

EVU kurs "Arbeidsvarsling – kurs for kursholdere"
Oslo uke 37/2008

Trafikk og fysikk

- lover og sammenhenger for bevegelse og energi



Arvid Aakre

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

arvid.aakre@ntnu.no

Hvorfor trenger vi kunnskap om fysikk?

Formålet med arbeidsvarsling er:

- Sikre arbeidere og trafikanter
- Avvikle trafikken med minst mulig forsinkelse og ulempe for trafikantene
- Muliggjøre sikker, effektiv og økonomisk drift og gjennomføring av vegarbeidet

Både varsling og sikring krever at vi har forståelse for:

- Fysiske lover
- Bevegelseslære
- Energibetraktninger
- Materialelegenskaper

Eksempler på fysikk innen arbeidsvarsling

- Vurdere avstander fra varsling til arbeidssted
- Vurdere bakgrunn for sikring av arbeidssted
- Vurdere fart, tid, avstander og akselerasjon
- Vurdere belastninger, krefter og energi
- Deformasjonssoner, sikkerhetssoner osv
- Effekt av vekt, fart og friksjonsforhold

Begrep og sammenhenger

Vi skal definere en del begrep og se på sentrale sammenhenger:

- Veg, tid og fart
- Akselerasjon og retardasjon
- Friksjon (på langs og tvers)
- Brems- og stopplengder
- Energibetraktninger

- Litt om effekt, stigning, luft og rullemotstand

- Vi kommer ikke inn materialegenskaper og dimensjonering

Eksempel fra Dagbladet 30.01.2008

- BMW M5, 507 HK
- 18 åring i Florida testet bilen på 2.3 km lang flystripe
- Klarte ikke å stoppe i enden av flystripa og fløy/hoppet 60 meter gjennom luften
- Alle 5 ungdommene døde
- Bilen har toppfart på 330 km/t, men den hadde visstnok elektronisk hastighetsbegrensning på 250 km/t...

BMW-en lettet fra flystripe ved Travoltas hus.



RALF LOFSTAD
rlo@dagbladet.no

(162) | Tips venn: Del

(Dagbladet.no): - Når jeg trækker pedalen i bånd i 225 km/t og girer opp, kommer det bankelyder, skrev 18 år gamle Joshua Ammarito på et [nettforum for eiere av BMW M5](#) på fredag. 18-åringen fra Ocala i Florida ville vite hvordan han kunne få bilen med 500 hestekrefter til å gå forrest mulig.

Noen timer seinere tok Joshua og fire venner bokstavelig talt av fra flystripa på [Greystone flyplass](#) og fløy 60 meter gjennom luften før bilen traff et tre fem meter over bakken og ble delt i to. Alle de fem unge mennene omkom momentant, [skriver Ocala.com](#).

Travoltas bosted

Det var natt til lørdag lokal tid i Florida at Joshua og vennene snek seg inn på den private flystripa med farens BMW. Greystone er kjent fordi John Travolta bor på flyplassen og bruker den



DELT I TO: BMW M5-en ble delt i to i sammenstøtet med treet, og alle de fem i bilen omkom momentant. Foto: JANNET WALSH/THE STAR-BANNER/AP/SCANPIX



Fart, veg og tid

- Fart (v) i meter/sekund
- Veg (s) i meter
- Tid (t) i sekunder

- Husk å bruke enheter som passer sammen
- Enhetene bør også brukes til å huske og forstå formlene

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

$$s = v * t$$

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

Akselerasjon og retardasjon

- Benytter vanligvis akselerasjon som fellesbegrep
- Retardasjon er negativ akselerasjon
- Akselerasjon er fartsendring (m/s) pr tidsenhet (sekund)
- Benevning blir da m/s²
- Dersom farten endres fra v1 til v2 i løpet av tiden t, så får vi:

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

Akselerasjon, fart, veg og tid

- Antar konstant akselerasjon over tid, $a(t) = a$
- Endrer fart fra v_1 til v_2 i løpet av tid t
- Vi kan da finne formel for hvor langt du har kjørt på denne tiden
- Legg merke til at formlene blir enklere om v_1 eller v_2 er lik null

$$s = \frac{v_1 + v_2}{2} * t$$

$$s = v_1 * t + \frac{1}{2} * a * t^2$$

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

Akselerasjon, fart, veg og tid

- Formlene vi har vist så langt inneholder tiden t
- Ofte er det mer hensiktsmessig å uttrykke sammenhengen mellom avstand, fart og akselerasjon uten å benytte tiden t:

$$s = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} \quad s = \frac{v_1 + v_2}{2} * t$$

