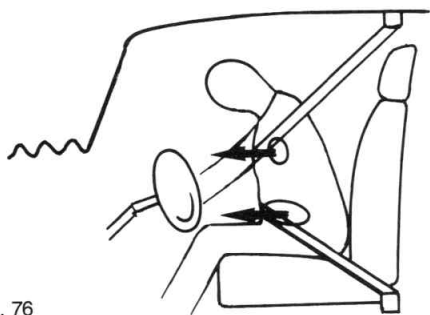


Fig. 76

Ved mindre hastigheder er sikkerhedssælerne et ubetinget gode i biler, fordi de forhindrer passagererne i at blive slynget mod frontruden eller falde ud af en væltende vogn.

I moderne bilkonstruktioner er der gjort meget ud af sikkerheden. Man indbygger kollisionsszoner i karosseriet, der er konstrueret til at krølle sammen på en sådan måde, at den forkortelse, der sker ved kollisionen, bliver så lang som muligt for at nedsætte den negative acceleration. Benzintanken placeres i kollisionssikre områder for at forhindre, at et sammenstød udløser en bilbrand, der kan blive fatal for de kvæstede passagerer.

Efterhånden vinder også blokeringsfrie bremsesystemer frem. Når bremserne blokerer hjulene, så de ikke drejer rundt, skulle man tro, at bremseeffekten blev forøget. Men tværtimod vokser bremselængden, når dækkene gnider mod vejbanen, og samtidig mistes styreevnen.

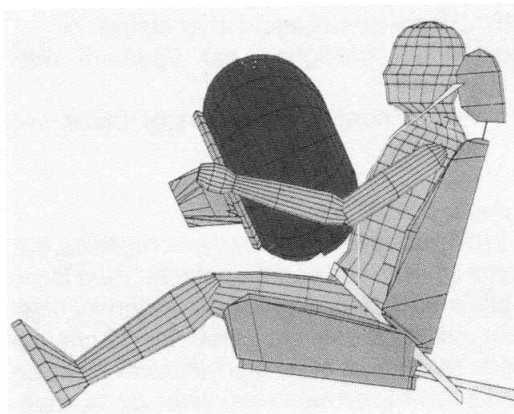


Fig. 77

Nogle mere avancerede konstruktioner arbejder med en oppustelig ballon, »air bag«, der ved kollisionen skydes ind i kabinen for at give føreren en blidere opbremsning. Der forskes også i den mest hensigtsmæssige anbringelse af pedaler, kontakter og kontrolgreb i biler, så reaktionstiden kan nedbringes, og ulykker på den måde forebygges.

Fra lovgivningens side er sikkerhedssæler påbudt og nu også til bagsædepassage-

terne. Styrthjelme er påbudt ved kørsel med alle tohjulede motorkøretøjer o.s.v.

Opgave 49.

Glideren på en luftpudebane har massen 0,32 kg og støder med farten 0,24 m/s elastisk ind i en anden glider, der er i hvile.

Hvilke hastigheder har gliderne efter stødet, når den anden glider har massen 0,54 kg?

Opgave 50.

En lille stålkugle falder fra højden 0,35 m ned mod en glasklods. Kuglen har massen 8 g. Efter stødet når den højden 0,29 m.

- Hvor stort er tabet i kinetisk energi?
- Hvor højt når kuglen efter det næste stød, når tabet i kinetisk energi udgør den samme brøkdel ved hvert stød?

Opgave 51.

En jernbanevogn med massen 31 t og hastigheden 5 km/h støder uelastisk ind i en holdende jernbanevogn, der har massen 19 t. Vognene følges ad efter stødet.

- Hvilken hastighed har vognene efter stødet?
- Hvor meget kinetisk energi tabes ved stødet?

Opgave 52.

En cyklist kørte op i en parkeret bil. Bilen flyttede sig ikke ved sammenstødet, men fik en bule med dybden 5 cm. Cyklens forhjul bøjedes, hvorved dets diameter blev 10 cm kortere. Massen af cykel og cyklist var 75 kg og cyklens fart ved sammenstødet var 14 km/h.

- Hvor stort var tabet i kinetisk energi?
- Hvilken gennemsnitsacceleration har cyklen været udsat for?

Opgave 53.

Ved en bilulykke kørte en vogn op i en holdende bil med samme masse.

Politiet opmålte et bremsespor på 15 m inden sammenstødet, og den anden vogn skubbedes med blokerede bremses 7,5 m, inden begge køretøjer var bragt til standsning. Politiets teknikere vurderede gnidningskoefficienten mellem gummidæk og

vejbane til 0,4 den pågældende dag, og de beregnede den første vogns fart inden opbremsningen.

Hvilket resultat kom de til?

Opgave 54.

Du forestiller dig en elevatorstol, der er lukket og uden vinduer.

I den lukkede elevatorstol får genstande ved et frit fald mod gulvet accelerationen $9,82 \text{ m/s}^2$.

