

# Regneoppgaver fra "Vegarbeid og effekt på trafikkavvikling"

Februar 2008 / Arvid Aakre

	A	B	C	sum	ÅDT	
ÅDT kryss	1000	800	600	2400	1200	
ÅDT	ÅDT	a	b	c	time	% av
		15-16	fredag	uke 30	trafikk	ÅDT
	15000	8	121	159	2309	15.4
	ÅDT	a	b	c	døgn	% av
		15-16	fredag	uke 28	trafikk	ÅDT
	6000	100	122	264	19325	322.1

pbe	Tunge %	Tunge	Lette	
	1000	10	100	900
			2.5	1.0
			250	900
				faktor
				1150 pbe

Str.hast	B øker farten fra 40 til 80 når han er halvveis			
		strekn km	hast km/t	reisetid timer
	A	120	60	<b>2.00</b>
	B	60	40	1.50
		60	80	0.75
	Totalt	120		<b>2.25</b>

Hvor fort måtte B ha kjørt for å komme fram samtidig?

B	60	40	1.50
	60	<b>120</b>	0.50
Totalt	120		2.00

Kjøre like lang tid i 40 og 80 (dvs 1 time med hver)

B	40	40	1.00
	80	80	1.00
Totalt	120		2.00

M, V og D Typiske verdier

Volum	M	kjt/t	<b>1200</b>	Husk at $M = V * D$
Hastighet	V	km/t	<b>60</b>	
Tetthet	D	kjt/km	<b>20</b>	

M, V og D Regneeksempel

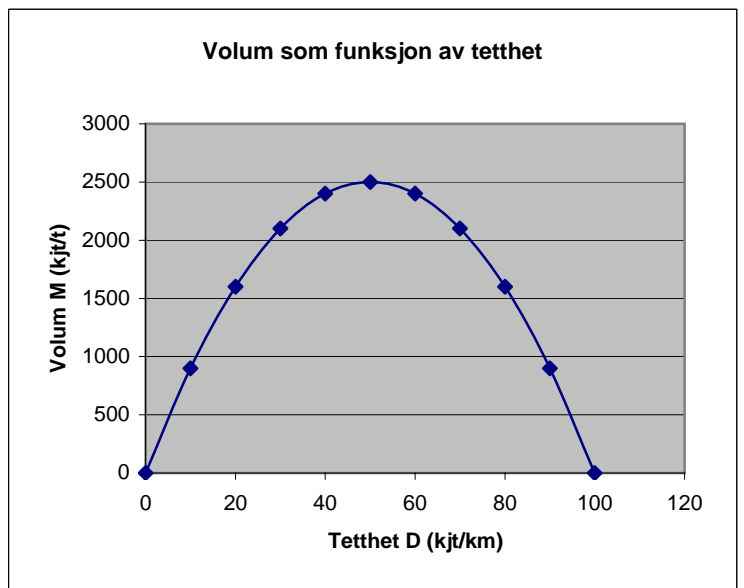
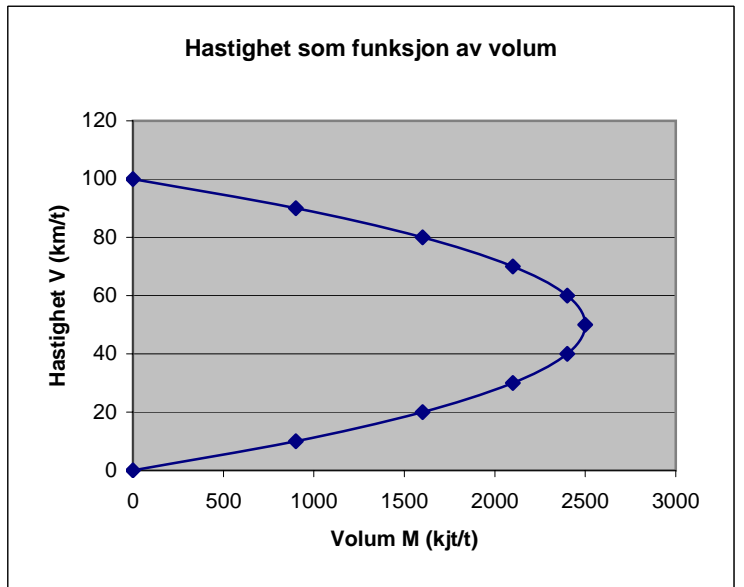
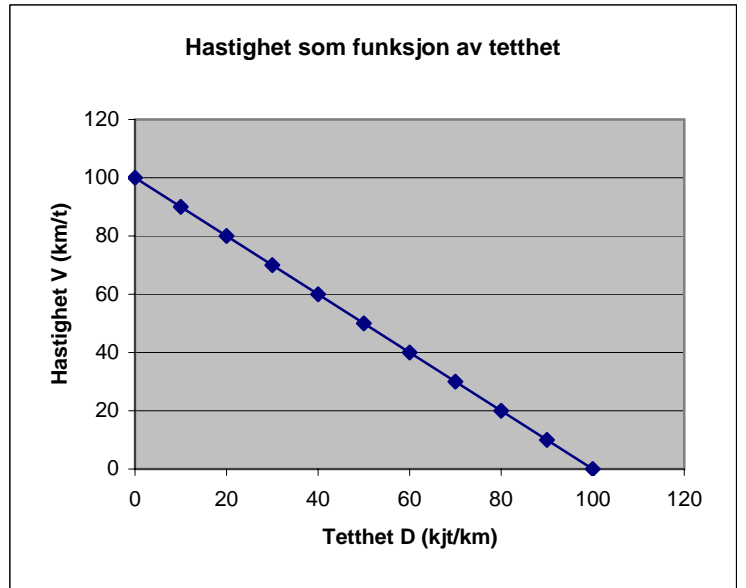
Volum	M	kjt/t	1200
Hastighet	V	km/t	60