Eksempler / regneoppgaver

- En bil kjører i 10 m/s (36 km/t) og øker farten til 20 m/s (72 km/t) i løpet av 5 sekunder. Beregn akselerasjon og avstand.
- En bil kjører i 25 m/s (90 km/t) og bremses med en effektiv retardasjon på 5 m/s². Beregn bremselengde og tid.
- En bil bremses med en effektiv retardasjon på 8 m/s² (meget kraftig oppbremsing på tørt sommerføre).
Beregn
 - avstand for å redusere farten fra 20 m/s til 10 m/s
 - avstand for å redusere farten fra 10 m/s til 0

Friksjon

- Friksjonen sier noe om veggrepet
- Maksimalt veggrep gir en øvre grense for retardasjon, men det er ikke uten videre sikkert vi utnytter hele veggrepet
- Vi skiller mellom utnyttelse av friksjon på tvers (kjøring i kurve) og på langs (bremsing)
- Dersom vi bruker noe av veggrepet på tvers så blir det mindre igjen å bruke på langs og omvendt (jfr friksjonssirkel/ellipse)

Friksjon på ulike underlag

- Friksjon er avhengig av en rekke forhold, men ofte forenkler vi til å se på vegens overflate
- Friksjonen uttrykkes som regel med friksjonskoeffisienten

Vegoverflate	Typisk friksjonskoeffisient (my) (NB! stor variasjon)
Tørr asfalt	0.8
Våt asfalt	0.6
Snø	0.4
Våt is	0.2

Friksjon er også avhengig av

- Føreforhold og vegbane
- Bildekket
- Fart
- Hjulets slipp
- Type kjøretøy
- Vekt og vektfordeling

Friksjon, stigning og retardasjon

- På flat veg kan vi maksimalt utnytte en retardasjon tilsvarende

$$a = (my \pm st) * g$$

- Der my er friksjonskoeffisienten, st er stigning i % og g er tyngdeakselerasjonen lik 10 m/s^2
- Nedoverbakke = negativ stigning (mindre retardasjon)
- Oppoverbakke = positiv stigning (større retardasjon)
- a i formelen over bør vel egentlig ha et negativt fortegn (eller evt bytte ut a med r , det er jo en retardasjon)

Reaksjons- bremse og stopplengde

- o Stopplengde = Reaksjonslengde + Bremselengde

$$sl = rl + bl$$

- o Med "reaksjonslengde" for står vi den avstanden du kjører i løpet av reaksjonstiden (rt) (kan også innbefatte "uoppmerksomhetstid")

$$rl = v * rt$$

- o Bremselengde (fra fart v til stillstand)

$$bl = \frac{v^2}{2a}$$

$$a = (my \pm st) * g$$

Veggrep og hastighet ved kjøring i kurve

- Sideakselerasjon med hastighet v og radius r

$$a = \frac{v^2}{r}$$

- Denne sideakselerasjon må ikke bli større enn

$$(my + e) * g$$

- Det vil si at hastigheten må være mindre enn

$$v_{\max} = \sqrt{g * (my + e) * r}$$

- der e er lik overhøyde i % og g er tyngdeakselerasjon (10 m/s^2)

Eksempler / regneoppgaver

- I håndbok 051 tabell 2 side 41 står det at stoppsikt ved 50 km/t er satt til 50 meter. Vurder hvilke parametre som kan ligge til grunn for dette (reaksjonstid og retardasjon).
- I samme tabell står det at 1.5* stoppsikt ved 100 km/t er 270 meter. Hvordan stemmer dette med verdien for 50 km/t?
- Beregn bremselengde for godt sommerføre ($\mu_y=0.8$) ved fart 90 km/t. Hvor fort kunne du ha kjørt på dårlig vinterføre ($\mu_y=0.2$) for å stoppe med samme bremselengde?
Hva blir effekten av en nedoverbakke på 10%?
- Hvor fort kan du teoretisk kjøre i en kurve med radius 150 meter på snøføre ($\mu_y=0.40$)?