På væggen hænger et pendulur, der går normalt.

Overvej om du er i stand til at afgøre, om:

- Elevatorstolen er ophængt i jordens tyngdefelt.
- Elevatorstolen er et sted ude i verdensrummet langt fra andre legemers påvirkning og trukket opad med en acceleration $a = -9,82 \text{ m/s}^2$.

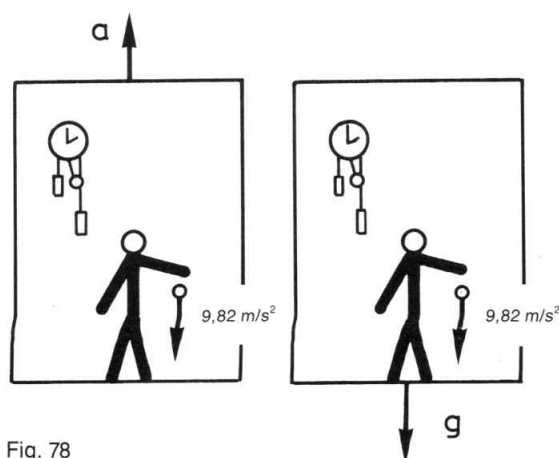


Fig. 78

Opgave 55.

I den propaganda som Rådet for større Færdselssikkerhed driver for at få trafikanterne til at overholde de i færdselsloven fastsatte hastighedsgrænser, bruges sloganet: »FARTEN DRÆBER«

Analysér, om dette udsagn er korrekt i fysisk forstand, og uddyb nærmere den fysiske sammenhæng og baggrund!

FREMTIDENS TRAFIKMIDLER.

Tidligere havde man nok den forestilling, at forbrændingsprodukterne, der bliver lukket ud fra motorerne bare bestod af carbondioxid og vanddamp samt den store mængde nitrogen (kvælstof) ca. 80%, som luften også består af. Alt i alt ret harmløse ting. Men sandheden er noget anderledes: udstødningsgassen indeholder også noget carbonmonoxid (kulilte), rester af kulbrinter og ikke mindst nitrogenoxider, NO_x -gasser af blandet sammensætning.

Dertil kommer, at al benzin fra ca. 1927 til 1985 blev tilsat organiske blyforbindelser, for at forhindre motorbankning, d.v.s. tænding i gasblandingen før stempellet har nået sin topstilling under kompressionen, hvor gnisten kommer fra tændrøret. Noget af blyet i benzinen bliver spredt i naturen, hvor det optages af dyr og planter.

Kvælstofoxiderne er ved nogle udviklede kemiske processer delvis ansvarlige for den luftforurening, som i dag forpester vore storbyer. Kvælstofoxider frembringes ved al forbrænding ved højere temperatur, f.eks. også i oliefyr, naturgasfyr, kraft- og varmegærker. Sammen med andre organiske stoffer, som også kan forekomme i forbrændingsgassen danner de kræftfremkaldende forbindelser.

Man er nu også begyndt at frygte for, at carbondioxiden har alvorlige miljømæssige konsekvenser. Atmosfærens indhold er i de sidste 100 år steget fra 0,025% til 0,035%, og den største stigning er sket siden 1950. Geofysikerne er uenige om konsekvenserne af dette, men en del af dem mener, at stigningen kan fremkalde drivhuseffekten, som giver en stigning i atmosfærens temperatur med øget afsmeltning af polernes iskalotter og dermed forårsage klimaforandringer samt en stigning af vandstanden i verdenshavene.

Globalt står vi måske overfor både en miljøkrise og på længere sigt også en energikrise. Idet man ved udgangen af 1990 skønnede, at størstedelen af vore oliereserver vil være udtømte inden år 2030, og knaphed på kulbrinter og deraf følgende prisstigninger ventes for alvor få år efter årtusindskiftet.

Videnskab, teknologi og samfund må derfor samarbejde om løsningen af disse problemer, og der arbejdes på mange fronter. Biler bliver nu forsynet med katalysatorer, der renser udstødningsgassen for over 90% af de giftige NO_x -gasser. Alle nye biler kører nu på blyfri benzin. Men bilerne må også gøre mere energiøkonomiske, først og fremmest med lavere cw-værdier og bedre motorer.

I storbyerne foreslås den kollektive trafik udbygget, og man påtænker at give el-bilerne en chance, navnlig hvis elektrisk energi kan skaffes ved ikke forurenende processer eller ved alternativ energi som f.eks. fra vindmøller.

I dag spildes der hver eneste dag store energimængder af bilmotorer, der enten kører i tomgang eller i skridtgang i trafikpropene på storbyernes gader og indfaldsveje, og samtidigt forurenes miljøet tilsvarende.

Undergrundsbaner, men også nye konstruktioner som monorails, magnetbaner og hængesbaner, mener nogen vil få væsentlig betydning for fremtidens bytrafik.

