

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

Vegarbeid og effekt på trafikkavvikling

- teoretisk grunnlag og praktiske eksempler



Arvid Aakre

NTNU / SINTEF Veg og samferdsel

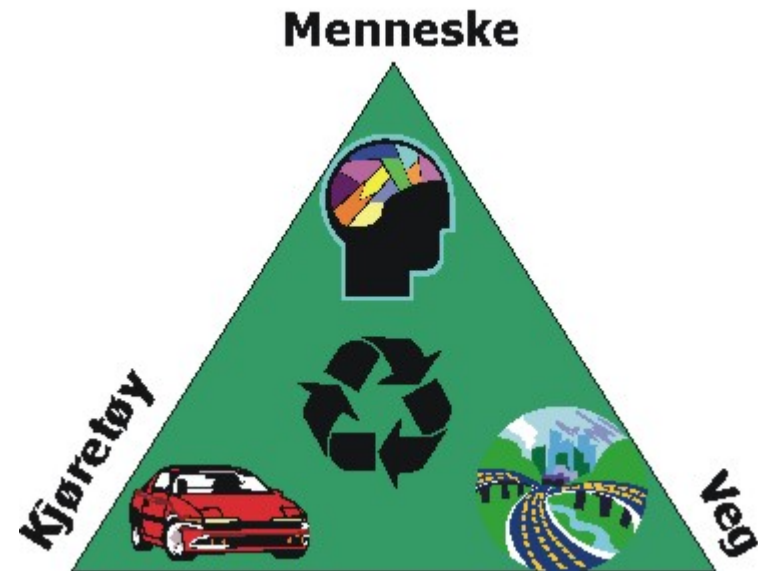
arvid.aakre@ntnu.no

Innledning - trafikkavvikling

- Trafikkavvikling er en komplisert prosess som kan være vanskelig både å modellere og forstå
- Hvordan kjører vi i forhold til andre kjøretøy rundt oss?
- Hvorfor blir det kø og forsinkelse ?
- Vegarbeid påvirker trafikkavviklingen
- Begreper, sammenhenger, modeller og metoder
- Vi skal i hovedsak legge vekt på praktisk forståelse

Hva gjør dette vanskelig?

- I trafikken er det et samspill mellom
 - kjøretøy
 - veg
 - mennesket
- Hvert enkelt kjøretøy styres av en fører som gjør egne valg
- Det er særlig føreren som gjør det komplisert å lage en realistisk modell for trafikkavvikling



Begreper og sammenhenger

- Vi skal definere en rekke begreper slik at vi får et felles begrepsapparat
- Videre skal vi se på sammenhenger mellom de ulike begrepene
- Vi skal også bli i stand til å gjøre grunnleggende beregninger for å se på kvalitet av trafikkavviklingen
- Eksempler:
 - Trafikkvariasjon
 - Sammenheng mellom fartsvalg og antall biler på vegen
 - Sammenheng mellom kø og forsinkelse
 - Kapasitet og flaskehalser

Trafikkvolum (M)

- Trafikkvolum (M) defineres som antall kjøretøy pr tidsenhet
- $M = n / T$ (der n er antall kjøretøy og T er tida)
- Vanlig benevning er kjt/time, men en kan selvfølgelig også bruke andre enheter
- Ved korte tidsintervaller bruker vi ofte begrepet trafikkintensitet i stedet for trafikkvolum
- På grunn av trafikkvariasjon må vi ser på relativt korte perioder når vi skal vurdere kvalitet på trafikkavviklingen
- Døgnetrafikk er ikke egnet for å vurdere avviklingskvalitet

Eksempel / regneoppgave

- Tenk deg et trearmet vegkryss der vi har observert følgende verdier for trafikk (sum begge retninger) mellom kl 15 og 16 en onsdag ettermiddag:
 - 1000 kjt vest for krysset
 - 800 kjt øst for krysset
 - 600 kjt sør for krysset
- Hvor stor er trafikken i krysset i denne timen?

Mer om trafikkvolum

- På tofeltsveger ser vi på sum trafikk i begge retninger. I tillegg angir vi retningsfordeling (f.eks 60-40).
- På flerfeltsveger ser vi på hver retning for seg.
- I kryss ser vi på all trafikk INN mot krysset.
- Dersom vi også hadde tatt med trafikken UT av krysset, så hadde hver bil blitt tatt med to ganger.

Tunge kjøretøy og personbilenheter

- o Andel tunge kjøretøy beregnes i prosent av totaltrafikken
- o I praksis bruker vi ofte en lengdeklassifisering i stedet for vekt siden lengden er enklere å måle
- o Dette fører til en del problemer i praktisk bruk og forståelse av andel tungtrafikk
- o Vi kan regne om ulike kjøretøytyper til personbilenheter (pbe) , for eksempel slik:

1 personbil = 1.0 pbe

1 MC = 0.5 pbe

1 buss = 2.0 pbe

1 lastebil = 2.5 pbe

1 vogntog = 3.0 pbe

Dette omregningstallet kan gjerne gjøres avhengig av stigning osv.

Årsdøgntrafikk (ÅDT)

- Årsdøgntrafikk er gjennomsnittlig døgntrafikk over året
- $\text{ÅDT} = \text{total trafikk i ett år} / 365$
- Det er stor variasjon i døgntrafikken (DT) fra døgn til døgn
- På et døgn kan vi i enkelte tilfelle ha en døgntrafikk som er opptil 3-4 ganger større enn ÅDT
- Det er også stor variasjon i trafikken fra time til time
- Årsdøgntrafikk er IKKE egnet til å vurdere avvikling
- For avviklingsvurderinger MÅ vi benytte kortere tidsperioder (typisk timetrafikk)

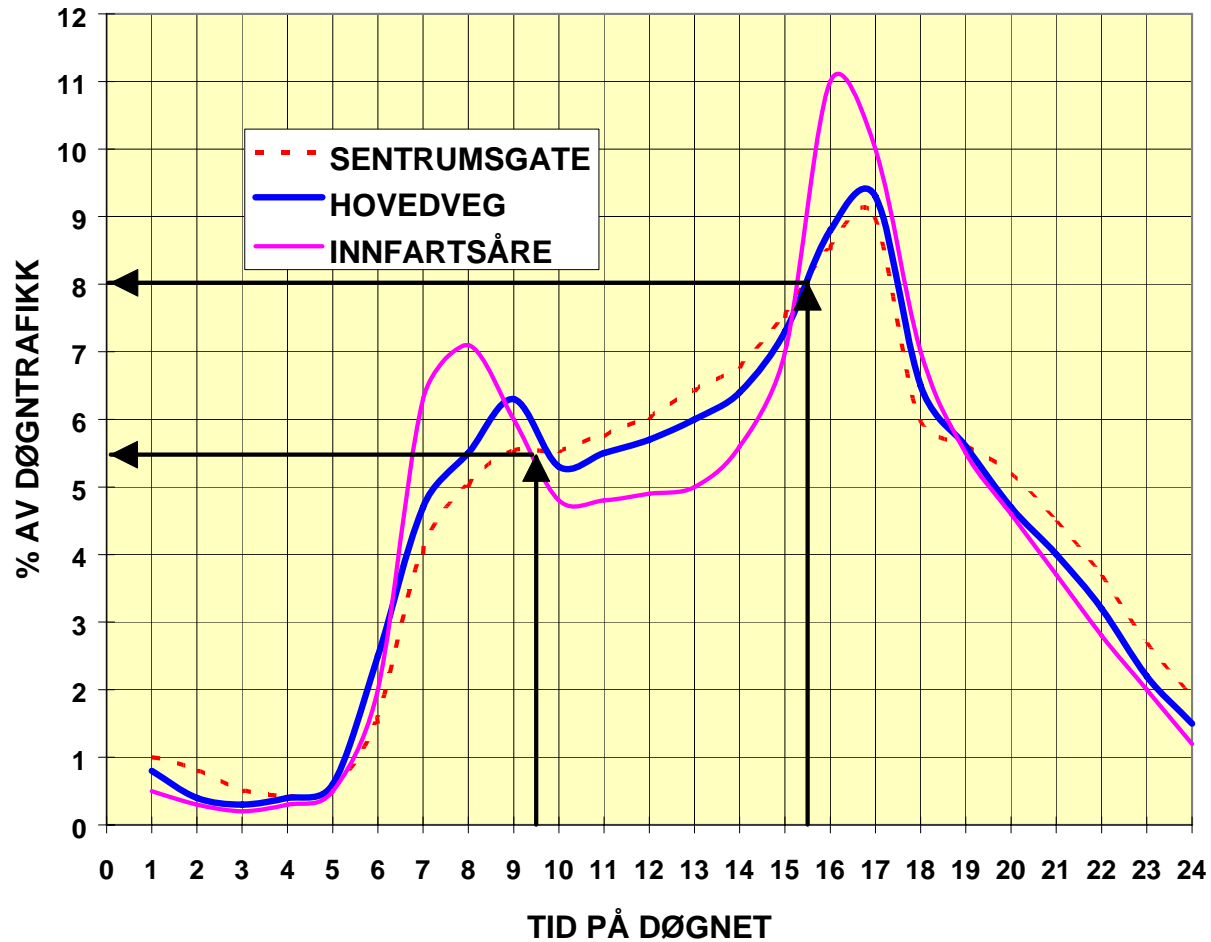
Trafikkvariasjon

- Trafikkvariasjon er avhengig av tid på dagen, ukedag og tid på året.
- Reisehensikt er viktig i denne sammenheng:
 - Arbeidsreiser
 - Varelevering
 - Innkjøpsreiser
 - Besøksreiser
 - Ferie og fritidsreiser osv.
- På en enkelt veg er det imidlertid en blanding av mange ulike reisehensikter
- Statens vegvesen har et omfattende telleopplegg med et stort antall registreringspunkt fordelt utover vegnettet