Lengde	L	km	10
--------	---	----	----

1 Tetthet	D	M/V	<b>20</b> kjt/km
2 Tidsluke	TL	3600/M	<b>3</b> sek
3 Avstand	S	1000/D	<b>50</b> meter
4 Tid	T	L/V	0.1667 timer
			<b>10</b> minutter
			600 sekunder

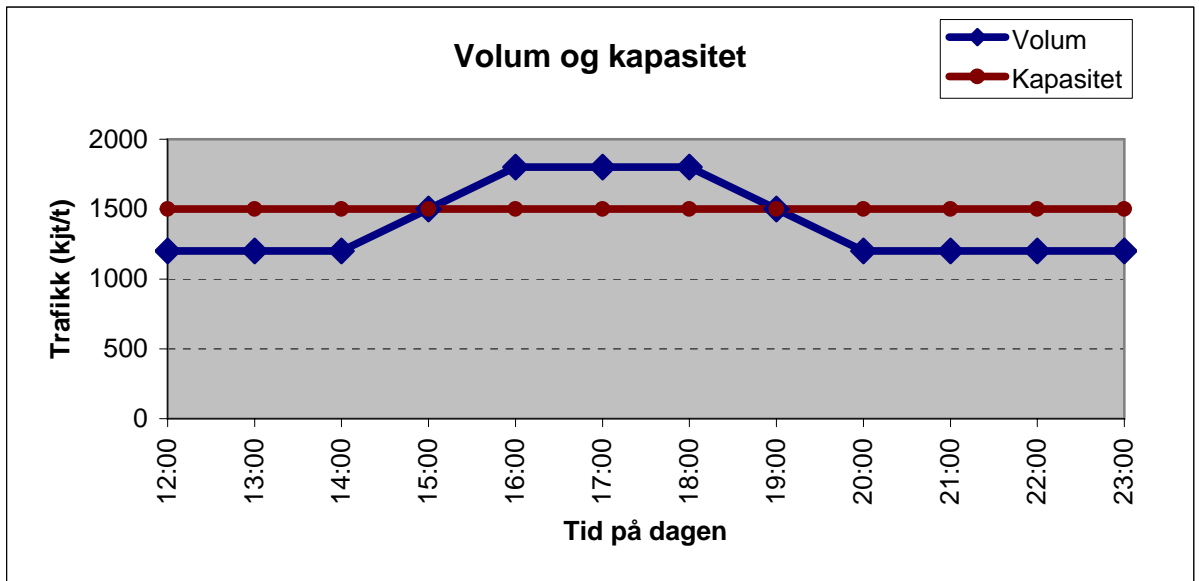
M, V og D

M_max	V_f	D_j
kjt/t	km/t	kjt/km
2500	100	100
M	V	D
kjt/t	km/t	kjt/km
0	100	0
900	90	10
1600	80	20
2100	70	30
2400	60	40
2500	50	50
2400	40	60
2100	30	70
1600	20	80
900	10	90
0	0	100



## Forsinkelse / flaskehals

Tidspunkt tt:mm	Volum kjt/t	Kapasitet kjt/t
12:00	1200	1500
13:00	1200	1500
14:00	1200	1500
15:00	1500	1500
16:00	1800	1500
17:00	1800	1500
18:00	1800	1500
19:00	1500	1500
20:00	1200	1500
21:00	1200	1500
22:00	1200	1500
23:00	1200	1500



### NB! Denne framstillingen er sterkt forenklet

Oppbygging av kø er først og fremst knyttet til at volum er større enn kapasitet  