Indenfor fjerntrafikken søger man i mange lande at give jernbanerne en renæssance ved at bygge hurtigere og mere komfortable tog i konkurrence med privatbilismen og lufttrafikken. Et eksempel på dette er DSB's nye IC/3 tog, der sammen med Storebæltsbroen skal gøre det attraktivt at benytte jernbanen til persontransport mellem landsdelene.

Emne til diskussion: Hvordan skal fremtidens transport forme sig, og hvordan kan fysik og teknik være med til at udvikle de systemer, som skal dække fremtidens transportbehov.

Læs omstående artikel om elektrificerede motorveje i Los Angelesområdet. Prøv at give en fysisk forklaring på det system, som skal få bilerne til at køre på batterier i bykernerne og på benzin mellem byerne.

Elektriske motorveje skal rense luften over LA

Pilotprojekt med elektrificerede veje og batteridrevne biler skal give næsten ubegrænset kørsel

Af Heinz Andresen

NEW YORK (Børsen) Elektrificerede motorveje og gennemfartsveje skal mindske luftforureningen i Los Angeles-området, som er USA's mest forurenede storby. Den væsentligste forureningskilde er de omkring 7 mio. biler i storby-området, som i myldretiden forvandler byens hovedfærdselsåre, motorvejen 495, til verdens største parkeringsplads.

Allerede sidste år blev der vedtaget en lov, som kræver, at alle biler i Los Angeles - San Diego området senest i år 2007 skal køre på elektricitet eller ikke-forurenende brændstoffer. Løsningen ligger muligvis i elektrificerede motorveje og el-drevne biler.

Interessen for el-drevne biler har hidtil været begrænset, fordi de med den nuværende batteriteknologi højst kan køre omkring 150 kilometer, inden batteriet skal genoplades. Electricitets-selskabet Southern California Edison

Company og Los Angeles vand- og energiforsyning har startet et pilotprojekt med elektrificerede motorveje og batteridrevne biler, som stort set tillader ubegrænset kørsel.

Kabler i vejen

Ideen går ud på, at der lægges isolerede el-kabler af aluminium i overfladen af asfalten eller betonen, som vil skabe et stort magnetisk felt på vejens overflade. Når bilerne kører på disse veje vil de gennem en metalplade, som hænger halvdelen til tre tommer over vejoverfladen, kunne omdanne den magnetiske kraft til elektricitet.

Bilerne vil samtidig under kørslen på de elektrificerede veje oplade deres batterier, så de uden besvær kan køre på de vejstrækninger, som ikke er forsynet med kabler. Ekspertene anser det ligeledes for en naturlig udvikling, at både garager og parkeringspladser bliver forsynet med el-stik, så batterierne kan oplades og give næsten en lige så ubesværet kørsel som benzin-drevne biler.

De el-drevne biler kom-

mer ikke til at adskille sig fra de gængse biler, og de elektrificerede motorveje kan også benyttes af biler, der benytter benzin og andre brændstoffer. I første omgang vil man bygge en prøvestrækning på godt 300 meter, hvor man vil afprøve processen med mag-

netisk induktion. Og falder forsøget heldigt ud, vil man elektrificere godt 3 kilometer vejstrækning.

Planerne

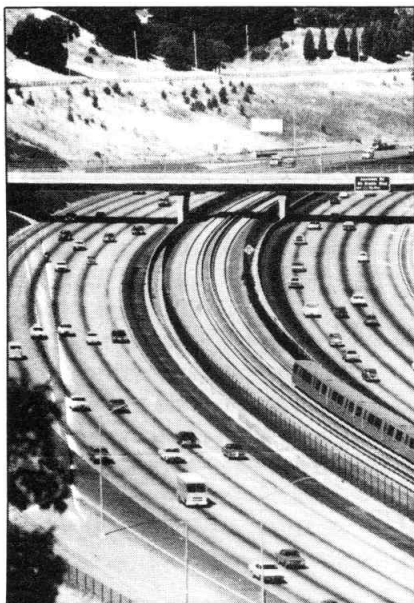
Ekspertene er overbeviste om, at teknikken kommer til at fungere, men forsøgene skal bl.a. afsløre, om sådanne magnetiske og elektriske felter kan have en negativ effekt på helbredet.

Planerne går ud på, at man kun elektrificerer motorvejene, som udgør 3 pct. af det samlede vejnet, samt hovedfærdselsårene. I Los Angeles omfatter godt halvdelen af alle bilkørsler en motorvejsstrækning, og i gennemsnit kører bilisterne kun 3 kilometer, inden de kommer ud på en motorvej, og denne afstand kan uden problemer klares med batterier.

Ifølge Con Edison vil det koste 18 mia. dollar at elektrificere de 1700 miles motorveje med ialt 12.000 mi-

les vejbaner i Los Angeles - San Diego området. Det vil koste ca. 200 dollar. pr. bil om året at lægge kabler i hele motorvejs-nettet, men samtidig er der pege at spare, fordi el-kraft bliver billigere, og der er samtidig udsigt til færre udgifter til bilreparationer mv.