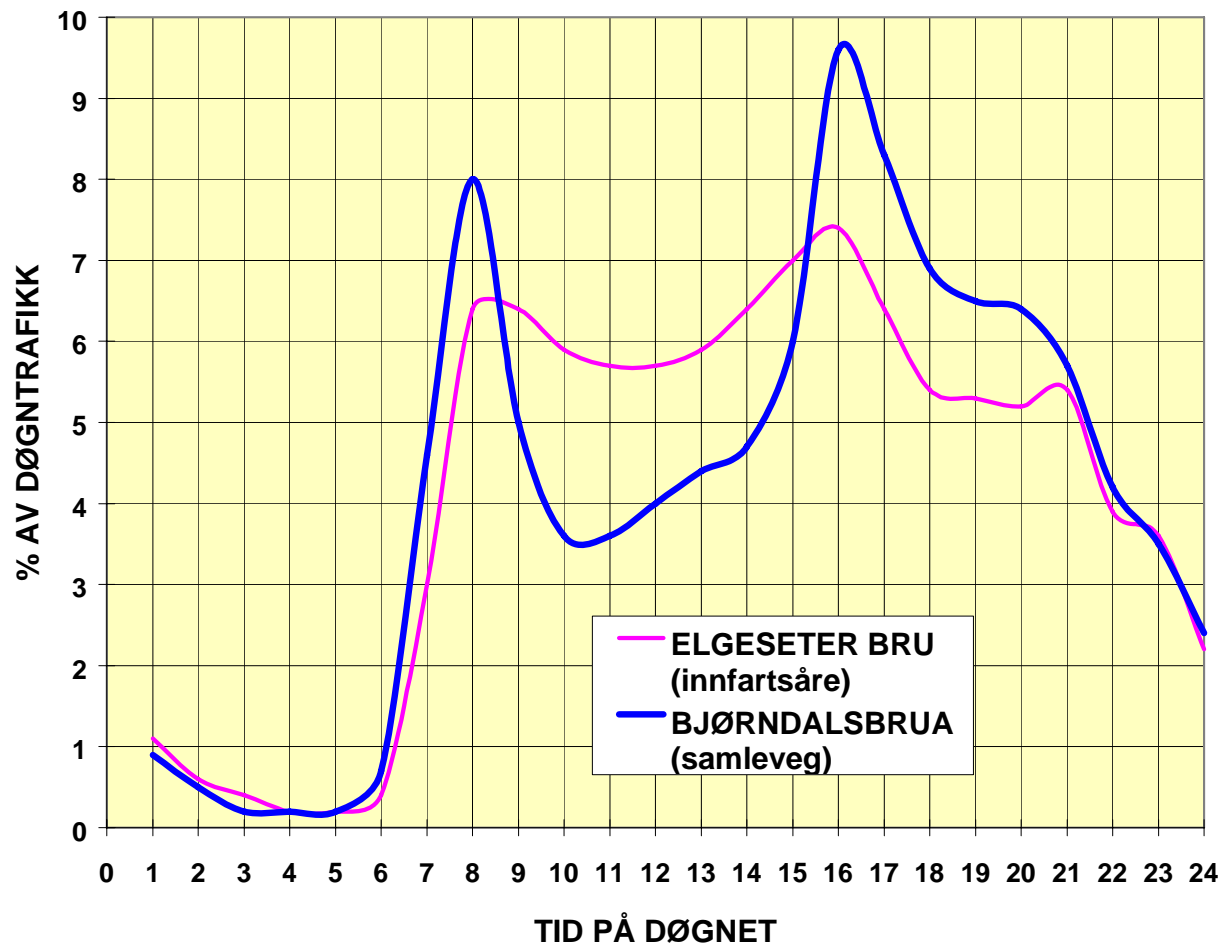
Inndeling i ulike vegtyper

- M1 Samleveg med arbeidsreiser
- M2 Arbeidsreiser og gjennomgangstrafikk
- M3 Bygate
- M4 Sterkt belastet hovedveg ved by
- M5 Normalmønster for hovedveg
- M6 Ferie/turistrute ved kysten
- M7 Ferie/turistrute på fjellet

Døgnvariasjon, sentrumsgate

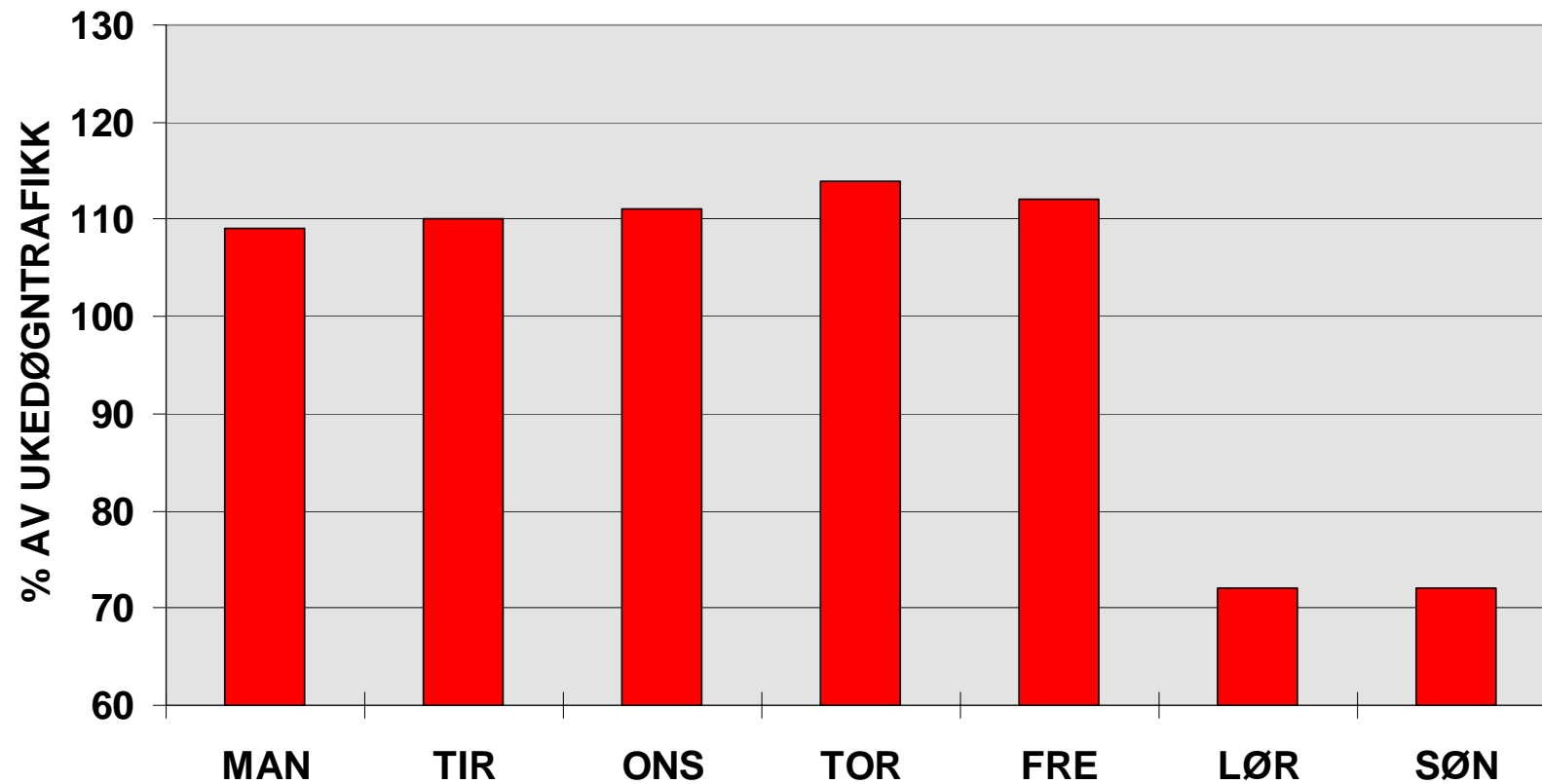


Døgvariasjon, innfartsåre og samleveg



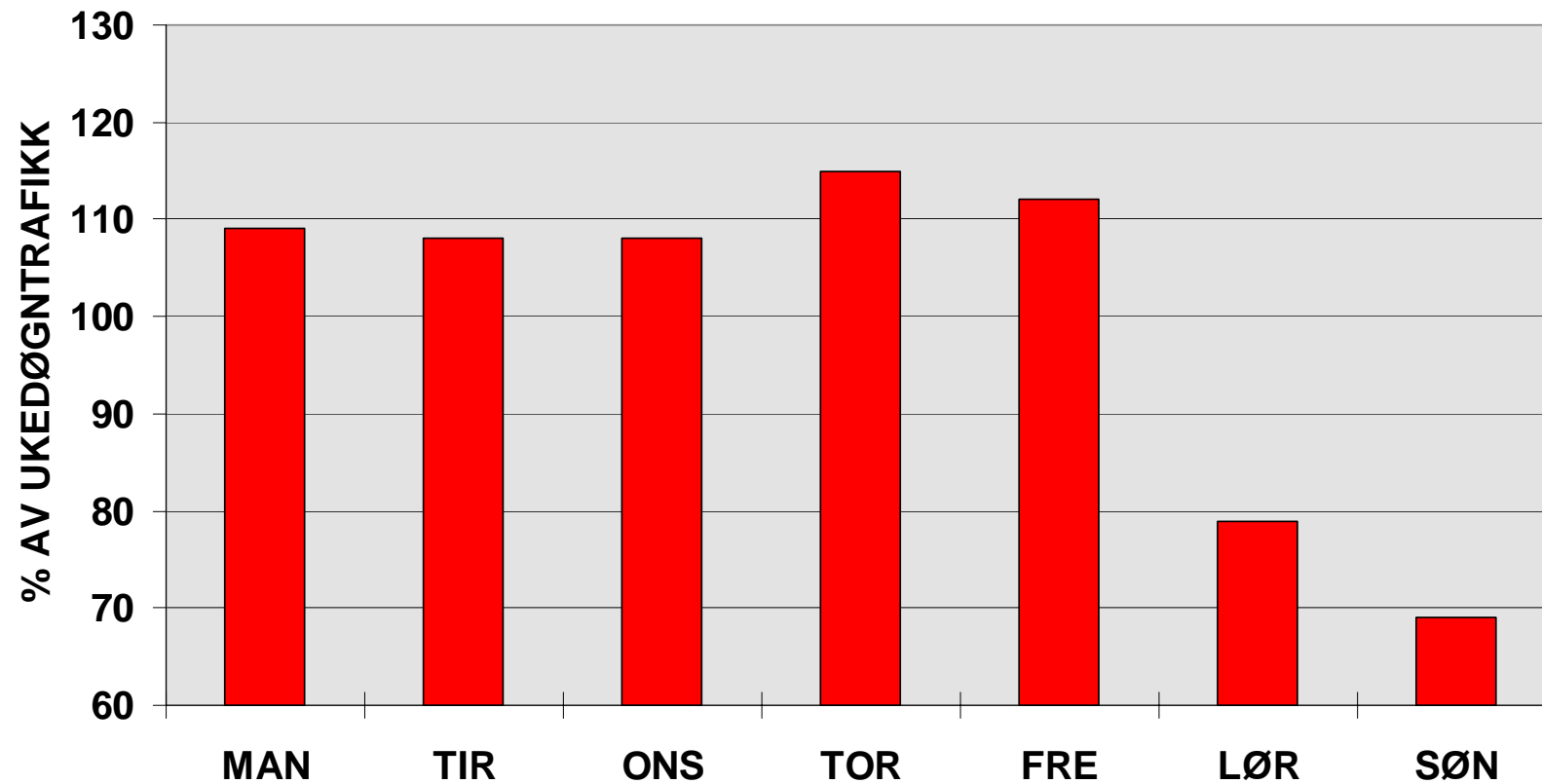
Variasjon over ulike dager i uka (M1)