Da vil det bygge seg opp en kø (bakover fra der to felt går til ett)

Fram til kl 15 er volum mindre enn kapasitet, dvs ingen oppbygging av kø

Mellom 15 og 19 er volumet større enn kapasiteten og det vil bli samlet opp kø:

Fra	Til	time	fra	til	snitt	kjt	køslutt	
15	16	1	0		300	150	150	
16	18	2	300		300	300	600	
18	19	1	300		0	150	150	
Totalt							900	900

Som vi ser så er det samlet opp en total kø på 900 kjt kl 19

Dersom vi regner ca 10 meter pr kjt, så vil denne køen bli nesten 10 km lang

Fordelt på to kjørefelt vil altså køen stå så 5 km bakover når klokka er 19

Fra kl 19 vil denne køen gradvis bli avviklet

Mellom kl 19 og 20 kan det avvikles 150 kjt fra denne køen, og da har vi 750 kjt igjen

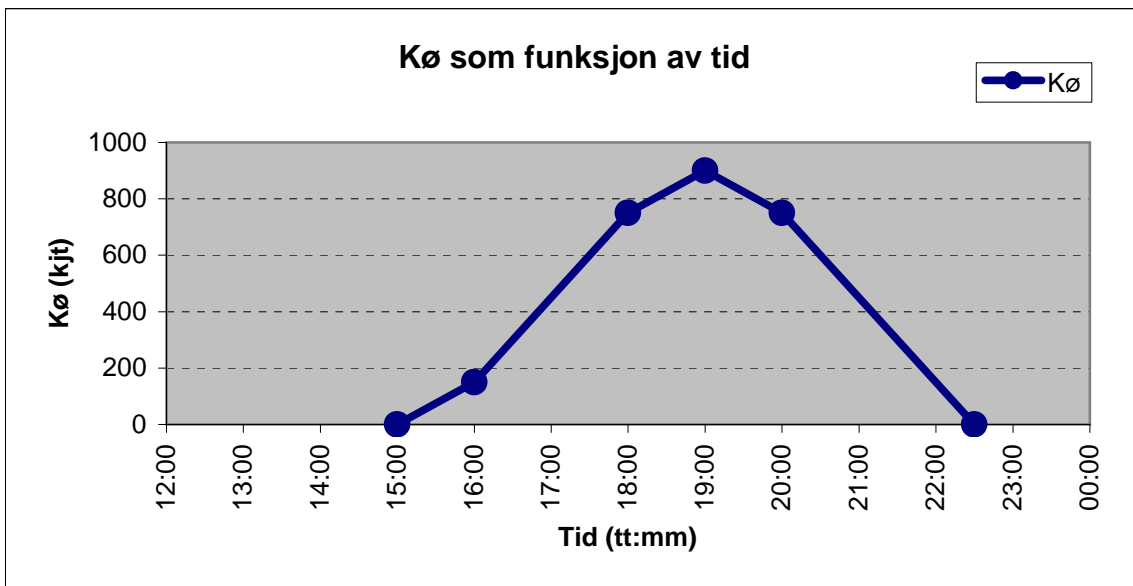
Fra kl 20 og utover kan det avvikles 300 kjt/t av denne køen