Da bilerne under kørsel på de elektrificerede motorveje skal have en metalplade hængende 1,5-3,0 tommer over vejens overflade, forudsætter det fuldstændig jævne veje, som er fri for huller mv. Men det volder næppe det store problem i Californien, hvor vejene ikke er udsat for frostska-



I myldretiden forvandles Los Angeles' hovedfærdselsåre, motorvejen 495, til verdens største parkeringsplads. Storby-området, der belastes med mere end 7 millioner biler dagligt, hører til et af USA's mest forurenede.

STØRRE OPGAVER

På de flg. sider bringes data for 4 forskellige trafikmidler. Disse trafikmidlers specifikationer skal undersøges og sammenlignes på forskellige måder.

Først nogle indledende oplysninger og data:

Effektiv brændværdi for benzin: 30,8 MJ/L
og for dieselolie: 36,4 MJ/L.

De opgivne max. effekter svarer til køretøjets tophastighed på plan vej i vindstille vejr.

Luftmodstand og rullemodstand antages at være de eneste kræfter, der modvirker bevægelsen.

De 4 transportmidler er:

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1) En knallert | nypris ca. 7.000 kr. |
| 2) 1 persons Mini-el | do. 34.000 kr. |
| 3) 4 personers bil | do. 105.000 kr. |
| 4) IC/3 tog | do. 16 mill. kr. |

a) Undersøg for de benzindrevne køretøjer om slagvolumen stemmer overens med de andre oplysninger.

b) Beregn for alle eksempler max. effekt pr. kg egenvægt. Denne størrelse siger noget om energioverskud til at klare accelerationer og stigninger.

Hvilken sammenhæng er der mellem denne størrelse og anskaffelsespris for de individuelle transportmidler?

c) Beregn for de benzindrevne køretøjer max. effekt pr. cm^3 slagvolumen.

Denne størrelse oplyser om, hvor hårdt presset motoren er, og dermed også om slitagen på motoren og dens levetid.

d) Beregn aktionsradius, d.v.s. max. km-antal, køretøjet kan nå på en fuld tank, for de transportmidler, hvor tankkapaciteten er opgivet.

e) Beregn tophastighed og aktionsradius for Mini-el, idet vi gør flg. antagelser:

- 1) Mini-el kører med sin totalvægt på plan asfalteret vej i vindstille vejr.
- 2) Motorens effekt ved normal drift overholdes og er den overførte effekt til køretøjet.
- 3) El-motorens nyttevirkning sættes til 85%.
- 4) Batteriernes totale mængde elektrisk energi findes ud fra antallet af ampere-timer (Ah) og driftsspændingen.
Tag evt. skolens computer til hjælp

f) Beregn den størst mulige nyttevirkning af de forskellige forbrændingsmotorer. I nogle tilfælde kan det blive nødvendigt at beregne manglende specifikationer ad omveje, f.eks. frontareal, c_w og effekt ved mest økonomisk kørsel; jvf. iøvrigt bogens eksempler og computersimulationer.

Hvilke af de anførte eksempler på transportmidler har størst nyttevirkning?

g) Kørselsøkonomi.

- a) Beregn anskaffelsespris pr. siddeplads.
- b) Beregn prisen for energi til en person-kilometer, d.v.s. en person transporteret 1 km. Find selv de aktuelle dagspriser på de forskellige energiformer.