M1 = SAMLEVEG MED ARBEIDSREISER



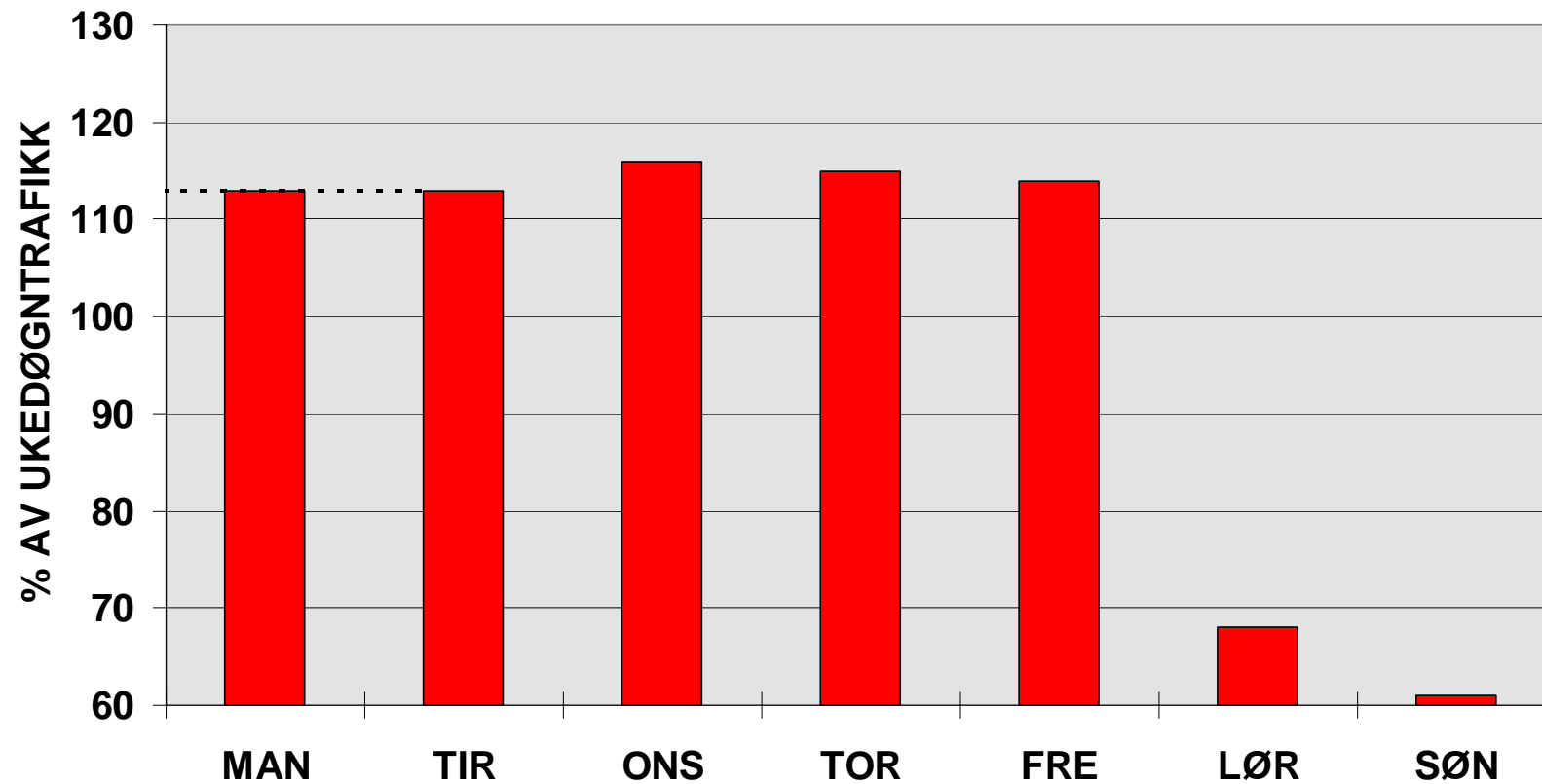
Variasjon over ulike dager i uka (M2)

M2 = ARBEIDSREISER OG GJENNOMGANGSTRAFIKK



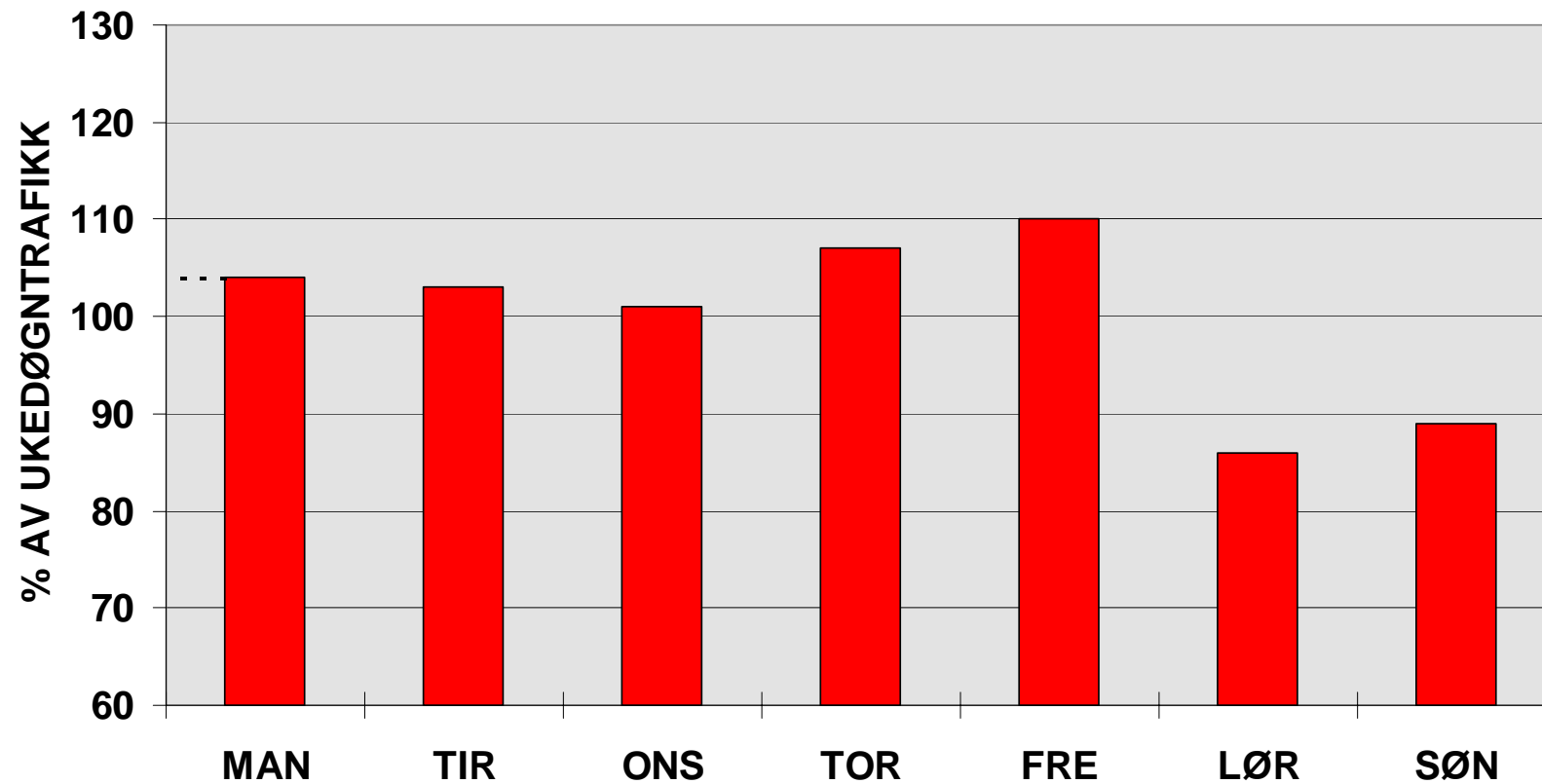
Variasjon over ulike dager i uka (M3)

M3 = BYGATE



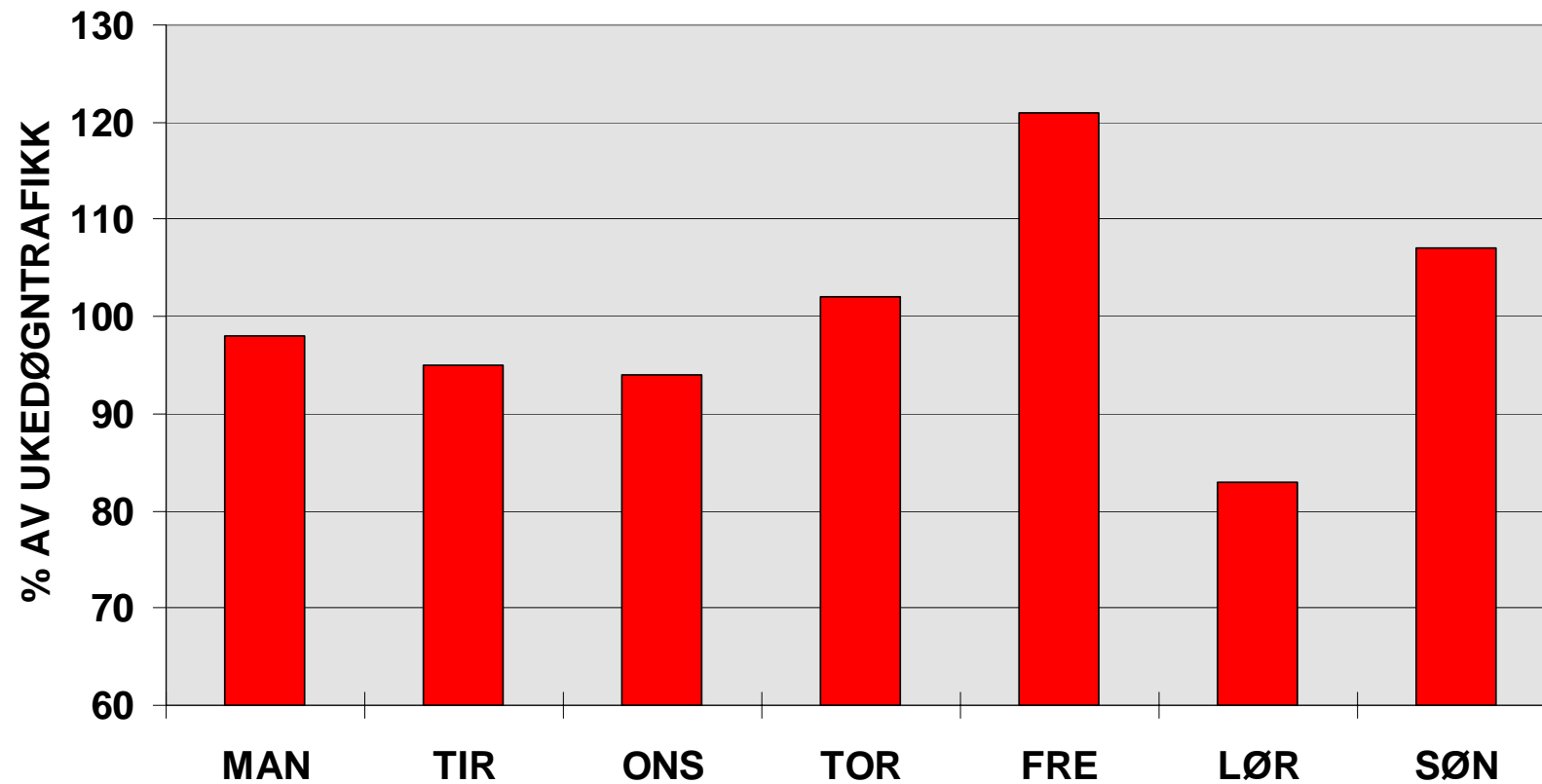
Variasjon over ulike dager i uka (M4)