Dvs at vi har avviklet køen etter  $750/300 = 2.5$  t regnet fra kl 20

Køen er altså teoretisk avviklet kl 22:30

Her ser vi hvordan køen bygger seg opp og ned igjen

Kl	Kø
15:00	0
16:00	150
18:00	750
19:00	900
20:00	750
22:30	0



Litt forenklet kan vi si at gjennomsnittlig forsinkelse for disse 900 kjt er

Køen bygde seg opp mellom 15 og 19, dvs i gjennomsnitt kl 17

Køen bygde seg ned mellom 19 og 22:30, dvs i gjennomsnitt 20:45

**I gjennomsnitt stod de i kø i fra 17:00 til 20:45, dvs 3 timer og 45 min**

Alternativt kunne vi også forenklet si at

Start oppbygging kl 15:00

Slutt nedbygging kl 22:30

**Dette er en periode på 7t og 30 minutter, dvs at i gjennomsnitt står 3t og 45 min i kø**

Total forsinkelse kan litt mer nøyaktig finnes som

Arealet under grafen som viser kø over tid  $Q(t)$

(Mer matematisk: Total forsinkelse = integralet av  $Q(t)dt$ )

Arealet vil her være

15	16	1	0	150	75	75
16	18	2	150	750	450	900
18	19	1	750	900	825	825
19	20	1	900	750	825	825
20	22:30	2.5	750	0	375	937.5
						<b>3562.5 timer</b>

**Forsinkelsen på 3562 timer er altså noe mer nøyaktig enn 3375 timer**

Total forsinkelse ble 900 kjt x 3.75 = 3375 timer i løpet av 7.5 t fra 15:00 til 22:30  
 Trafikken i denne perioden var

15	16	1	1500	1800	1650	1650
16	18	2	1800	1800	1800	3600
18	20	2	1800	1200	1500	3000
20	22:30	2.5	1200	1200	1200	3000
						<b>11250</b> kjt

**Det kom altså totalt 11.250 kjt i løpet av den perioden det var kø**  
**Total forsinkelse i kø var 3375 timer**

Det vil si at gjennomsnittlig forsinkelse pr kjt i denne perioden var:

3375      11250      0.3      timer      eller      18      minutt

**Antar gjennomsnittlig timekostnad**

**150 kr/t**

**Total kostnad blir da**

**506250 kr**

**ca en halv million kr**

Alternativ fremstilling av volum, kapasitet og køutvikling

			M1	M2 K		M_snitt	K	Kø	Kø_tot
12	13	1	1200	1200	1500	1200	1500	0	0
13	14	1	1200	1200	1500	1200	1500	0	0
14	15	1	1200	1500	1500	1350	1500	0	0
<b>15</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>1500</b>	<b>1800</b>	<b>1500</b>	<b>1650</b>	<b>1500</b>	<b>150</b>	<b>150</b>
<b>16</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>	<b>1500</b>	<b>1800</b>	<b>1500</b>	<b>300</b>	<b>450</b>
<b>17</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>	<b>1500</b>	<b>1800</b>	<b>1500</b>	<b>300</b>	<b>750</b>
<b>18</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>1800</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>	<b>1650</b>	<b>1500</b>	<b>150</b>	<b>900</b>
<b>19</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>1500</b>	<b>1200</b>	<b>1500</b>	<b>1350</b>	<b>1500</b>	<b>-150</b>	<b>750</b>
<b>20</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>1500</b>	<b>1200</b>	<b>1500</b>	<b>-300</b>	<b>450</b>
<b>21</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>1500</b>	<b>1200</b>	<b>1500</b>	<b>-300</b>	<b>150</b>
<b>22</b>	<b>22:30</b>	<b>0.5</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>1500</b>	<b>600</b>	<b>750</b>	<b>-150</b>	<b>0</b>
22:30	23	0.5	1200	1200	1500	600	750	0	0
23	0	1	1200	1200	1500	1200	1500	0	0
<b>15:00</b>	<b>22:30</b>	<b>7.5</b>				<b>11250</b>	<b>11250</b>		

# Regneoppgaver fra presentasjon "Midlertidig signalregulering ved vegarbeid"

Februar 2008 / Arvid Aakre

Vurdering av nødvendig grøntidsandel

M/S

Trafikk i retning 1	M1	600 kjt/t	<b>0.4</b>
Trafikk i retning 2	M2	300 kjt/t	<b>0.2</b>
Metningsvolum	S	1500 kjt/t	

**Retning 1: Må ha grønt i minst 40 % av omløpstida**

**Retning 2: Må ha grønt i minst 20 % av omløpstida**

**Totalt: De to retningene må til sammen ha grønt i minst 60% av omløpstida**

**Resten (inntil 40%) kan være tapt tid**

Tapt tid

Tømmingstid retning 1	17
Gultid retning 1	3
Tømmingstid retning 2	17
Gultid retning 2	3
<b>Total tapt tid pr omløp</b>	<b>40</b>

Vurdering av minimum omløpstid:

$M = K$  40% av omløpstida er tapt tid

Tapt tid er 40 sekunder pr omløp

**Det vil si at omløpstida må være 100 sekunder**

Dersom omløpstida settes mindre enn 100 sekunder, blir det ikke tilstrekkelig grøntid (og grøntidsandel)  
Dermed blir ikke kapasiteten stor nok ( $M > K$ )

Dersom omløpstida settes større enn 100 sekunder, blir grøntidsandelene større enn kravene over.  
Dermed blir kapasiteten større enn volumet ( $M < K$ )

Kontroll ved omløpstid 100 sekunder:

	Grøntid	Omløpstid	G-andel	Metn.vol	Kapasitet
Retning 1	40	100	0.4	1500	600
Retning 2	20	100	0.2	1500	300
Sum grøntid	60				
Tapt tid	40				
Omløpstid	100				

Nytt krav M/K 80 %

	Volum M	Kapasitet K	M/K
retning 1	600	<b>750</b>	0.8
retning 2	300	<b>375</b>	0.8

For å få M/K=80% må vi altså ha følgende kapasitet og grøntidsandeler

	K kjt/t	S kjt/t	G-andel
retning 1	750	1500	<b>0.50</b>
retning 2	375	1500	<b>0.25</b>
Sum			0.75

Sum av grøntidsandelene blir 75%, altså det blir igjen 25% til tapt tid  
Tapt tid som før 40 sek tilsvarer 25 %  
Omløpstid **160** sekunder

	M	K kjt/t	S kjt/t	G-andel	grøntid
retning 1	600	750	1500	0.50	<b>80</b>
retning 2	200	375	1500	0.25	<b>40</b>
Sum				0.75	120 sek
				Tapt tid	40 sek
				Omløpstid	<b>160</b> sek

Omløpstid lik 100 sekunder og grøntider på 40 og 20 sekunder gir volum lik kapasitet M=K, dvs M/K=100%