Eksempel 1

TEKNISKE DATA		Maxi-P	Maxi-K	Maxi-KL	Maxi-2
Motor	Puch 2-takts, fartvindkolet	x	x	x	x
Smøring	1:25 = 4% eller 1:50 = 2% ved anvendelse af specialolie	x	x	x	x
Blyfri benzin kan anvendes .....	.....	x	x	x	x
Nåleleje ved stempelsvind .....	.....	x	x	x	x
Cylinder	Aluminium, hårdforkromet	x	x	x	x
Cylinderdiameter	38 mm	x	x	x	x
Slaglængde	43 mm	x	x	x	x
Cylindervolumen	48,8 cm ³	x	x	x	x
Karburator	12 mm Ø	x	x	x	x
Gearkasse	1-gears automatik	x	x	x	-
.....	2-gears håndgear	-	-	-	x
KRAFTOVERFØRING					
Motor/gearkasse	Skråtskærne præcisionstandhjul	x	x	x	x
Kobling	Centrifugal i oliebad	x	x	x	-
.....	Flerplade i oliebad	-	-	-	x
Gearkasse/baghjul	Kæde	x	x	x	x
HJUL					
Dækstørrelse for/bag	21"x2,25	-	-	x	x
.....	21"x2,00/21"x2,25	x	x	-	-
Bremser for/bag	Fuldnabsbremser 80/80 mm Ø	x	x	x	-
.....	80/100 mm Ø	-	-	-	x
Bremsebetjening for/bag	Hånd/hånd	x	x	x	-
.....	Hånd/fod	-	-	-	x
STEL	Pladestel	x	x	x	x
BENZINTANK	Kapacitet 3,2 l, heraf 0,35 l reserve	x	x	x	-
ELEKTRISK ANLÆG					
.....	6 V/17 W	x	x	x	-
.....	6 V/23 W	-	-	-	-
EFFEKT OG FORBRUG					
.....	Motoreffekt ifølge loven 1,2 HK (0,9 kW)	x	x	x	-
.....	Hastighed ifølge loven 30 km/t	x	x	x	-
.....	Forbrug ca. 2,2 l/100 km	x	x	x	-
MÅL OG VÆGT		mm	mm	mm	mm
Højde .....	.....	1000	1000	1000	1000
Største bredde ca. ....	.....	610	610	610	0
Største længde ca. ....	.....	1700	1700	1690	0
Hjulafstand .....	.....	1120	1120	1090	0
		kg	kg	kg	kg
Egenvægt ca. ....	.....	41	41	45	45
Køreklar ca. ....	.....	44	44	48	4
Tilladelig bruttobelastning .....	.....	130	130	130	130
SERIEMÆSSIGT Udstyr					
Nærlys .....	.....	x	x	-	-
Nær- og fjernlys .....	.....	-	-	-	-
Speedometer .....	.....	-	-	x	-
Bagagebærer .....	.....	x	x	x	-
Midterstativ .....	.....	x	x	x	-
Værktøjssæt .....	.....	x	x	-	-
Styrlås .....	.....	x	x	-	-
Styrhjelmål .....	.....	x	x	-	-
Stanglås - lovbehold .....	.....	x	x	-	-
EKSTRA TILBEHØR					
Speedometer .....	.....	x	x	-	-
Sidetasker .....	.....	x	x	-	-
Sidespejl .....	.....	x	x	-	-
Benskjold .....	.....	x	x	-	-
Sidestøtteben .....	.....	x	x	-	-
Trådkurv .....	.....	x	x	-	-
NB! Prisen på PUCH modeller er inkl. seriemæssigt udstyr, og der er en model til ethvert behov. Med hver PUCH knallert følger udførlig instruktionsbog.					
Konstruktions- og udførselsændringer forbeholdes for alle modeller.					

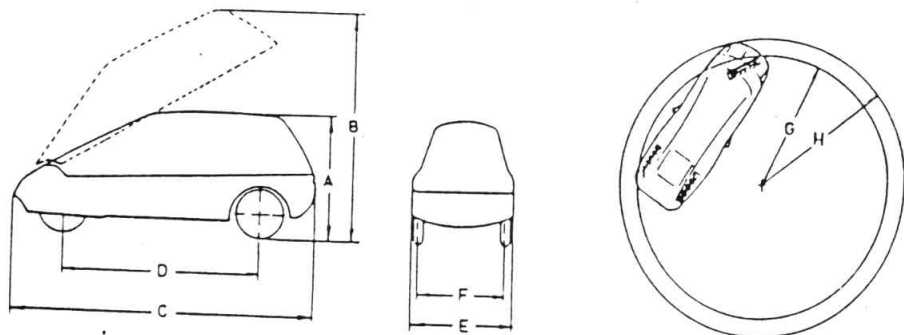
Eksempel 2

GENERELLE KRAV

mini-el skal indregistreres som "tre-hjulet motorcykel", og føreren skal have kørekort (til alm.bil/motorcykel/motorcykel med sidevogn). Der skal tegnes lovpligtig ansvarsforsikring.

SPECIFIKATIONER - MÅL & VÆGT

Egenvægt *).....	285 kg.	Frontareal	0.99 m ²
Nyttelast	115 kg.	Cw (luftmodstandstal).	0.32
Max. totalvægt ..	400 kg.	*) Inkl. ca. 95 kg	batterier.



A (Højde, cockpit lukket)	1220 mm	F (Sporvidde)	930 mm
B (Højde, cockpit åbent).	2200 mm	G (Venderadius - yderste dækkant).....	3930 mm
C (Total længde).....	2730 mm	H (Venderadius - yderste karrossedel)...	4330 mm
D (Akselafstand)	1810 mm		
E (Største bredde).....	1060 mm		

ELEKTRISK Udstyr

Batterier:

3 stk. 12 Volt/90Ah(C5) special-batterier. Driftsspænding 36 Volt. Anvendes andre end de af El-Trans A/S specificerede batterier, er der fare for eksplosion.