M4 = STERKT BELASTET HOVEDVEG VED BY



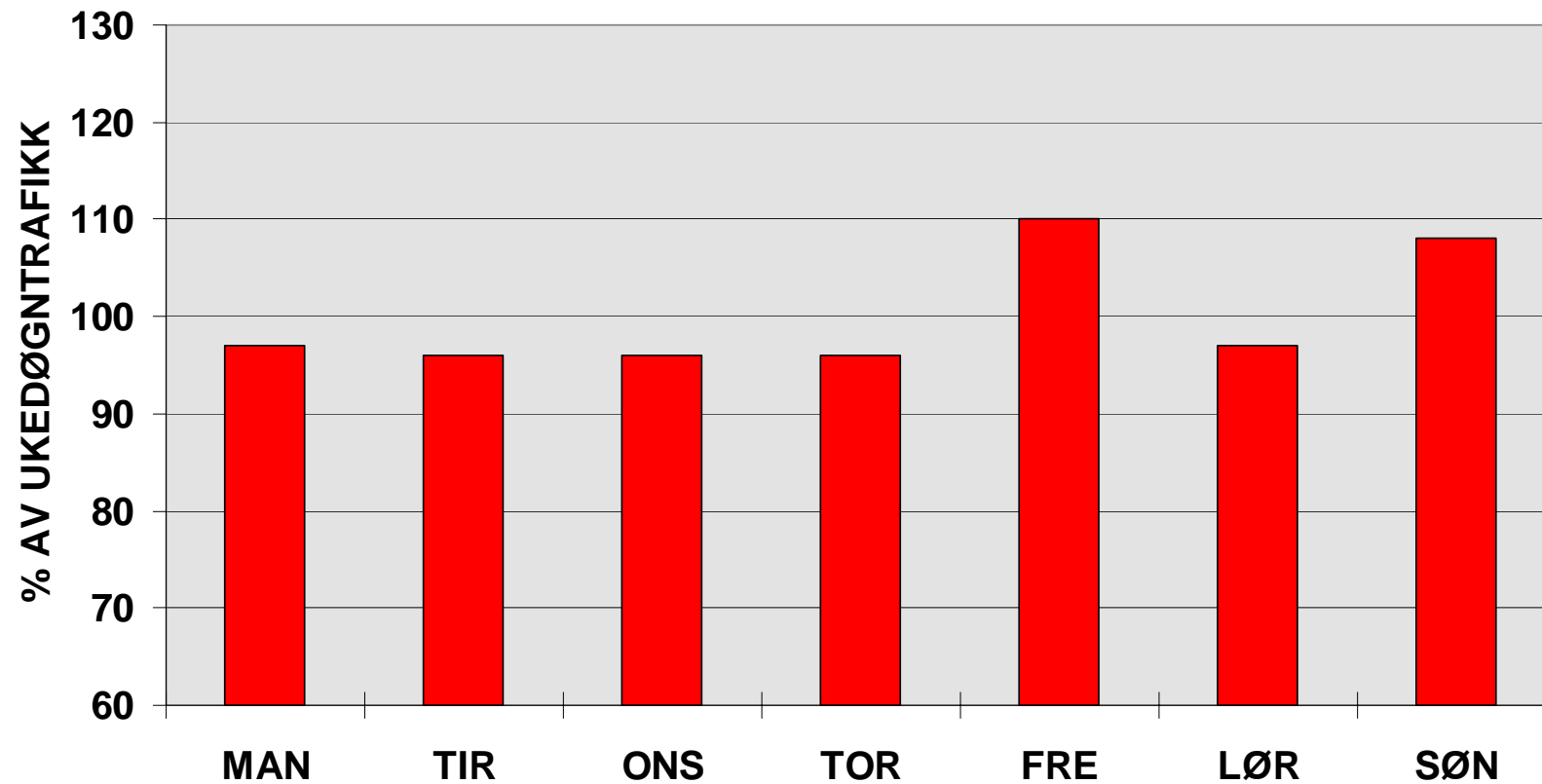
Variasjon over ulike dager i uka (M5)

M5 = NORMALMØNSTER FOR HOVEDVEG



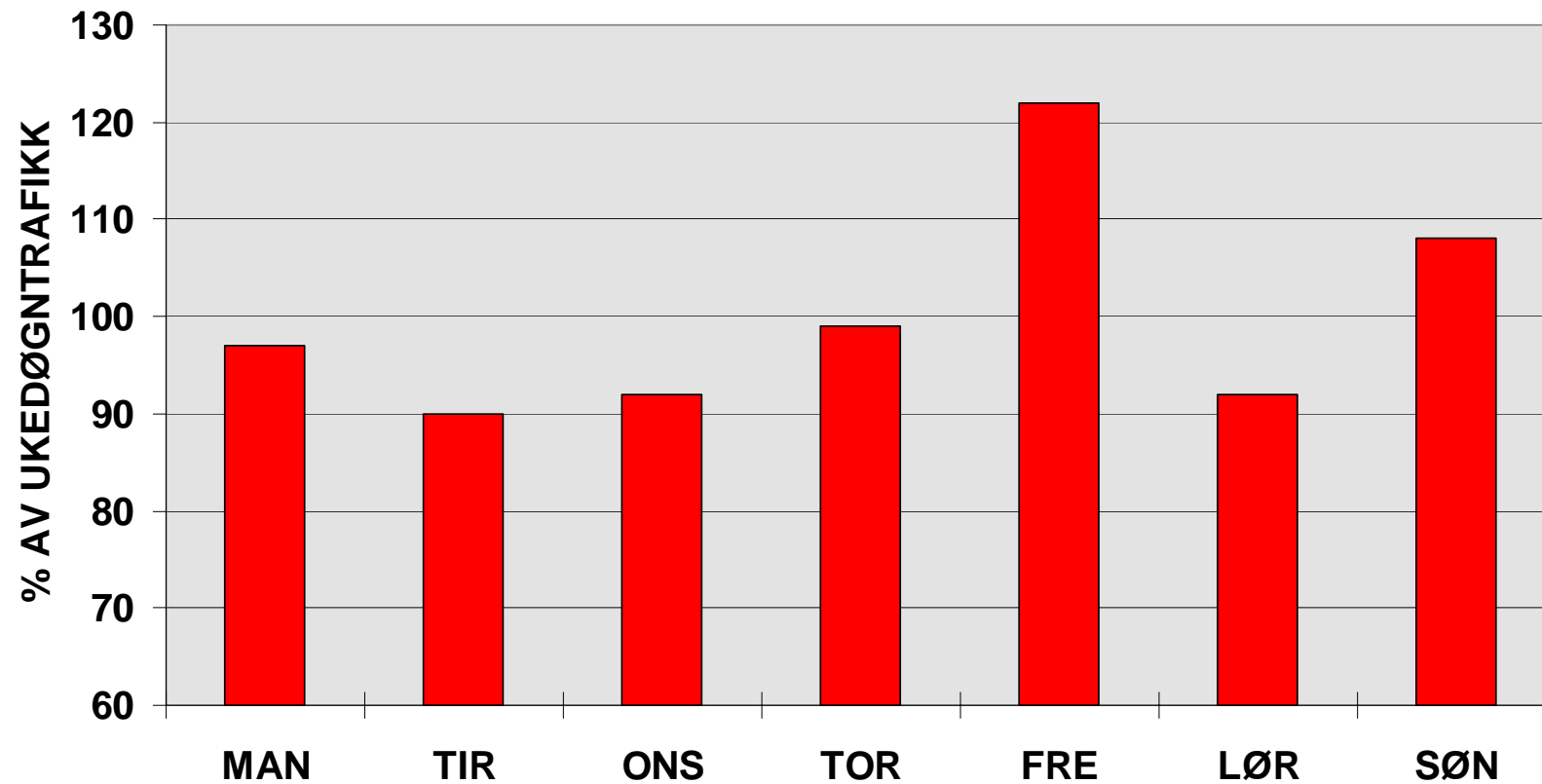
Variasjon over ulike dager i uka (M6)