Dersom vi skal redusere belastningsgraden til 80%, dvs M/K=80%, så må vi øke omløpstiden til 160 sekunder  
Grøntidene blir da 80 og 40 sekunder, dvs dobbelt så lange som for M/K=100%

## Regneoppgaver fra presentasjon "Trafikk og fysikk"

Februar 2008 / Arvid Aakre

Oppg 1.1 Fart fra 10 til 20 m/s i løpet av 5 sekunder

Hastighet fra	v1	10 m/s
Hastighet til	v2	20 m/s
Hastighetsendring	v2-v1	10 m/s
Tid	t	5 sek
Akselerasjon	a	<b>2.0</b> m/sek <sup>2</sup>

Oppg 1.2 Brems fra 25 m/s med retardasjon 5 m/s<sup>2</sup>

Hastighet	v	25 m/s
Retardasjon	r	5 m/s <sup>2</sup>
Bremselengde	bl	<b>62.5</b> meter
Bremsetid	bt	<b>5.0</b> sek

Oppg 1.3 Brems med r = 8 m/s<sup>2</sup>

Hastighet fra	v1	20 m/s
Hastighet til	v2	10 m/s
Retardasjon	r	8 m/s <sup>2</sup>
Avstand		<b>18.75</b> meter
Hastighet fra	v1	10 m/s
Hastighet til	v2	0 m/s
Retardasjon	r	8 m/s <sup>2</sup>
Avstand		<b>6.25</b> meter

Bremse fra 20 til 10 krever 3 ganger så lang bremsestrekning som fra 10 til 0

Oppg 2.1 HB051 sier at stoppsikt er 50 meter ved 50 km/t. Hva er forutsetningene?

Stopsikt		50 meter
Hastighet	v	50 km/t
	v	13.9 m/s
Reaksjonstid	rt	2.0 sek
Reaksjonslengde	rl	27.8 meter
Bremselengde	bl	22.2 meter
Effektiv retardasjon	r	<b>4.3</b>
dvs friksjon		<b>0.43</b> ved full oppbremsing

Oppg 2.2 Tabellen sier også 1.5\* stoppsikt lik 270 meter ved 100 km/t

1.5 * stoppsikt		270 meter
Stopsikt		180 meter
Hastighet	v	100 km/t
	v	27.8 m/s
Reaksjonstid	rt	2.0 sek
Reaksjonslengde	rl	55.6 meter
Bremselengde	bl	124.4 meter
Effektiv retardasjon	r	<b>3.1</b>
dvs friksjon		<b>0.31</b> ved full oppbremsing

Det er altså lagt inn en lavere friksjon ved høyere hastighet

Oppg 2.3 Bremselengde ved 90 km/t (25 m/s) og godt sommerføre (r=8 m/s<sup>2</sup>)

Hastighet	v	25 m/s
Retardasjon	r	8 m/s <sup>2</sup>
Bremselengde	bl	<b>39.1</b> meter

Hvor fort kan en kjøre med samme bremselengde og dårlig vinterføre (r=2 m/s<sup>2</sup>)

Bremselengde	bl	39.1 meter
Retardasjon	r	2 m/s <sup>2</sup>
Hastighet	v	12.5 m/s
		<b>45</b> km/t

Retardasjonen er en fjerdedel, dvs at hastigheten må halveres for samme bremselengde

Oppg 2.4 Hvor fort kan du kjøre i en kurve med radius 150 meter på snøføre (my=0.40)?

Tyngdeakselerasjon	g	10 m/s <sup>2</sup>
Sidefriksjon	my	0.4
Overhøyde	e	0
Radius		150
Teoretisk fart ved skrens		24.5 m/s
		<b>88.2</b> km/t

Oppg 3.1 Personbil 1.000 kg og vogntog 40 tonn (40.000 kg):

Bevegelsesenergi for personbil med fart 20 m/s

Masse	m	1000 kg		
Hastighet	v	20 m/s		72 km/t
Bevegelsesenergi	E	200000 J	Joule	Nm
		<b>200</b>		

Hvilken hastighet tilsvarer denne energien for lastebilen?