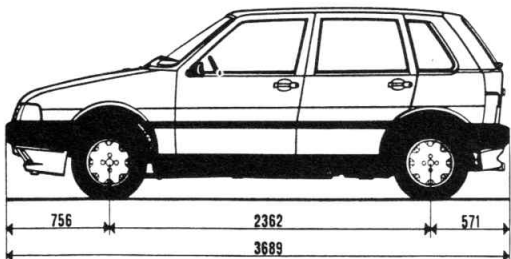
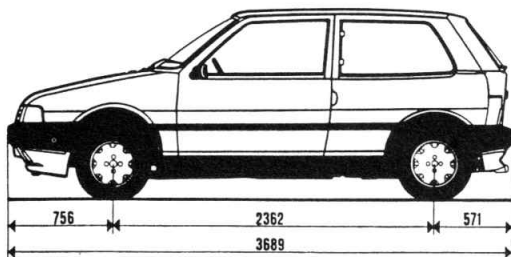
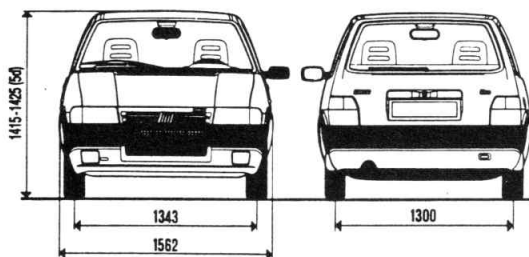
Motor:

Permanent magnet type, 880 Watt(1,2 HK) under normal drift og op til 3250 Watt (4,4 HK) ved start og acceleration. Sikret mod overbelastning gennem termorelæ med automatisk genindkobling. Bliver køremodstanden uønsket stor, f.eks. ved kørsel med for lavt dæktryk, langvarig kørsel i tung sne eller ved stigninger på grænsen af ydeevnen, vil dette blive indikeret på instrumentpanelet i god tid og føreren advaret om, at hvis tilstanden fortsætter, vil motoren koble ud.

Køretøjets hastighed reguleres med speederen, der via et hydraulisk/elektrisk system styrer strømmen til motoren. Ved normal kørehastighed er systemet principielt tabsfrit.

Motorens omløbsretning og dermed køreretningen frem/bak styres af en vælger i højre sidepanel. Vælgeren har tre stillinger: FREM - NEUTRAL - BAK og er elektronisk sikret mod fejlbetjening.

Tekniske specifikationer, udstyr og ekstraudstyr



Tekniske specifikationer

Uno Fire 45/S

MOTOR

Antal cylindre, placering	
Boring x slaglængde (mm)	70 x 64,9
Cylindervolumen (cm³)	999
Kompressionsforhold	9,5:1
Max. ydelse HK (DIN)/omdr. i min.	45/5000
Max. drejningsmoment Kg/m/omdr. i min.	8/2750
Ventilstyring	Overliggende knastaksel
Brændstofførsel	1 enkelt-karburator

Tænding

Elektronisk med induktiv afladning (breakerless)

TRANSMISSION

Kobling	Tør
Antal gear	4/5
Udvekslingsforhold i gear: 1.	3,909:1
2.	2,056:1
3.	1,344:1
4.	0,978:1
5.	~0,780:1
Bak	3,727:1
Akseludveksling	3,733:1

STYRETØJ

Type
Vendediameter (m)

BREMSE S (skiver) T (tromler)

Hydraulisk tokredssystem med bremseforstærker	Forhjul: Ø mm	S-227
	Baghjul: Ø mm	T-185

AFJEDRING

Forhjulsophæng

Baghjulsophæng

DIMENSIONER EGENVÆGT 725 kg

Akselafstand (mm)	
Sporvidde for/bag (mm)	1343/1300
Længde (m)	
Bredde (m)	1,56
Højde (m)	1,41

Bagagerumskapacitet uden/med nedfældet bagsæde (L)

EL-SYSTEM

Spænding, volt	
Batterikapacitet (Ah)	32
Største konstante ladestrøm, ampere	45

HJUL

Dæk	135 R13 S
-----	-----------

TANKKAPACITET

Brændstofftankens kapacitet (L)	42
---------------------------------	----

PRÆSTATIONER

Tophastighed km/t	145
Acceleration (s):	
0-100 km/t	17,0
0-1000 meter	37,8

BRÆNDSTOFØKONOMI (L/100 km)

	(IV)	(V)
Ved 90 km/t	4,6	4,3
Ved 120 km/t	6,0	5,6
Ved bykørsel	6,1	6,4

CW

0,30

Eksempel 4.

IC/3 TOG

Specifikationer:

Antal siddepladser: 140

Længde: 58,8 m for 3 vogne.

Egenvægt: 90 t

Nyttelast: 20 t

Motortype: 8 cyl. diesel.

Motorer: 2x2 dieselmotorer.