M6 = FERIE-/TURISTRUTE VED KYSTEN



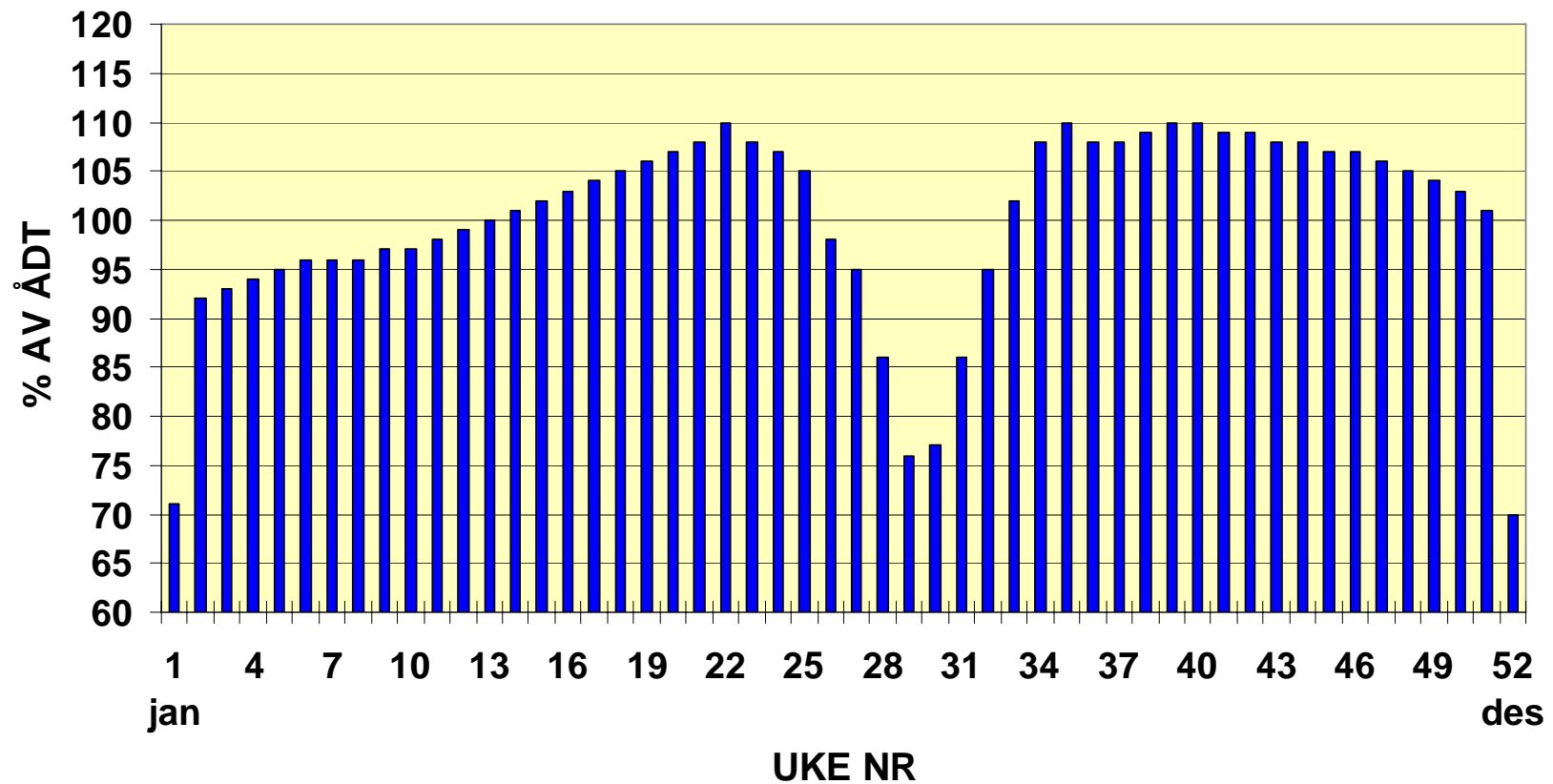
Variasjon over ulike dager i uka (M7)

M7 = TURISTRUTE OVER HØYFJELLET



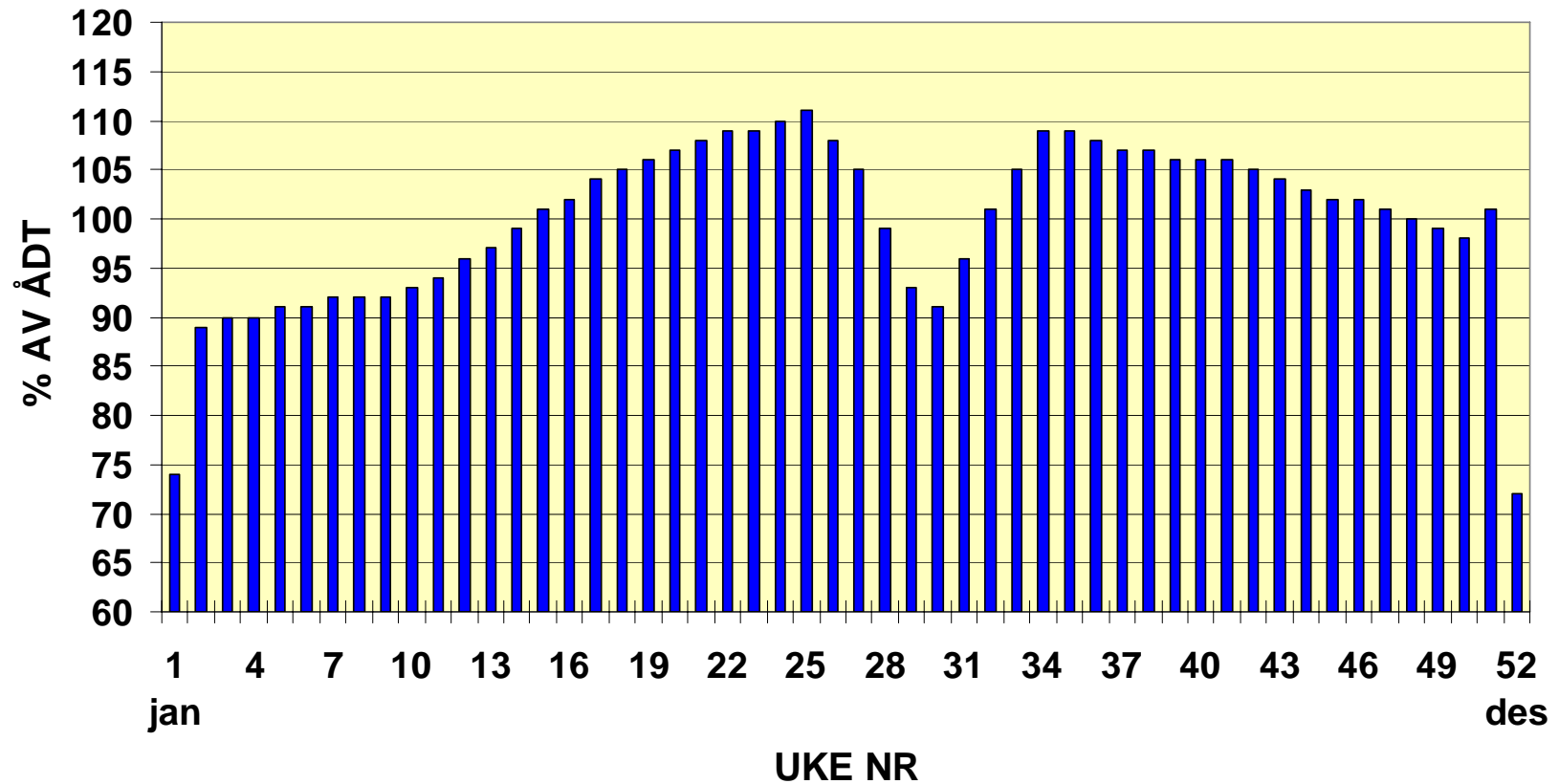
Årsvariasjon (M1)

M1 - SAMLEVEG MED ARBEIDSREISER



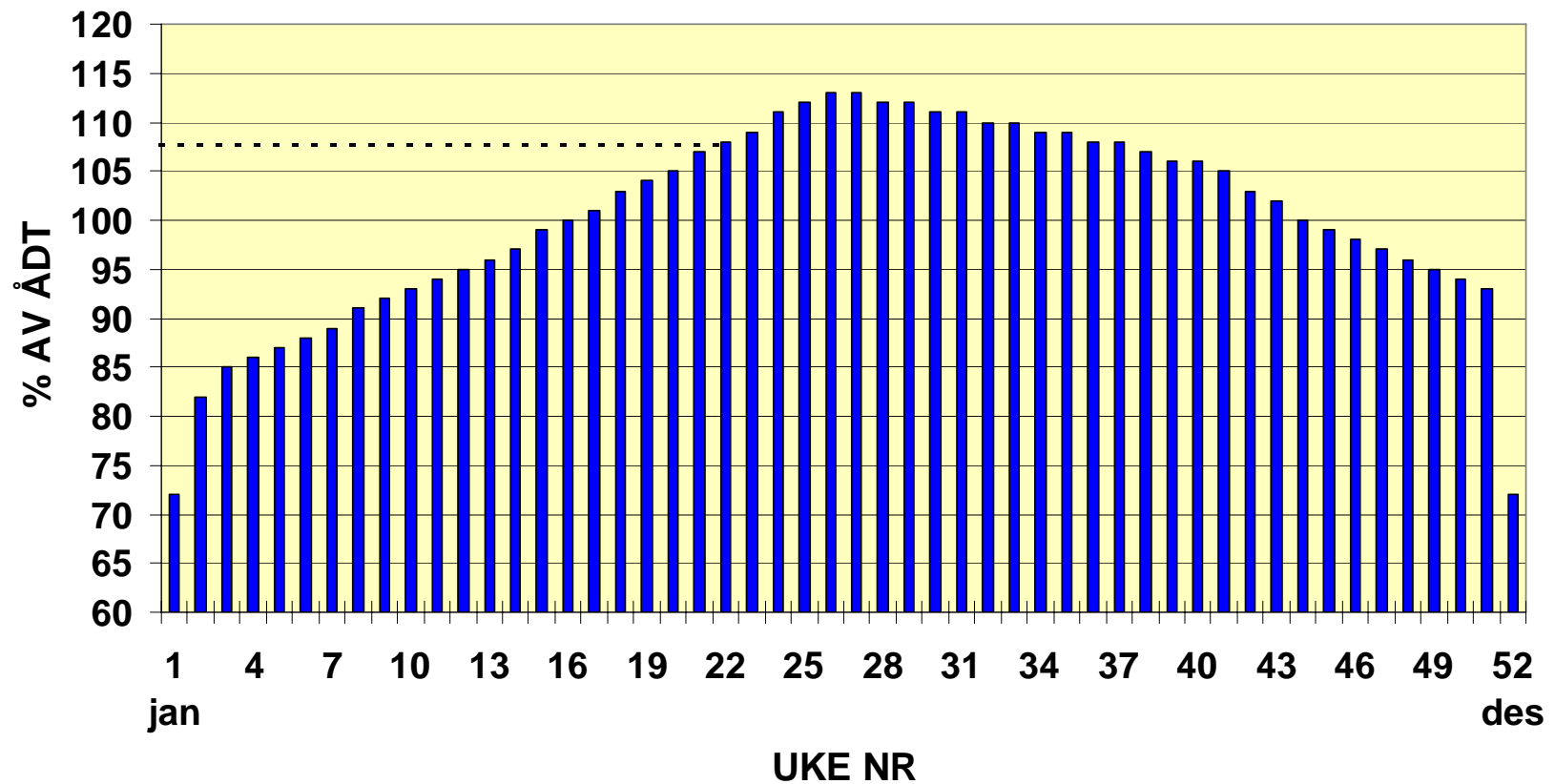
Årsvariasjon (M2)