Kraft, arbeid, energi og effekt

- Kraft = masse * akselerasjon
Regnes i Newton
("10 N = 1 kg")

$$F = m * a$$

- Arbeid = Kraft * veg
Regnes i Nm = Joule (J)

$$W = F * s$$

- Energi er evnen til å utføre arbeid
Regnes i Nm = Joule (J)

$$E$$

- Effekt er energi pr tidsenhet
Regnes i Watt (W) som er J/s
100HK = 74 kW
100 kW = 136HK

$$P = E / t$$

Ulike former for energi

- Bevegelsesenergi
(kinetisk energi)

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2$$

- Stillingsenergi
(potensiell energi)

$$E = m * g * h$$

- Varmeenergi
- Elektrisk energi
- Kjemisk energi
- OSV

Bevegelsesenergi

- Proporsjonal med massen
- Proporsjonal med kvadratet av hastigheten
- Masse i kg og hastighet i m/s gir energi i Joule (Nm)

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2$$

Eksempler / regneoppgaver

Vi ser nå på en personbil på 1000 kg og et vogntog på 40 tonn:

- Beregn bevegelsesenergi for personbilen med fart 20 m/s (72 km/t).
- Hvilken hastighet vil denne bevegelsesenergien tilsvare for lastebilen?
- Beregn bevegelsesenergi for lastebilen med hastighet 20 m/s.
- Hvilken hastighet vil denne bevegelsesenergien (teoretisk) tilsvare for personbilen?

Bevegelsesenergi og bremsearbeid

- Ved bremsing kan vi forenklet anta at
Utført bremsearbeid = Endring i bevegelsesenergi
- Vi får da en alternativ metode for å beregne bremselengde:

$$\text{bremselengde} = \frac{\text{bevegelsesenergi}}{\text{bremsekraft}}$$

$$bl = \frac{\frac{1}{2} * m * v^2}{m * a} = \frac{v^2}{2 * a}$$

Bremsing for lette og tunge biler

- I formelen for bremselengde så inngår ikke vekt på bilen
- Det vil si at lette og tunge kjøretøy får samme bremselengde
- Dette stemmer for "normalbrems" uansett føre og "nødbrems" på glatt føre der utnyttet retardasjon ligger lavere enn bremsenes minstekrav
- Men på godt føre er det ofte bremsenes minstekrav som bestemmer retardasjonen og ikke teoretisk tilgjengelig veggrep

Bremsing for lette og tunge biler

- Tunge kjøretøy har (og har lov til å ha) svakere bremsesystem enn personbil, samtidig som personbiler som regel har bedre bremsesystem enn minstekravene
- Minstekravet for tunge kjøretøy med varme bremsesystem er 3.5 m/s^2
- Minstekravet til lette kjøretøy er 4.6 m/s^2 ved varme bremsesystem og 5.8 m/s^2 ved kalde bremsesystem.
- Et fullastet tungt kjøretøy kan ligge rundt minstekravet på 3.5 m/s^2 , mens en personbil kan ligge godt over sitt minstekravet
- Det vil si at et fullastet vogntog kan ha dobbelt så lang bremsestrekning som en personbil på tørr asfalt !

Effekt av deformasjonssoner / støtputer osv

- "Det er ikke farten som dreper, det er den j.... bråstoppen som tar knekken på deg..."
(sagt av vår aller Stutum en gang på 70-tallet)
- Dette er (i hvert fall delvis) sant
- Det er generelt viktig at endring i fart (og energi) skjer over en så lang tid og avstand som mulig

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

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$$

Motoreffekt og kjøremotstand

- En motor vil ha en viss maksimal effekt regnet i HK eller kW
- Utnyttet effekt fra motoren tilsvarer effekt (energi pr tidsenhet) som brukes til:
 - Overvinne stigning (endring i potensiell energi)
 - Eventuell akselerasjon (eller retardasjon om du ikke har nok effekt til å holde hastigheten oppe)
 - Luftmotstand (avhengig av frontareal og utforming av bil)
 - Rullemotstand

Eksempler / regneoppgaver

- En personbil ligger foran et vogntog på en flat vegstrekning med tørt sommerføre. Framenden av lastebilen ligger 40 meter bak bakenden av personbilen. Begge bilene kjører i 20 m/s (72 km/t). Plutselig bråbremser personbilen med en effektiv retardasjon på 8 m/s^2 . Føreren av lastebilen reagerer etter 1 sekund og bremser med full kraft tilsvarende 4 m/s^2 . Hvordan er avstanden mellom bilene i det personbilen stanser og hvilken hastighet har lastebilen da?
- En støtpute har en deformasjonsveg på 4 meter. Beregn akselerasjon og tid som går med når denne støtputen skal bremse en personbil på 1500 kg fra 20 m/s til null.
- Dersom vi antar samme energiopptak, hvor mye vil denne støtputen bremse en lastebil på 30 tonn?