

EVU kurs "Arbeidsvarsling – kurs for kursholdere"  
Oslo uke 5/2008 og Trondheim uke 7/2008

### Trafikk og fysikk

- lover og sammenhenger for bevegelse og energi



**Arvid Aakre**  
NTNU / SINTEF Veg og samferdsel  
[arvid.aakre@ntnu.no](mailto:arvid.aakre@ntnu.no)

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

Januar 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

Januar 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

Januar 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 Energibetraktninger
  
- o Litt om effekt, stigning, luft og rullemotstand
  
- o Vi kommer ikke inn materialegenskaper og dimensjonering

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

Januar 2008 / AAa

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 pedalen i bilen i 225 km/t og prøvde å komme det bremsefot, ble det så gale. Bilen kom ut av kontroll på 2.3 km lang flystripe på Fredag, 18. februar fra Ocala i Florida alle uten forstand som kunne få bilen med 500 km/h i 10. g. på bremse fot.

Nå er det vel bare å si at det var en BMW M5 som ble testet på 2.3 km lang flystripe på Fredag, 18. februar fra Ocala i Florida alle uten forstand som kunne få bilen med 500 km/h i 10. g. på bremse fot.



Travoltas bosted  
Det var rett og slett  
ikke til i Florida at Joshua  
og vennene sine, og den  
på den private flystripe  
med 500 km/t.



NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

Januar 2008 / AAa

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

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

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

Januar 2008 / AAa

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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/s<sup>2</sup>. Beregn bremselengde og tid.
- o En bil bremser med en effektiv retardasjon på 8 m/s<sup>2</sup> (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<sup>2</sup>
- o Nedoverbakke = negativ stigning (mindre retardasjon)
- o Oppoverbakke = positiv stigning (større retardasjon)
- o a i formelen over bør vel egentlig ha et negativt fortegn (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 ( $10 \text{ m/s}^2$ )

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

Januar 2008 / AAa

---

---

---

---

---

---

---

---

### Eksempler / regneoppgaver

- I håndbok 051 tabell 2 side 41 står det at stoppsikt ved  $50 \text{ km/t}$  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  $100 \text{ km/t}$  er 270 meter. Hvordan stemmer dette med verdien for  $50 \text{ km/t}$ ?
- Beregn bremselengde for godt sommerføre ( $my=0.8$ ) ved fart  $90 \text{ km/t}$ . 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

Januar 2008 / AAa

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kraft, arbeid, energi og effekt

- Kraft = masse \* akselerasjon  
Regnes i Newton  
(\* $10 \text{ N} = 1 \text{ kg}$ )

$$F = m * a$$

- 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

Januar 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/s<sup>2</sup>
- o Minstekravet til lette kjøretøy er 4.6 m/s<sup>2</sup> ved varme bremsere og 5.8 m/s<sup>2</sup> ved kalde bremsere.
- o Et fullastet tungt kjøretøy kan ligge rundt minstekravet på 3.5 m/s<sup>2</sup>, 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

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

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

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

Januar 2008 / AAa

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

Januar 2008 / AAa

---

---

---

---

---

---

---

---

### Eksempler / regneoppgaver

- o 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<sup>2</sup>. Føreren av lastebilen reagerer etter 1 sekund og bremses med full kraft tilsvarende 4 m/s<sup>2</sup>. 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?

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

Januar 2008 / AAa

---

---

---

---

---

---

---

---