M2 - ARBEIDSREISER OG GJENNOMGANGSTRAFIKK



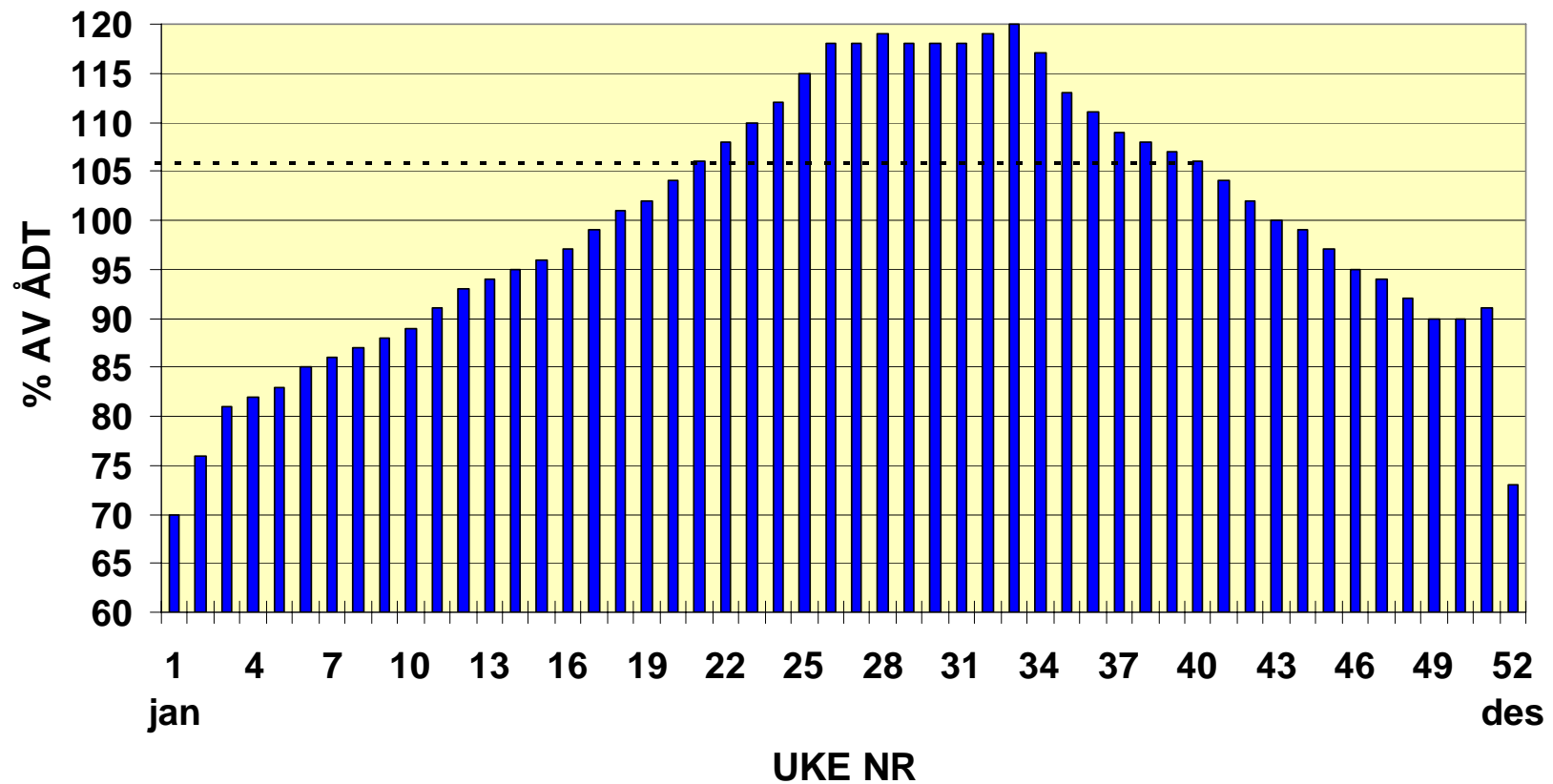
Årsvariasjon (M3)

M3 - BYGATE



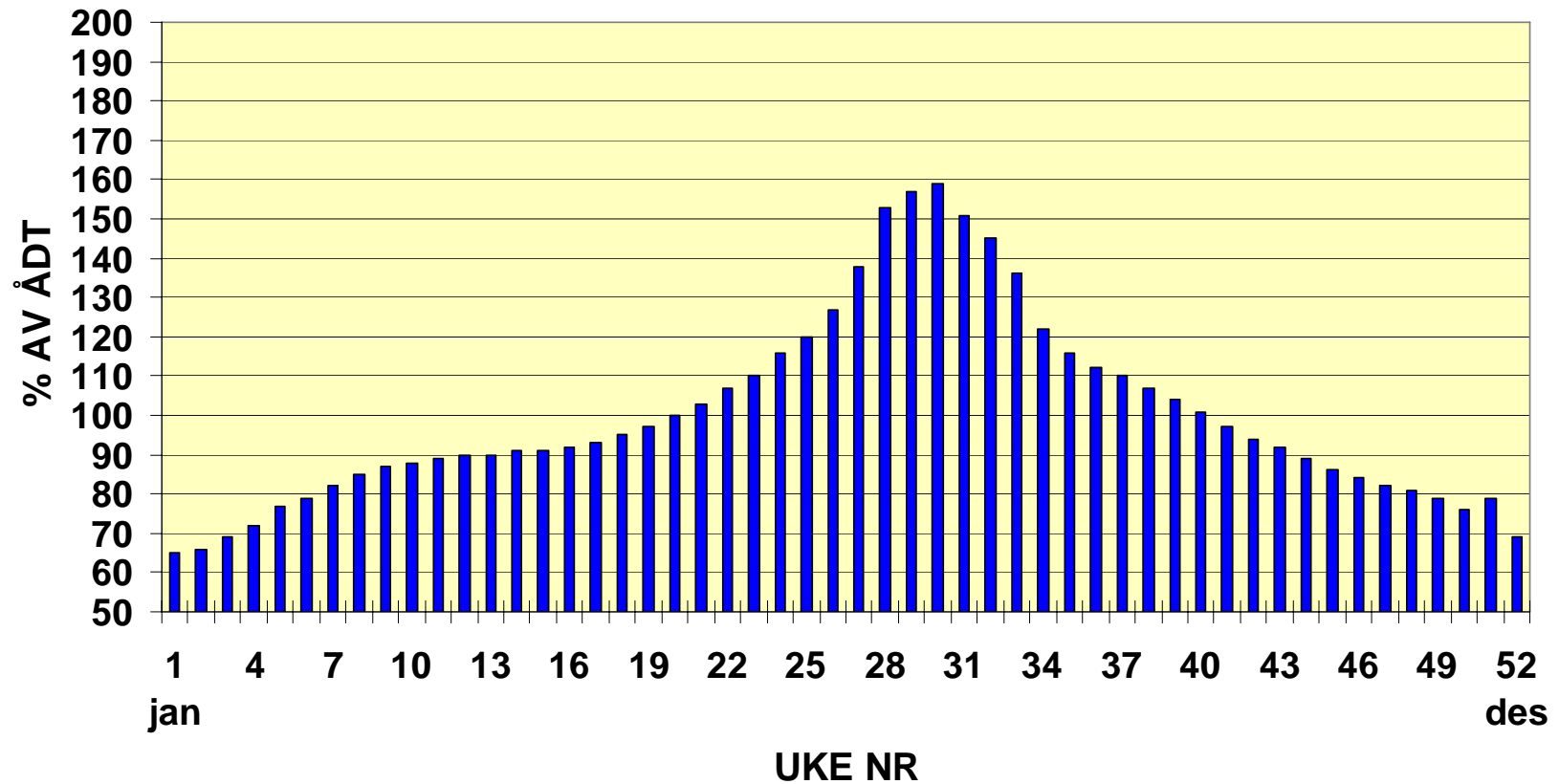
Årsvariasjon (M4)

M4 - STERKT BELASTET HOVEDVEG VED BY



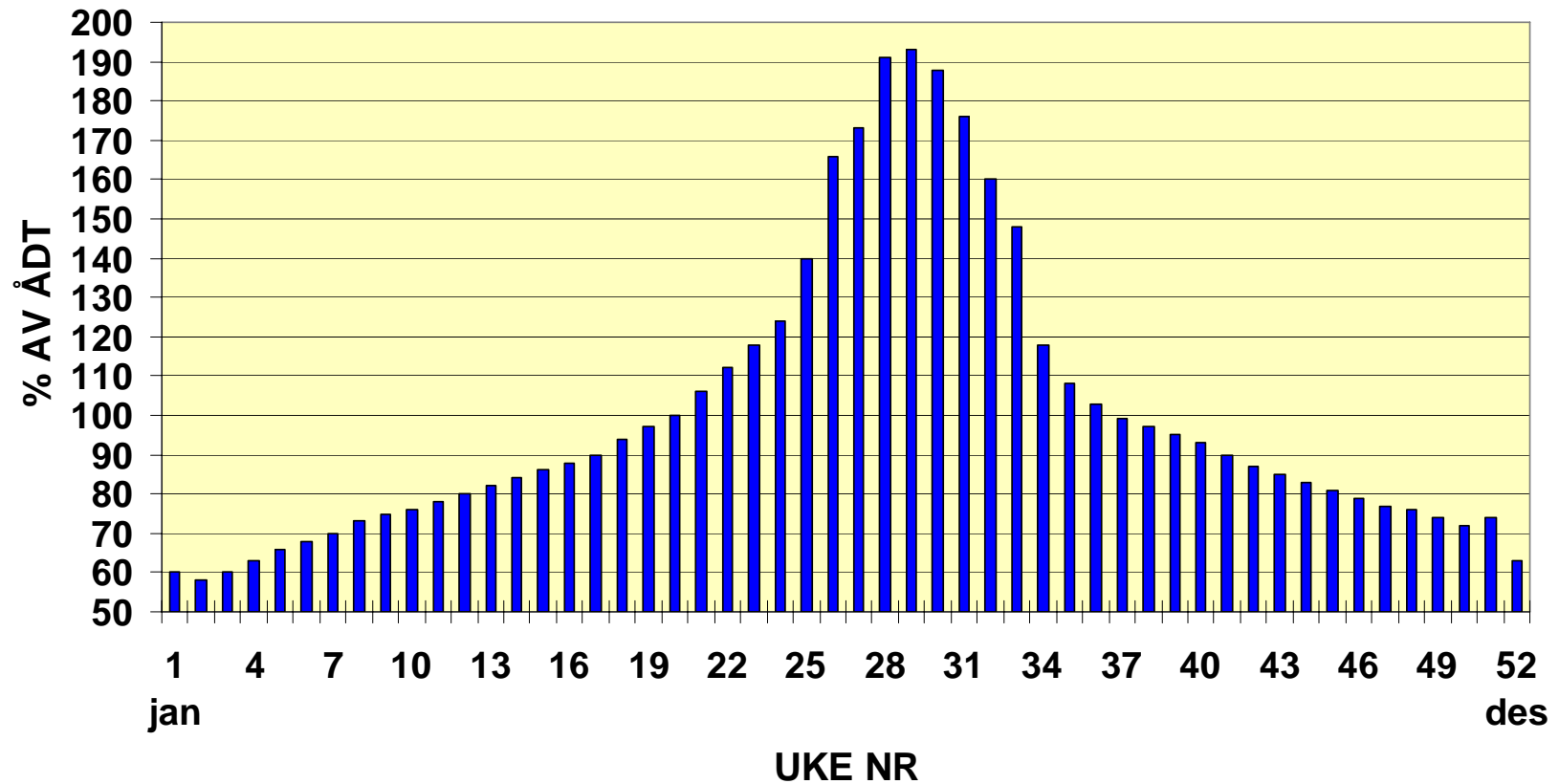
Årsvariasjon (M5)

