

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

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel September 2008 / AAa

Hvorfor trenger vi kunnskap om fysikk?

Formålet med arbeidsvarsling er:

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

Både varsling og sikring krever at vi har forståelse for:

- o Fysiske lover
- o Bevegelseslære
- o Energibetraktninger
- o Materialeegenskaper

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel September 2008 / AAa

Eksempler på fysikk innen arbeidsvarsling

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

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel September 2008 / AAa

Begrep og sammenhenger

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

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

- o Litt om effekt, stigning, luft og rullemotstand

- o Vi kommer ikke inn materialegenskaper og dimensjonering

Eksempel fra Dagbladet 30.01.2008

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

BMW-en lettet fra flystripe ved Travoltas hus.



(Dagbladet.no) - Når jeg tilbake sjekket i bilen i 221 km/t og prøvde å komme det bremsefot, ble det så gale. Bilen kom ut av kontroll på 500 m, og 200 m senere var jeg på flystripen på 2.3 km. Det var på fredag, 18. januar fra Ocala i Florida alle utta. Fordelen var at det var 15 km med 100 km/h i stedet for 10 km i stedet for 10 km.

Nå er det vel det som har skjedd og fire ungdommer ble drept i løpet av dette. Det var på fredag, 18. januar fra Ocala i Florida alle utta. Fordelen var at det var 15 km med 100 km/h i stedet for 10 km i stedet for 10 km.



Travoltas bosted
Det var vel det som har skjedd og fire ungdommer ble drept i løpet av dette. Det var på fredag, 18. januar fra Ocala i Florida alle utta. Fordelen var at det var 15 km med 100 km/h i stedet for 10 km i stedet for 10 km.



Fart, veg og tid

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

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

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

Akselerasjon og retardasjon

- o Benytter vanligvis akselerasjon som fellesbegrep
- o Retardasjon er negativ akselerasjon
- o Akselerasjon er fartsendring (m/s) pr tidsenhet (sekund)
- o Benevnning blir da m/s^2
- o Dersom farten endres fra v_1 til v_2 i løpet av tiden t , så får vi:

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

Akselerasjon, fart, veg og tid

- o Antar konstant akselerasjon over tid, $a(t) = a$
- o Endrer fart fra v_1 til v_2 i løpet av tid t
- o Vi kan da finne formel for hvor langt du har kjørt på denne tiden
- o 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

- o Formlene vi har vist så langt inneholder tiden t
- o 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

- o 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.
- o En bil kjører i 25 m/s (90 km/t) og bremser med en effektiv retardasjon på 5 m/s². Beregn bremselengde og tid.
- o En bil bremser 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

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

Friksjon på ulike underlag

- o Friksjon er avhengig av en rekke forhold, men ofte forenkler vi til å se på vegens overflate
- o 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

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

Friksjon, stigning og retardasjon

- o På flat veg kan vi maksimalt utnytte en retardasjon tilsvarende

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

- o Der my er friksjonskoeffisienten, st er stigning i % og g er tyngdeakselerasjonen lik 10 m/s^2
- o Nedoverbakke = negativ stigning (mindre retardasjon)
- o Oppoverbakke = positiv stigning (større retardasjon)
- o 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)

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

September 2008 / AAa

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 ($my=0.8$) ved fart 90 km/t . Hvor fort kunne du ha kjørt på dårlig vinterføre ($my=0.2$) 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 ($my=0.40$)?

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

September 2008 / AAa

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
 $100\text{HK} = 74 \text{ kW}$
 $100 \text{ kW} = 136\text{HK}$
$$P = E / t$$

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

September 2008 / AAa

Ulike former for energi

- o Bevegelsesenergi (kinetisk energi) $E = \frac{1}{2} * m * v^2$
- o Stillingsenergi (potensiell energi) $E = m * g * h$
- o Varmeenergi
- o Elektrisk energi
- o Kjemisk energi
- o osv

Bevegelsesenergi

- o Proporsjonal med massen
- o Proporsjonal med kvadratet av hastigheten
- o 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:

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

Bevegelsesenergi og bremsearbeid

- o Ved bremsing kan vi forenklet anta at
Utført bremsearbeid = Endring i bevegelsesenergi
- o 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

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

Bremsing for lette og tunge biler

- o Tunge kjøretøy har (og har lov til å ha) svakere bremsere enn personbil, samtidig som personbiler som regel har bedre bremsere enn minstekravene
- o Minstekravet for tunge kjøretøy med varme bremsere er 3.5 m/s²
- o Minstekravet til lette kjøretøy er 4.6 m/s² ved varme bremsere og 5.8 m/s² ved kalde bremsere.
- o Et fullastet tungt kjøretøy kan ligge rundt minstekravet på 3.5 m/s², mens en personbil kan ligge godt over sitt minstekravet
- o Det vil si at et fullastet vogntog kan ha dobbelt så lang bremsestrekning som en personbil på tørr asfalt !

Effekt av deformasjonssoner / støtputer osv

- o "Det er ikke farten som dreper, det er den j.... bråstoppen som tar knekken på deg..."
(sagt av vår alles Stutum en gang på 70-tallet)
- o Dette er (i hvert fall delvis) sant
- o 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

- o En motor vil ha en viss maksimal effekt regnet i HK eller kW
- o 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

- o En personbil ligger foran et vogntog på en flat vgstrekning 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/s². Føreren av lastebilen reagerer etter 1 sekund og bremses med full kraft tilsvarende 4 m/s². Hvordan er avstanden mellom bilene i det personbilen stanser og hvilken hastighet har lastebilen da?
- o 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.
- o Dersom vi antar samme energiopptak, hvor mye vil denne støtputen bremse en lastebil på 30 tonn?