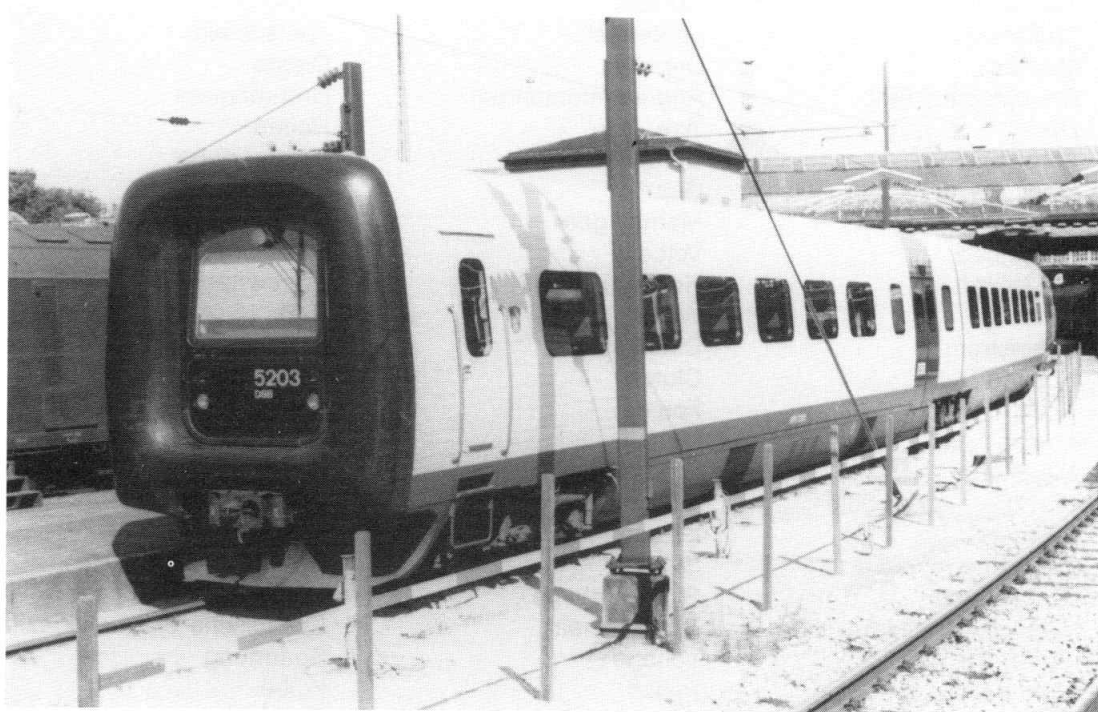
Samlet motorydelse: 1600 HK

Tophastighed: 200 km/h

Acceleration: 0 - 120 km/h på 120 s.

Brændstof: Dieselolie.

Brændstofforbrug: 1 km/L



Lille ordliste over fysisk/tekniske udtryk på engelsk og tysk.

DANSK	ENGELSK	TYSK
Acceleration	Acceleration	Beschleunigung, Verzögerung
Arbejde	Work	Arbeit
Benzin	Gas, petrol	Kraftstoff
Benzinmotor	Gasolin engine	Ottomotor
Bevægelse	Movement	Bewegung
Bevægelsesmængde	Momentum	Impuls
Blyfri	Unleaded	Bleifrei
Boring	Bore	Bohrung
Bremse	Brake	Bremse
Cylinder	Cylinder	Zylinder
Effekt	Power	Leistung
Energi	Energy	Energie
- kinetisk	- kinetic	- kinetische
- potentiel	- potential	- potentielle
Densitet	Density	Dichte
Drejningsmoment	Angular momentum	Drehmoment
Dæk	Tyre	Reifen
Forbrænding	Combustion	Verbrennung
Gear	Gear	Getriebe
- manuelt	Manual gear	Schaltgetriebe
Hastighed	Velocity	Geschwindigkeit
Hestekraft HK	Horsepower HP	Pferdestärke PS
Hjul	Wheel	Rad
Jævnstrøm	Direct current	Gleichstrom
Kobling	Clutch	Kupplung
Kraft	Force	Kraft
Masse	Mass	Massen
Modstand	Resistance	Widerstand
Kompressionsforhold	Compression ratio	Verdichtungsverhältnis
Længde	Length	Lange
Slaglængde	Stroke	Hub
Slagvolumen	Stroke volume	Hubraum
Specifik varmekapacitet	Specific heat	Spezifische Wärmekapazität
Spænding	Voltage	Spannung
Stempel	Piston	Kolbe
Strøm	Current	Strom
Støddæmper	Shock absorber	Schwingungsdämpfer
Svingning	Oscillation	Schwingung
Totalvægt	Total weight	Gesamtgewicht
Tryk	Pressure	Druck
Uelastisk stød	Unelastic impact	Unelastischer Stoss
Varme	Heat	Varme
Vekselstrøm	Alternating current	Wechselstrom
Ventil	Valve	Ventil