M5 - NORMALMØNSTER FOR HOVEDVEG



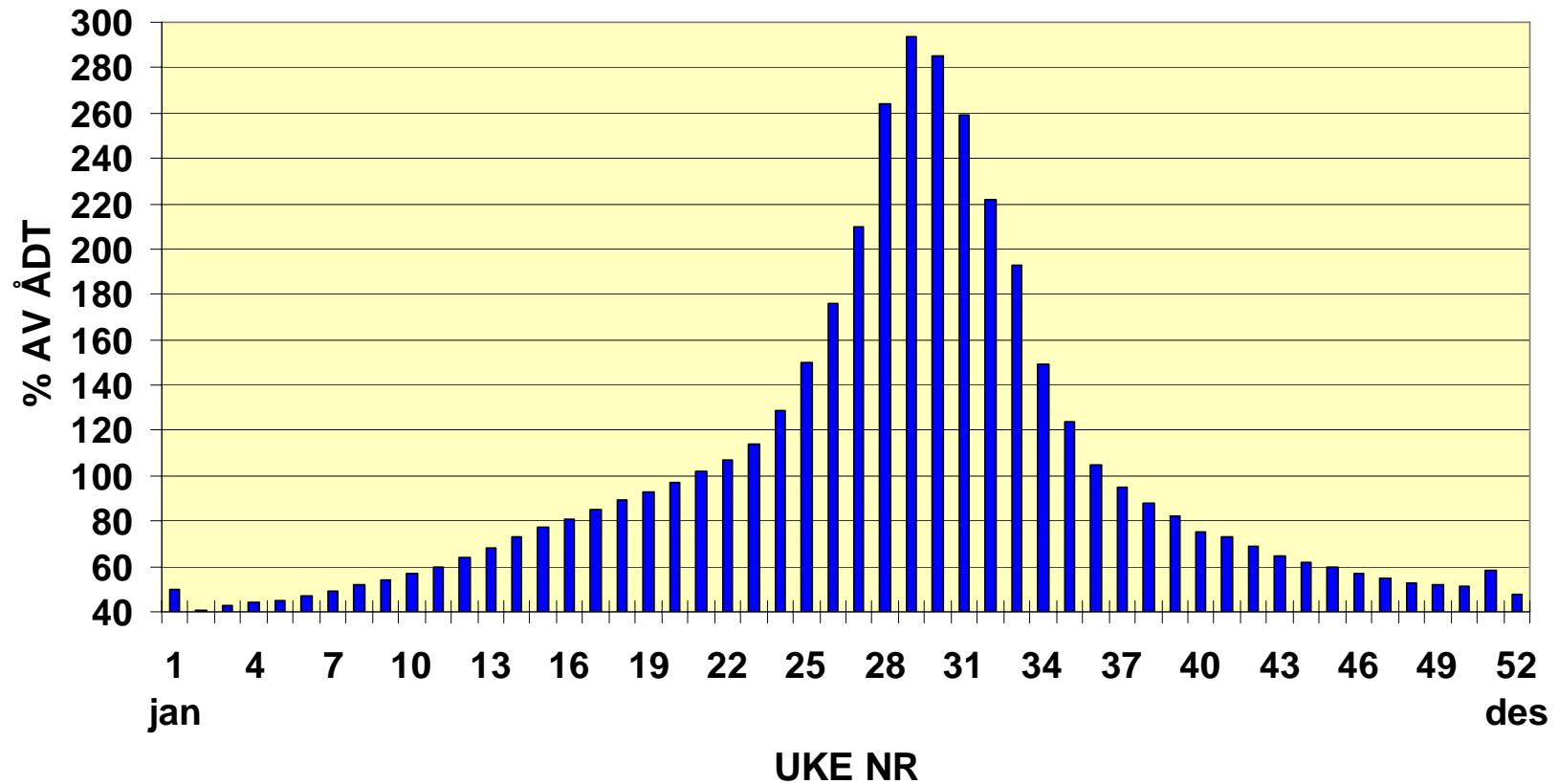
Årsvariasjon (M6)

M6 - FERIE-/TURISTRUTE VED KYSTEN



Årsvariasjon (M7)

M7 - TURISTRUTE OVER HØYFJELLET



Formel for ÅDT og trafikkvariasjon

$$M = \text{ÅDT} * (a/100) * (b/100) * (c/100)$$

- o a er prosentandel av trafikk i en periode (f.eks en time) i forhold til døgntrafikken
- o b er forholdet mellom trafikk denne ukedagen i forhold til gjennomsnittlig døgntrafikk over uken (angitt som prosentandel)
- o c er forholdet mellom gjennomsnittlig døgntrafikk over uken og årsdøgntrafikken ÅDT (angitt som prosentandel)

$$\text{ÅDT} = M * (100/a) * (100/b) * (100/c)$$

Eksempler / regneoppgaver

- ÅDT på en hovedveg er ca 15.000. Beregn timetrafikk mellom kl 15 og 16 på fredag i uke 30.
- ÅDT på en turistrute over høyfjellet er angitt til 6000 kjt/døgn. Beregn trafikken på en fredag i uke 28.
- På en tofeltsveg har vi registrert et trafikkvolum på 1000 kjt/t med 10 % tungtrafikk.
Regn ut trafikken i personbilenheter pr time (pbe/t) dersom et tungt kjøretøy verdsettes til 2.5 pbe.

Hastighet (V)

- Hastigheten uttrykker hvor langt du beveger deg pr tidsenhet
- Vanlig benevning er km/t eller m/s
- Omregningsfaktoren mellom km/t og m/s er 3.6 (1 time = 3600 sek og 1 km = 1000 m)
- $V [\text{km/t}] = V [\text{m/s}] * 3.6$
- Eksempel:
 $72 \text{ km/t} = 72/3.6 = 20 \text{ m/s}$
 $30 \text{ m/s} = 30*3.6 = 108 \text{ km/t}$
 $6 \text{ km/t} = 6/3.6 = 1.67 \text{ m/s}$ (vanlig ganghastighet)

Punkthastighet

- Punkthastighet måles i et punkt eller over en kort strekning
- Kan for eksempel registreres ved hjelp av induktive sløyfer i vegbanen eller en radar
- Gjennomsnittlig punkthastighet kan berignes ved å summere alle hastighetene og dele på antallet

$$V_p = (V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n) / n$$

Strekningshastighet

- Strekningshastighet måles over en noe lengre strekning
- For et enkelt kjøretøy kan vi beregne strekningshastigheten ved å måle tidsforbuket t over en viss avtand L :
- $V = L/t$ (fart = veg/tid)
- Gjennomsnittlig strekningshastighet (V_s) kan ikke beregnes på samme måte som gjennomsnittlig punktkastighet
- Vi må først finne gjennomsnittlig tidsforbruk T på strekningen og så beregne V_s :
- $T = (t_1+t_2+\dots+t_n)/n$ og $V_s = L / T$

Reisetid

- Reisetiden mellom A og B er omvendt proporsjonal med strekningshastigheten på denne strekningen
- $V_s = L/T$ (fart = avstand / tid)
- $T = L/V_s$ (tid = avstand / fart)
- $L = V_s * T$ (avstand = fart * tid)
- Eksempel:
Du kjører en strekning på 350 km med gjennomsnittlig strekningshastighet på 70 km/t.
Reisetiden blir da $350 / 70 = 5$ timer.

Eksempler / regneoppgaver

1. To biler kjører en strekning på 120 km.
Bil A kjører i 60 km/t hele veien.
Bil B kjører først i 40 km/t og øker til 80 km/t når han kommer halvveis. Hvem kommer først fram?
2. Hvor fort måtte B ha kjørt på siste halvdel for å komme fram samtidig med A?
3. Hvordan går det dersom B kjører like i like lang tid med hastighetene 40 km/t og 80 km/t.

Tidsluker

- Tidsluker er et mål i tid for avstanden mellom kjøretøy.
- Vi måler tidsavstanden fra front til front (dvs kjøretøyene er i denne sammenheng punkter uten lengde)
- Gjennomsnittlig tidsluke er omvendt proporsjonal med trafikkvolumet:
- $TL = 3600 / M$ og $M = 3600 / TL$
(1 time = $60 \cdot 60 = 3600$ sekunder)
- Eksempel:
 - $600 \text{ kjt/t} \rightarrow TL = 3600/600 = 6 \text{ sek}$
 - $TL = 2 \text{ sekunder} \rightarrow M = 3600/2 = 1800 \text{ kjt/t}$
 - $TL = 3 \text{ sekunder} \rightarrow M = 3600/3 = 1200 \text{ kjt/t}$
 - $TL = 4 \text{ sekunder} \rightarrow M = 3600/4 = 900 \text{ kjt/t}$
 - $TL = 5 \text{ sekunder} \rightarrow M = 3600/5 = 720 \text{ kjt/t}$
 - $TL = 6 \text{ sekunder} \rightarrow M = 3600/6 = 600 \text{ kjt/t}$

Tetthet (D)

- Tetthet (D) defineres som antall biler pr km veg
- Vanlig enhet er kjt/km
- Gjennomsnittlig avstand (S) i meter mellom hvert kjøretøy (målt fra front til front) er omvendt proporsjonal med tettheten.
- $S = 1000 / D$ og $D = 1000 / S$
- Dersom vi skal se på den fysiske avstanden i meter fra fronten av din bil til bakenden av bilen foran, må vi også ta hensyn til kjøretøyets lengde.
- Vi kan også definere oppfyllingsgrad som summen av kjøretøyenes lengde delt på vegstrekningens lengde

Volum (M), Hastighet (V) og Tetthet (D)

- o Oppgave:

Gå sammen to-tre personer og diskuter dere fram til rimelige verdier på M , V og D for en tofeltsveg med "relativt stor trafikk".