Bevegelsesenergi	E	200000 J		
Masse	m	40000		
Hastighet	v	3.2 m/s		
		<b>11.4</b>		km/t

Personbil med 72 km/t og vogntog med 11.4 km/t har samme bevegelsesenergi

Oppg 3.2 Bevegelsesenergi for vogntog med fart 20 m/s

Masse	m	40000 kg		
Hastighet	v	20 m/s		72 km/t
Bevegelsesenergi	E	8000000 J	Joule	Nm
		<b>8000</b>		

Hvilken hastighet tilsvarer denne energien for personbilen?

Bevegelsesenergi	E	8000000 J		
Masse	m	1000		
Hastighet	v	126.5 m/s		
		<b>455.4</b>		km/t

Vogntog med 72 km/t og personbil med 455 km/t har samme bevegelsesenergi

Oppg 4.1				rt	
Vogntog	20 m/s		4 m/s <sup>2</sup>		2 sek
Personbil	20 m/s		8 m/s <sup>2</sup>		

Personbil

Hastighet	v	20 m/s		
Retardasjon	r	8 m/s <sup>2</sup>		
Bremselengde	bl	<b>25</b>		meter

Lastebilen lå 40 meter bak personbilen da denne begynte å bremse  
Lastebilen må altså stoppe på 40 + 25 = 65 meter

Hastighet	v	20 m/s		
Retardasjon	r	4 m/s <sup>2</sup>		
Reaksjonstid	rt	1 sek		
Reaksjonslengde	rl	20 meter		
Bremselengde	bl	50 meter		
Stoppelengde	sl	<b>70</b>		meter

Lastebilen stopper altså 5 meter seinere enn bakenden av personbilen  
Det vil si at personbilen blir knust

Hvilken hastighet har lastebilen i det personbilen stanser?  
(dvs hastiget ved bremselengde 45 meter)

Bremselengde	bl	45 meter	
Retardasjon	r	4 m/s <sup>2</sup>	
Utgangshastighet	v1	20 m/s	
Slutthastighet	v2	6.3 m/s	<b>22.8</b> km/t

Lastebilen har 22.8 km/t når den kjører på personbilen bakfra

Den har da en bevegelsesenergi på:

Masse	m	40000 kg	
Hastighet	v	6.3 m/s	22.7684 km/t
Bevegelsesenergi	E	800000 J	Joule Nm
		<b>800</b> kJ	

Bevegelsesenergi	E	800000 J	
Masse	m	1000	
Hastighet	v	40.0 m/s	
		<b>144.0</b> km/t	

som tilsvarer 144 km/t for en personbil som kjører på deg bakfra

Oppg 4.2 Støtpute med deformasjonsveg på 4 meter  
Antar dette tilsvarer en oppbremsing fra 20 m/s til null  
for en personbil med masse 1500 kg

Masse	m	1500 kg	
Hastighet	v	20 m/s	
Deformasjonsveg	s	4 meter	
Retardasjon	r	<b>50</b> m/s <sup>2</sup>	som tilsvarer 5g
Kollisjonstid		<b>0.4</b> sekunder	

Energiopptak	E	300000 J	<b>300</b> kJ
--------------	---	----------	---------------

Oppg 4.3 Hvor mye vil dette energiopptaket bremse en lastebil på 30 tonn?

Masse	m	30000 kg	
Hastighet	v1	20 m/s	72.0 km/t
Bevegelsesenergi	E	6000000 J	<b>6000</b> kJ

Støtpute		300000 J	
Gjenværende bev.energi		5700000 J	

Tilsvarende hastighet	v2	19.5 m/s	<b>70.2</b> km/t
-----------------------	----	----------	------------------

En støtpute som bremser en 1500 kg personbil fra 72 km/t til 0  
vil bremse et 30 tonn vogntog fra 72 km/t til 70.2 km/t