STIKORDSREGISTER

Acceleration 19, 20, 24, 25 og 42

Aerodynamisk 31

Affjedring 40

Amplitude 43

Arbejde 14

Aperiodisk dæmpning 45

Automobiler 30

Automobilindustri 31

Begyndelseshastighed 21, 23

Benz, K 30

Benzinkanon 33

Benzinmotor 32

Bevægelse 5, 11 og 20

Bevægelsesenergi 15

Bevægelsesligning 39

Bevægelsesmængde 48

Bladfjedre 40

Bly, blyforurening 55

Bremselængde 17

Bogie 40

Boring 32, 34

Carbondioxid 33, 55

Carbonmonoxid 55

Chaplin 31

Chassisramme 30

Cylinder 32, 33, 34

c_w 37, 39

Indsugningstakt 32

Daimler, G 30

Dejbjergvognen 7

Delamare-Deboutteville 30

Densitet 37

Differentialkvotient 20

Differentiation 21

Drivhuseffekt 55

Dunlop, J.B. 7, 30

DYMOS 22

Dynamometer 5

Dæmpede svingninger 45

Effekt 17, 36, 39

Elastisk stød 48

Ellert 59

Energi 14

- , kinetisk 15

- , potentiel 28

- , svingnings 44

Energisætningen 15

Faldforsøg 20, 37

Faldskærmsudspring 37

Fart 11

Fartskriver 24

Fiktive kræfter 52

Firetaktsmotor 32

Fjederkonstant 41

Forbrændingsprodukter 32, 55

Ford, Henry 31

Friktion 5, 7, 14, 15

Frit fald 37

Gasblanding 33

Gnidning 5

Gnidningskoefficient 5

Gnidningskræfter,

gnidningsmodstand 5, 15, 37

Hammelvognen 30

Harmonisk bevægelse 43

Hastighed 11

Hestekraft 17

Hjul 7

Hookes lov 41

Hooke, R 41

Impuls 48

Inertiens lov 13, 52

Inertialsystem 52

Jernbaner 9

Johansen, U 30

J (joule) 15

Kelvingrader, K 33
Kilometertæller 5
Knallert 32, 57, 58
Kompression 32
Kraft 5, 14, 25
Kraftmåler 5
Krumtap 32
Krumtapaksel 32
Kræfternes parallelogram 27
Kvælstofoxider 55
Køreplan 13

Leonardo da Vinci 7
LOOP 22
Luftarternes tilstandsligning 34
Luftforurening 55
Luftmodstand 37
Luftpudebane 11, 19, 25, 49, 51

Mac Adams 9
Macadamisering 9
Malandin 30
Marcus, S 30
Masse 5, 15, 25, 26
Massemidtpunkt 27, 31
Matematisk behandling af
bevægelse 20
Mercedes 30
Middelhastighed 20
Moderne tider 31
Motorveje 9, 29
Motorydelse 36

N (newton) 5, 26
Newton, Isaac 13
Newtons 1. lov 13
Newtons 2. lov 26
Newtons 3. lov 5, 41
Normalkraft 5

Opbremsning 15

Plejlstang 32
Potentiel energi 27, 28

Regneark 22, 36, 38, 39, 42, 45
Resulterende kraft 25

Rullemodstand 6, 8, 15, 39
Rullen 6

Samlebånd 31
Selvbærende karosseri 31
Sikkerhedsseler 53
Skylletakt 33
Slaglængde 32, 34
Slagvolumen 32, 34
Solvognen 7
Speedometer 11, 19
Standselængde 18
Stevenson, R.L 10
Stigning 27
Stivhed 41
Stødet 48
Støddæmpere 40, 46
Svingning 43
Svingningstid 43

Termodynamikkens 1. hovedsætning 16
Tilstandsligningen 34
The Rockett 10
Topstykke 32
Totaktsmotor 32
Trafikulykker 47
Tryk 34, 35
t.s-graf 11, 20
t.v-graf 21
Tyngdeacceleration 20
Tyngdekraft 5, 15, 27
Tyngdepunkt 31
Tænding 32
Tænderør 32, 34

Udstødning 32
Uelastisk stød 50

Varme, varmeenergi 15, 16
Varmekraftmaskine 32
Veje 8
Vejlængder 11, 22
Via Appia 8
Volkswagen VW 31
Watt, James 17
W (watt) 17

LITTERATURHENVISNINGER

Niels Andersen: Cykelfysik
F & K forlaget 1983

Robert Bosch: Kraftfahrtechnische
Taschenbuch
VDI - Verlag GMBH 20. Auflage
Dusseldorf 1987.

Bil og Motor
Politikens Håndbøger.
Politikens Forlag 1960

Dansk Kørelærer-Union:
Kørelærernes teoribog for store biler og
vogntog. 12. udg. 1988

Niels Gabe: Kulturhistorien på tværs.
Politikens forlag 1974

Komma's bog om opfindelser
Forlaget Komma København 1986

Henry Nielsen: Fysikken og den indu-
strielle Revolution
Forlaget How Århus 1987

Keld Nielsen, Henry Nielsen og
Hans Siggaard Jensen:
Skruen uden ende.
Teknisk Forlag 1990.

Opfindelsernes bog I - IV 4. udg.
Gyldendal København 1922 - 1926

Egon Schmidt: Fra Heron til Daimler.
Gyldendal 1966