Volum (M), Hastighet (V) og Tetthet (D)

- o Sammenheng mellom M, V og D:

$$M = V * D$$

eller om du vil: $V = M / D$ og $D = M / V$

- o Huskeregel - tenk på hvilke enheter som M, V og D måles i:
 $M \text{ [kjt/t]} = V \text{ [km/t]} * D \text{ [kjt/km]}$

Oversikt over noen begreper og sammenhenger

	<i>Symbol</i>	<i>Enhet</i>	<i>Formel</i>
Volum	M	kjt/time	$M = n / T$
Hastighet	V	km/time	$V = L / T$
Tetthet	D	kjt/km	$D = n / L$
Gjennomsnittlig tidsluke	TL	sekunder	$TL = 3600/M$
Gjennomsnittlig avstand	S	meter	$S = 1000/D$
Gjennomsnittlig reisetid	T	Timer	$T=L / V$

Eksempler / regneoppgaver

På en 10 km lang vegstrekning er det registrert et trafikkvolum på 1200 kjt/t. Vi antar en gjennomsnittlig strekningshastighet på 60 km/t. Regn ut:

1. Gjennomsnittlig tetthet på strekningen
2. Gjennomsnittlig tidsluke i sekunder mellom bilene
3. Gjennomsnittlig avstand i meter mellom bilene
4. Hvor lang tid vil en i gjennomsnitt bruke på denne vegstrekningen?

Kapasitet

- Kapasitet innen trafikkteknikk kan defineres som:
“Det maksimale antall kjøretøy som med rimelighet kan forventes å passere et punkt eller en strekning i løpet av et gitt tidsrom under de rådende veg-, trafikk- og reguleringsforhold.”
- Selv om det finnes en slik kapasitetsgrense, så vil ikke kapasiteten være “naturgitt” eller konstant
- Kapasitet vil være en “dynamisk størrelse” både i tid og rom
- ... og som trafikanter har vi store muligheter til å påvirke kapasiteten

Vanlige kapasitetsverdier

- **Flerfeltsveger**
1500-1800 kjt/t pr kjørefelt
(ca 2-2.5 sekund mellom hver bil i kjørefeltet)
- **Tofeltsveger**
1800-2000 kjt/t sum begge retninger
retningsfordelingen er viktig, men vi kommer sjelden over 1200 kjt/t i en retning (3 sekunder mellom hver bil)
- I et lyskryss klarer vi som regel å avvikle trafikken med rundt 2 sekunder mellom bilene (1800 kjt/t) når det er grønt lys. Vi kaller dette for metningsvolum, og kapasiteten blir:

$$\text{Kapasitet} = \text{Metningsvolum} * (\text{grønntid} / \text{omløpstid})$$

Eksempel / oppgave

- Anta lineær sammenheng mellom hastighet og tetthet
- Tegn opp denne sammenhengen
- Skisser også sammenhengen mellom
 - Volum i kJt/t (x-akse)
 - Hastighet i km/t (y-akse)
- Skisser sammenhengen mellom
 - Tetthet i kJt/km (x-akse)
 - Volum i kJt/time (y-akse)
- Bruk dette til å illustrere kapasitet

Kapasitet og avviklingskvalitet påvirkes av

- Trafikkvolum og retningsfordeling
- Fordeling på kjøretøytyper
- Stigning
- Horisontalkurvatur / geometri / overflate
- Bredde av kjørefelt og skulder
- Trafikantatferd
- Lokale forhold
- Hendelser, værforhold etc

Kapasitet og avviklingskvalitet

- Dersom trafikkbelastningen er større enn kapasiteten, vil dette føre til overbelastning. Dette fører igjen til kø, forsinkelse og dårlig avviklingskvalitet.
- Men redusert avviklingskvalitet er ikke nødvendigvis koblet til overbelastning.
- Selv om vi ligger godt under kapasitetsgrensa så vil det oppstå konflikter mellom kjøretøy. Vi kan altså ha relativt dårlig avviklingskvalitet selv om trafikkbelastningen er lavere enn kapasitetsgrensa.
- Derfor er det ofte viktigere å vurdere en parameter som forsinkelse eller reisetid i stedet for belastningsgrad (forhold mellom volum og kapasitet)

“Manøvreringsfrihet” og avviklingskvalitet

- Du har stor manøvreringsfrihet og god avviklingskvalitet
 - når du selv kan bestemme egen hastighet
 - når du har liten konflikt med andre kjøretøy
 - når du har gode muligheter til forbikjøring
- Du har liten manøvreringsfrihet og dårlig avviklingskvalitet
 - når du kjører i saktegående kø med små muligheter til å bestemme egen hastighet
 - når du har små muligheter til forbikjøring, feltskifte osv på grunn av annen trafikk

Servicenivå (avviklingskvalitet)

- Fra Highway Capacity Manual kjenner vi begrepet servicenivå ("Level of service" - LOS) for å beskrive avviklingskvalitet.
- Vi definerer avviklingskvaliteten gjennom 6 servicenivå A-F

A	Ved liten trafikk har du stor manøvreringsfrihet og du kan i praksis "gjøre som du vil". Lav tetthet og uhindret trafkk.
B	...
C	...
D	...
E	Når trafikken nærmer seg kapasitetsgrensen er du "låst" i en køsituasjon og du har liten manøvreringsfrihet.
F	Overbelastning med ustabil avvikling. Store forsinkelser.

Servicenivå (avviklingskvalitet)



Servicenivå A



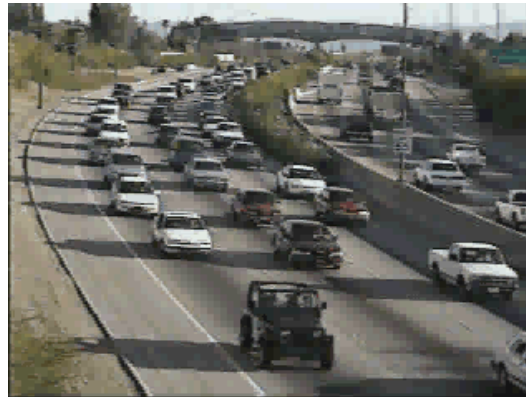
Servicenivå B



Servicenivå C



Servicenivå D



Servicenivå E



Servicenivå F

Stabil og ustabil trafikkavvikling

- Av flere grunner er de fleste teoretiske modeller basert på stabil trafikkavvikling med relativt enkle og lovbestemte sammenhenger
- Det er utført for lite forskning rundt trafikkavvikling i det ustabile området, dvs etter "sammenbrudd"
- Det ligger et stort potensiale i å gjenopprette stabile avviklingsforhold så fort som mulig
- Den største "proppen" finnes ofte der trafikken begynner å flyte igjen og ikke der trafikken bryter sammen!
- Trafikantene har ikke nok kunnskap om hvordan de kan bidra til effektiv trafikkavvikling

Kjennetegn ved en kø

- En kø løser seg opp fra framenden av køen
- Nye kjøretøy må stille seg bakerst i køen
- Køen kan vokse eller avta
- Køen vokser i lengde dersom det kommer flere bak i køen enn det avvikles fra framenden av køen
- Køen avtar dersom det avvikles flere fra framende av køen enn det kommer nye bak i køen
- Det er altså særlig viktig å være effektiv når du er først i køen (der køen løser seg opp)

Hva er en flaskehals?

- En flaskehals er et punkt eller en strekning med lavere kapasitet enn omgivelsene
- Det er særlig viktig å bedre effektiviteten i flaskehalsder kapasiteten i utgangspunktet er lav
- Dvs vi må bedre "de svakeste ledd" i kjeden
- Flaskehalsene er ofte "dynamiske" i forhold til tid og rom
- Kjøring før, gjennom og etter flaskehals er en "kunst"
- Slik kjøring må vektlegges sterkere i føreropplæring og informasjonskampanjer



Hvordan bidra til effektiv avvikling?

- Tette igjen alle luker
- Unngå "tomrom" i køen
- Følge rimelig tett på kjøretøyet foran
- Følge med på trafikken lenger fram i køen
- Være oppmerksom - plutselig er du først i køen

Tilfartskontroll

- Hensikten er å begrense trafikken inn i et område eller på en veg slik at volumet blir mindre enn kapasiteten
- Målet er å unngå sammenbrudd i trafikken
- Da vil vi sikre en god avvikling i området eller på vegen
- Men vi lager altså køer utenfor systemet
- Likevel blir det en positiv nytte for totaltrafikken
-

Vegarbeid kan være en flaskehals

- Ved vegarbeid vil ofte ha redusert kapasitet på vegen
- Vegarbeid kan derfor lage en flaskehals
- Dette er kanskje enklest å se dersom vi reduserer antall kjørefelt
- Men kjørefeltbredde og andre forstyrrelser kan også ha betydning
- Normalt vil nedsatt fartsgrense (til f.eks 50 km/t) i vegarbeidsområdet ikke ha noen særlig betydning for kapasiteten
- Men dersom farten synker til under ca 30 km/t, så vil kapasiteten bli redusert

Når bør en gjennomføre vegarbeid?

- En må alltid vurdere effekt på trafikkavvikling
- Kan/bør det gjennomføres vegarbeid i rushtida?
- Kan/bør det gjennomføres vegarbeid på dagtid?
- En må vurdere kostnaden med hensyn til
 - Forsinkelse for trafikantene
 - Arbeid på andre tider av døgnet
- Hvem er det som påføres kostnaden?

Effekt av "kompakte" køer

- Ved regulering av trafikken forbi vegarbeid bør vi forsøke å få til så "kompakte" køer som mulig
- Det bør være mulig å avvikle trafikken med gjennomsnittlig tidsluke 2.0 - 2.5 sekunder mellom hver bil i kjørefeltet
- Det tilsvarer en kapasitet på 1400-1800 kjt/t pr felt
- Men av ulike grunner vil det ofte oppstå tomrom i køen
- Generelt bør alle slike tomrom "fylles opp" for å fordele trafikken best mulig

Eksempel / regneoppgave

- Vi ser på trafikken i en retning og antar en kapasitet på 1500 kjt/t pr kjørefelt
- I utgangspunktet har vi to kjørefelt, men forbi et vegarbeidsområde har vi innsnevring til ett kjørefelt
- Anta følgende trafikkmengder:
 - 1200 kjt/t mellom kl 12 og 14
 - Deretter jevn økning til 1800 kjt/t kl 16
 - Denne trafikken varer fram til kl 18 da trafikken gradvis reduseres til en konstant verdi på 1200 kjt/t fra kl 20
- Beregn og skisser hvordan kø og forsinkelse vil utvikle seg i denne perioden
- Gi også et anslag på kostnaden av denne forsinkelsen